



REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE

Honneur - Fraternité - Justice

MINISTERE DE L'EDUCATION ET DE
LA REFORME D'ENSEIGNEMENT

INSTITUT PEDAGOGIQUE NATIONAL

Sciences Naturelles

6ème SN

2025

IPN

Préface

Collègues Educateurs,

Chers élèves,

Dans le cadre des efforts visant à améliorer la qualité du système éducatif national et en accompagnement de la révision des programmes de l'enseignement secondaire opérée en 2020 et des innovations nationales et internationales , l'Institut Pédagogique National cherche à concrétiser cette tendance à travers l' élaboration et la publication d' un manuel scolaire de qualité qui occupe une place de choix dans le développement et l'amélioration des pratiques pédagogiques .

Dans ce contexte, nous sommes heureux de mettre entre les mains des élèves de la 6^{ème} du secondaire , le manuel de Sciences Naturelles dans sa version expérimentale .

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

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

Mohamed O/ Mohamed Aly

Inspecteur de l'Enseignement Secondaire

Mohamed Mahmoud O/ Said

Inspecteur de l'enseignement secondaire

Aichetou M/ Ahmed Miské

Professeur de l'enseignement secondaire

**Le Directeur Général :
Dr. Cheikh Mouadh Sidi Abdallah**

IPN

AVANT-PROPOS

Chers collègues Professeurs,

Chers élèves,

C'est dans le cadre des énormes efforts que fournit l'Institut Pédagogique National pour mettre à votre disposition, dans les meilleurs délais, un outil pouvant vous aider à accomplir votre tâche que s'inscrit l'élaboration de ce manuel intitulé : Sciences Naturelles 6^{ème} SN pour la sixième année, série SN. Celui-ci est conçu conformément aux nouveaux programmes en vigueur révisés selon la vision de l'apprentissage holistique. Il vise à offrir aussi bien au professeur qu'à l'élève une source d'informations pour aider le premier à préparer son cours et le second à mieux assimiler son programme de l'année et même à élargir son horizon. Il importe, cependant, de dire qu'il ne peut, en aucun cas, être le seul support, ni pour l'un, ni pour l'autre et doit être renforcé et enrichi à travers la recherche d'autres sources d'informations.

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

L'INFORMATION GENETIQUE, LA GLYCÉMIE ET SA RÉGULATION, NOTIONS D'IMMUNOLOGIE, CONSTITUANTS FONDAMENTAUX DE LA MATIÈRE VIVANTE et UTILISATION DES NUTRIMENTS POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE.

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

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

- ▶ une expérience : protocole expérimental, étapes, analyse, conclusion ;
- ▶ un TP : préparation de l'animal, matériel de dissection, étapes de la dissection, conclusion ;
- ▶ une étude d'un document : texte, schéma, photos, tableau (statistiques), courbes, histogramme... ;

► une sortie pédagogique sur le terrain, une visite à une boucherie, à une entreprise, à un laboratoire, à une institution... : préparation d'un questionnaire, inventaire du matériel nécessaire, dispositions à prendre, rédaction d'un compte-rendu, exploitation en classe ...

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

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

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

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

► donnent d'autres exemples pour offrir des choix divers au profit de la contextualisation ;

► parlent d'un ou de quelques aspects qui n'ont pas pu être abordés ;

► développent des notions évoquées plus haut pour permettre au lecteur (professeur ou élève) d'élargir son horizon ;

- **J'utilise mes connaissances** : Il s'agit de décrire une application dans la vie courante, une activité lucrative, un petit projet ...

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

Les auteurs :

Mohamed Mohamed Aly – Mohamed Mahmoud Said - Aichetou Ahmed Miské

Inspecteur

Inspecteur

Professeur

Revisé par :

Mohamed Mohamed Aly Inspecteur Pédagogique de l'Enseignement Secondaire

Maquettiste:

Oumry Ahmed Bebba

I.P.N

TABLE DES MATIERES

PREFACE.....	03
AVANT-PROPOS.....	05
TABLE DES MATIERES.....	07
CHAPITRE I: L'INFORMATION GENETIQUE.....	09
CHAPITRE II : LA GLYCEMIE ET SA REGULATION.....	71
CHAPITRE III: NOTIONS D'IMMUNOLOGIE.....	107
CHAPITRE IV: CONSTITUANTS FONDAMENTAUX.....	141
CHAPITRE V : UTILISATION DES NUTRIMENTS POUR LA PRODUCTION DE LA MATIÈRE VIVANTE D'ENERGIE	185
BIBLIOGRAPHIE	229
REFERENCES	230

IPN

JE DÉCOUVRE

I- Localisation de l'information génétique

Activité 1 :

Où se situe l'information génétique dans la cellule?

Expérience 1:

Expérience de mérotomie.

L'amibe est un animal unicellulaire de **50 à 400µm** qui se prête bien à l'observation microscopique et à diverses expériences de microchirurgie.

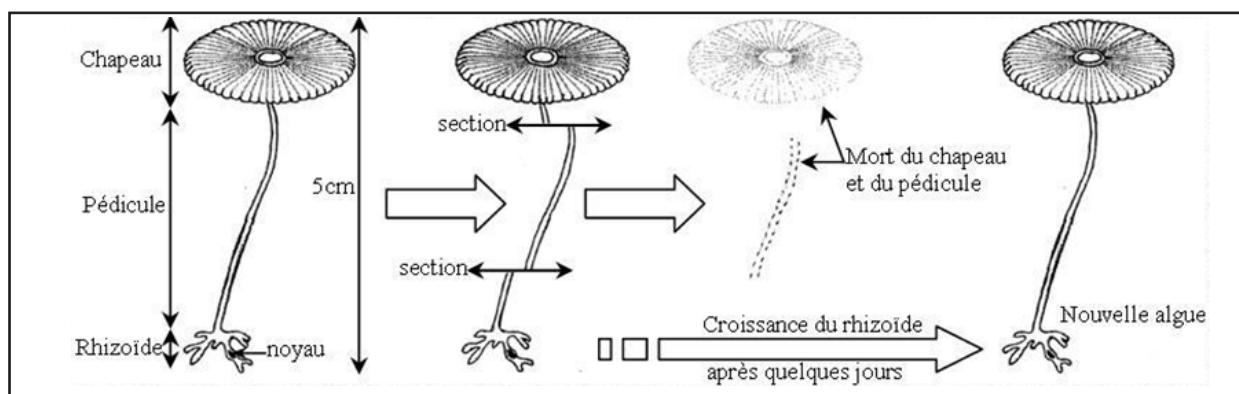
Le document ci-contre décrit diverses expériences de microchirurgie réalisées chez l'amibe :

Figure a : Section (mérotomie) chez la cellule ;

Figures b et c : Greffes de noyaux.

Expérience 2: Sections

L'acétabulaire est une algue verte unicellulaire marine fréquente sur les bords de la Méditerranée. Sa taille atteint **8cm** lorsque sa croissance est achevée. On distingue un pied dont la base renferme le noyau et un chapeau dont la forme varie selon les espèces.



Expérience 3:

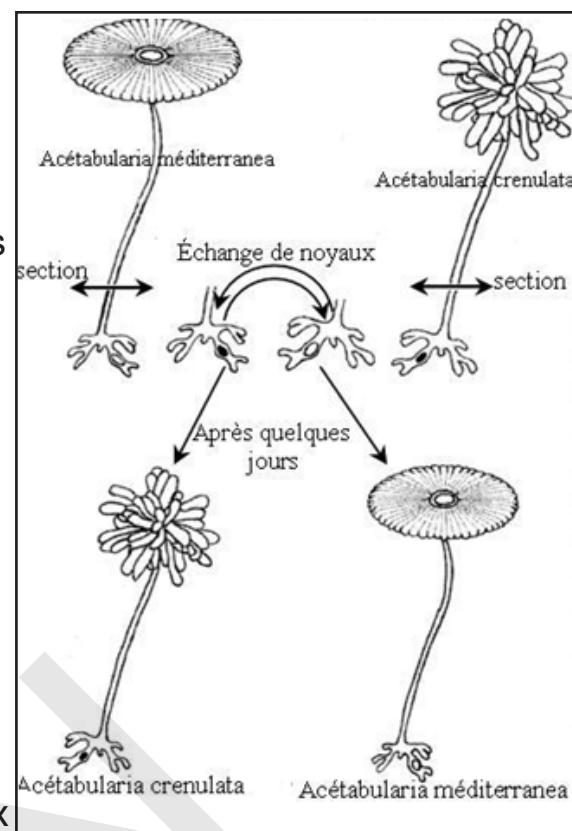
Greffé croisée de noyaux entre 2 espèces d'acétabulaires différentes.

On distingue deux espèces d'acétabulaires qui diffèrent par la forme de leur chapeau :

- *Acétabularia méditerranea* possède un chapeau à bord régulier (lisse).
- *Acétabularia crenulata* possède un chapeau à bord crénelé (denté).

Étapes de l'expérience :

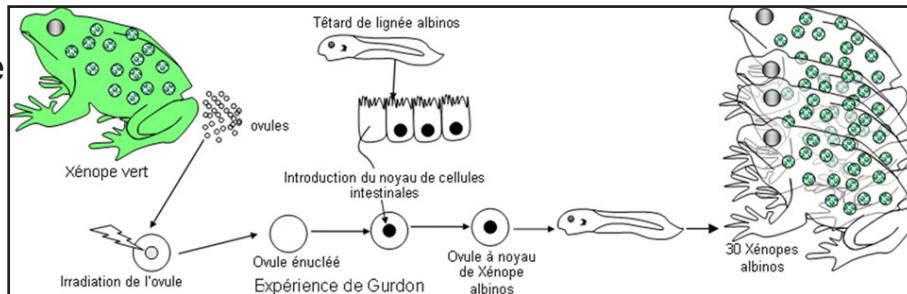
- ◆ Sectionner les deux espèces (A.m) et (A.c) en deux parties ;
- ◆ Extraire le noyau de chacune de ces deux espèces ;
- ◆ Greffer le noyau d'A.m dans le rhizoïde de l'A.c énucléé et vice versa ;
- ◆ Observer les résultats obtenus (figure ci- contre).



Expérience 4: Expérience de Gurdon

En 1960, le biologiste anglais Gurdon travaille sur des crapauds, les xénopes :

- ◆ Il élève deux variétés, l'une sauvage de couleur verte, l'autre albinos (dépigmentée) ;
- ◆ Des ovules non fécondés pondus par des femelles de variété sauvage sont irradiés aux ultraviolets, ce qui détruit leur noyau ;
- ◆ Par ailleurs, des noyaux de cellules intestinales sont prélevés chez un têtard de la variété albinos ;
- ◆ Chacun de ces noyaux est transplanté dans un ovule irradié ;
- ◆ Les résultats sont présentés par la figure ci-contre.



Analyser les expériences de section pour expliquer les résultats obtenus.

Analyse des expériences :

Expérience 1:

Figure a : Une cellule amputée d'une partie de son volume cytoplasmique, mais qui conserve son noyau, peut synthétiser la partie manquante et ainsi se régénérer ; cette cellule peut se diviser, c'est-à-dire se reproduire, ce qui prouve que toutes ses fonctions sont normales.

Une cellule anucléée (ou un fragment de cellule sans noyau) ne survit que quelques jours, sans pouvoir ni se régénérer, ni se diviser : le noyau est bien l'organite majeur de la vie cellulaire ; sans lui, les synthèses sont irréalisables.

Figure b et c : La greffe, par transfert d'un noyau d'une cellule à une autre préalablement anucléée, permet la survie parfaite de la cellule receveuse. En réalité, une condition importante doit être remplie : la cellule donneuse (du noyau) et la cellule receveuse doivent être de la même espèce (fig. b). Dans le cas contraire (fig. c), la cellule, bien que complète, survit peu de temps et ne se divise pas.

Donc, non seulement le noyau dirige le fonctionnement cellulaire, mais, surtout, il détient un «pouvoir» qui définit l'espèce et la distingue des autres : le noyau contient l'information génétique d'une cellule.

Expérience 2:

On observe que, seulement, le rhizoïde contenant le noyau reste vivant et régénère une nouvelle algue. Tandis que les autres parties (chapeau et pédicule) qui ne contiennent pas de noyau meurent après quelques jours.

On déduit que le rhizoïde possède un élément (noyau ou autre chose) nécessaire à la survie et la croissance de l'algue.

Expérience 3:

On observe que la forme du chapeau est liée au type du noyau présent dans le rhizoïde et non du type de l'algue dont le rhizoïde est issu : le chapeau nouvellement reconstitué présente les caractéristiques de l'algue dont le noyau est extrait.

On déduit que le noyau contient l'information génétique permettant la reconstitution du chapeau de l'espèce.

Expérience 4:

On observe que le xénope provenant du développement de l'ovule a hérité le caractère du xénope donneur du noyau et non pas du xénope qui a donné l'ovule sans noyau.

Donc les caractéristiques d'un individu dépendent des informations contenues dans le noyau.

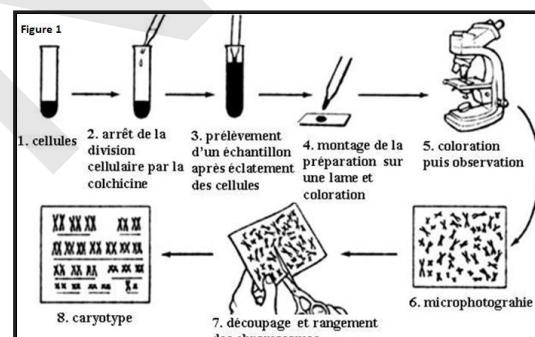
Bilan : L'information génétique qui détermine les caractères héréditaires est localisée dans le noyau chez les eucaryotes unicellulaires et pluricellulaires.

II- Chromosomes et ADN

Activité 2 :

Comment établir un caryotype et dégager la structure du chromosome ?

Les chromosomes sont des filaments plus ou moins épais qui apparaissent au cours de la division cellulaire. Pour étudier ces chromosomes, on utilise une substance (la colchicine) qui bloque la division cellulaire en métaphase ; ce qui permet de réaliser le **caryotype** (voir la figure 1 ci-contre).



La figure 2 montre la structure du chromosome et des caryotypes de sexes différents.

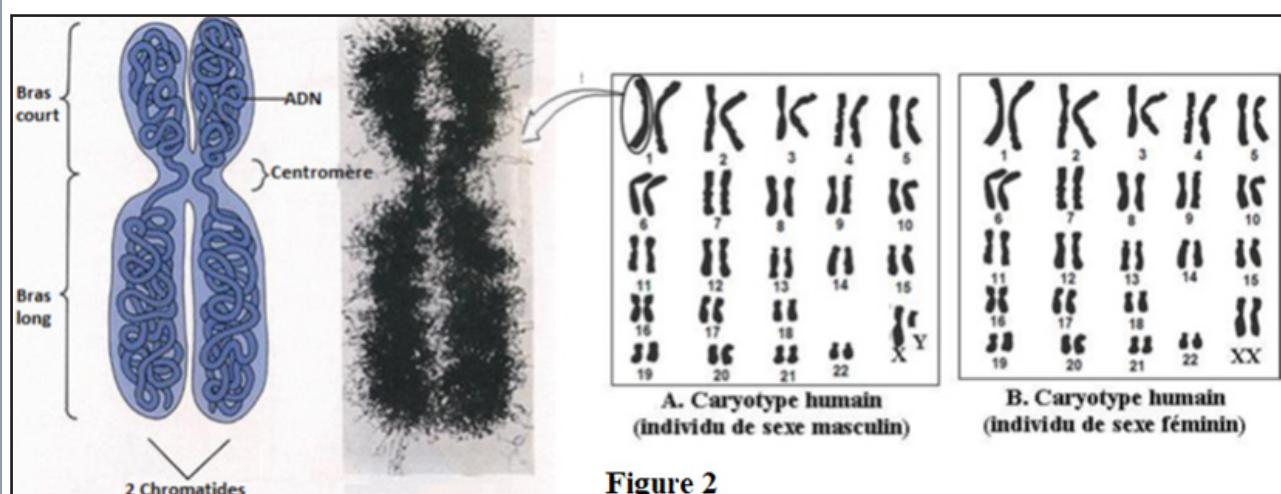


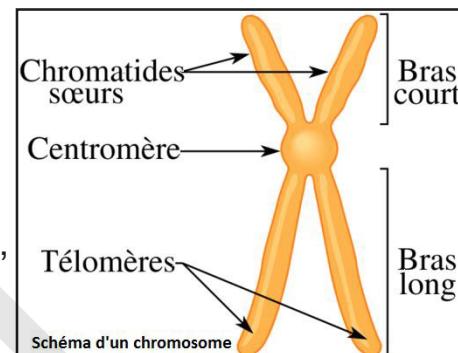
Figure 2

A partir de l'analyse de ces figures montrer comment on peut établir le caryotype d'une espèce et dégager la structure d'un chromosome.

Le caryotype est la représentation photographique ou dessinée de l'ensemble (nombre et forme) des chromosomes présents dans les cellules d'une espèce donnée. Les chromosomes sont classés selon leur longueur et la position de leurs centromères.

Analyse des figures :

L'analyse du caryotype de l'être humain montre **46 chromosomes** organisés en paires. Chaque paire de **chromosomes homologues** (semblables par la taille et la position du centromère) est constituée par un chromosome hérité de l'un des parents et un chromosome hérité de l'autre parent. Les cellules comprennent **2n** chromosomes : ces cellules sont dites **diploïdes** ($2n = 46$ chez l'homme, $n = 23$). La 23^{ème} paire appelée **chromosomes sexuels** est différente chez l'homme (chromosomes X et Y) et chez la femme (chromosomes X et X) ; leur présence détermine donc le sexe. Les 22 autres paires de chromosomes semblables chez l'homme et chez la femme sont appelées **autosomes**.



Le corps humain est constitué de milliards de "cellules" comportant chacune un noyau. Ce noyau renferme toute notre information génétique. Celle-ci est contenue dans nos chromosomes qui contiennent eux-mêmes notre ADN.

L'information génétique est portée par des structures nommées chromosomes dont le nombre contenu est le même pour une espèce donnée. Les chromosomes, dans les cas des cellules eucaryotes, se trouvent dans le noyau. Un chromosome est constitué principalement d'acide désoxyribonucléique (ou ADN), ainsi que de protéines (les histones) autour desquelles s'enroule l'ADN qui est, en fait, le véritable support de l'information génétique. Cette association est nommée fibre de chromatine.

Chaque chromosome est une seule molécule d'ADN fortement repliée.

La chromatine est une substance constituant les chromosomes et composée d'ADN, de protéines chromosomiques et d'ARN chromosomique. En se basant sur la coloration, on distingue deux types de chromatines : l'hétérochromatine (coloration dense) et l'euchromatine (faiblement colorée).

Activité 3 :

Comment étudier la composition chimique, la structure, quelques propriétés et le rôle de l'ADN dans la cellule.

Expérience 1: Mettre en évidence l'ADN dans les chromosomes.

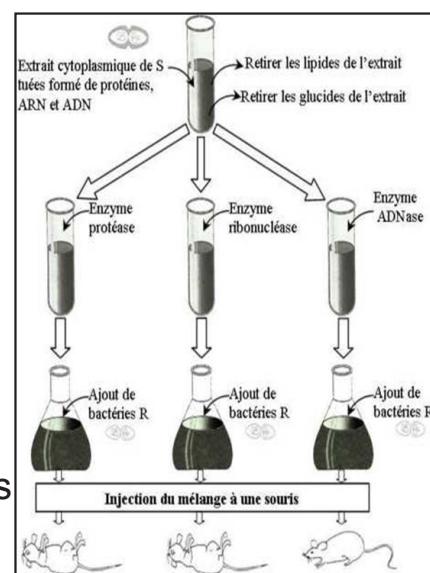
REALISATION DES ETAPES	OBJECTIFS
Coupe à l'aide d'un scalpel le morceau d'oignon ou de kiwi afin de former des petits carrés.	Plus de cellules seront en contact avec les produits d'extraction.
Broie les morceaux d'oignon ou de kiwi dans un récipient contenant une cuillère à café de sel.	Le sel fera éclater les membranes cellulaires et libérera l'intérieur du noyau.
Place le gaz dans l'entonnoir et verses-y l'oignon ou le kiwi broyé. Recueille le liquide dans un tube à essai.	Le gaz ne laissera passer que les liquides cellulaires.
Incline le tube et verse tout doucement le long de sa paroi, le même volume d'alcool à brûler.	L'alcool fera apparaître une méduse blanchâtre.
A l'aide d'un agitateur ou d'une pipette, prélève la méduse d'ADN et dépose-la dans un verre de montre contenant quelques gouttes de vert de méthyle (colorant spécifique de l'ADN).	L'ADN, s'il est présent, se colorera.
Au bout d'une minute, ajoute de l'eau dans le verre de montre afin de diluer le colorant.	La méduse restera colorée, preuve qu'il s'agit bien d'ADN.

Expérience 2:

(d'Avery et ses collaborateurs): Mise en évidence du rôle de l'ADN :

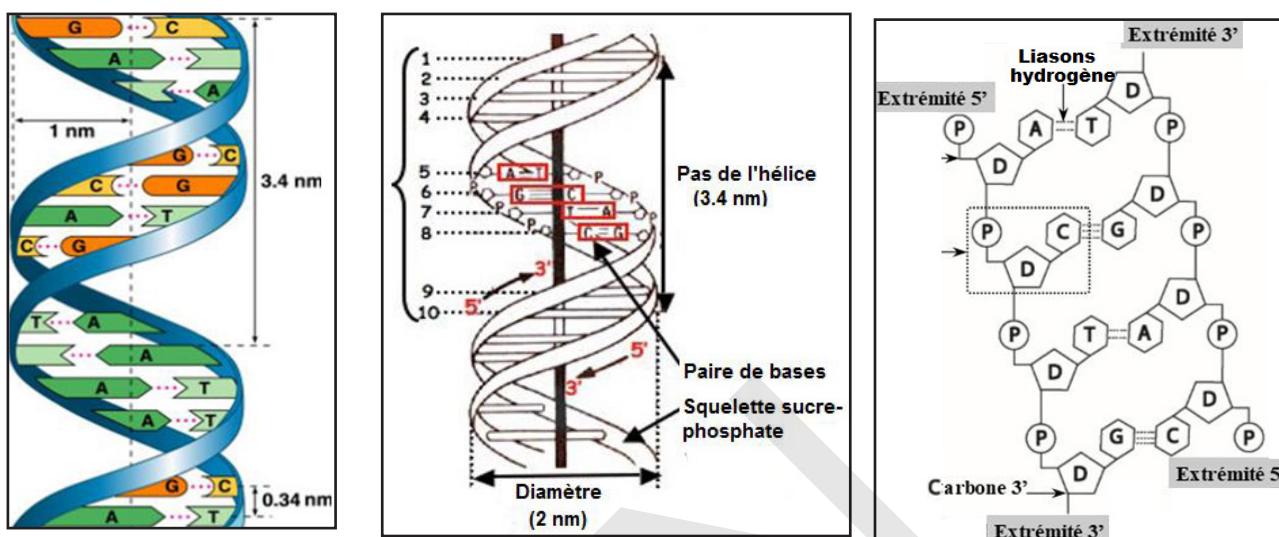
Mécanisme de la transformation bactérienne :

L'analyse du principe transformant fut réalisée en 1944 par des biologistes américains (Avery, Mac Leod et Mac Carthy). La figure ci -contre montre les expériences ainsi que les résultats obtenus.



Document 1 : Travaux de Watson et Crick en 1953.

Les acides désoxyribonucléiques sont de très grandes molécules composées de deux chaînes polynucléotidiques enroulées l'une autour de l'autre pour former une double hélice régulière (La forme B a un diamètre de 2,47 nm).



Structure détaillée de la double hélice de l'ADN (forme B). Un tour d'hélice recouvre environ 10.5 pb (34 Å). Le squelette de chaque brin est formé de sucre et de phosphate. Les bases azotées sont projetées vers l'intérieur de la molécule mais restent accessibles au solvant par les deux sillons (petit et grand sillon).

La forme B de l'ADN est la forme biologique la plus importante, elle correspond à la forme décrite par Watson et Crick en 1953. Cette forme est caractérisée par un pas (tour) d'hélice de 10.5 pb (34 Å) et un diamètre de 2,37 nm. La forme B de l'ADN est caractérisée aussi par la présence de deux sillons, le petit sillon et le grand sillon.

Document 2 : Compléter le tableau pour comparer les valeurs obtenues dans le cas des espèces considérées.

Espèce	A	Quantité de bases en %			A/T	G/C	A+T/G+C	A+G/T+C
		G	T	C				
Homme	30,7	19,3	31,2	18,8				
Bœuf	28,7	22,2	27,2	22,8				
Blé	27,3	22,7	27,1	22,8				
Levure	31,3	18,7	32,9	17,1				
Colibacille	24,7	26,0	23,6	25,7				

Expérience 3:

(de Meselson et Stahl 1958) : Mécanisme de la réPLICATION de l'ADN.

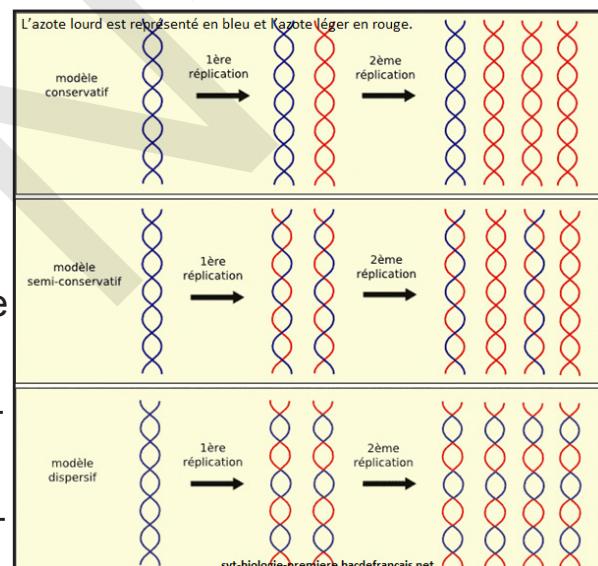
Des bactéries sont cultivées sur un milieu ne contenant que de l'azote lourd (^{15}N , sachant que l'azote « naturel » est ^{14}N). Leur ADN est donc composé avec des atomes d'azote lourd.

Ces bactéries sont ensuite placées sur un milieu ne contenant que de l'azote léger ^{14}N . L'ADN maintenant synthétisé sera donc constitué d'azote ^{14}N , le seul présent dans le milieu. Les divisions des bactéries sont synchronisées.

Le schéma ci-contre présente les molécules d'ADN :

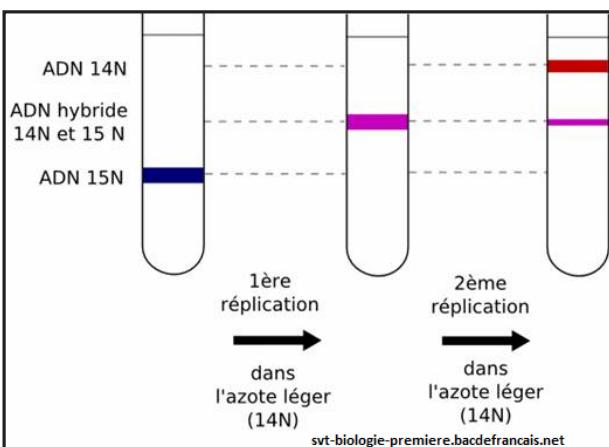
Modèle conservatif : à partir d'une molécule d'ADN, on forme une nouvelle molécule d'ADN sans « toucher » à la première. On garde donc ici une molécule « mère » non modifiée (elle est donc conservée).

Modèle semi-conservatif : chaque brin de la molécule à répliquer sert de matrice à la synthèse d'un brin complémentaire, pour obtenir deux molécules d'ADN identiques. Chaque nouvelle molécule « fille » ne conserve donc que la moitié de la molécule « mère ».



Modèle dispersif : aucun brin n'est conservé intact. Les deux molécules « filles » sont créées à partir de fragments de la molécule « mère » dispersés dans chacune des deux molécules et de copies de ces fragments.

Pour savoir quel modèle est le bon, l'ADN des bactéries est extrait après la première, la deuxième et la troisième réplication (rappelons-nous que les divisions ont été synchronisées donc toutes les bactéries sont au même stade de leur cycle cellulaire), placé dans une solution de chlorure de Césium et centrifugé. La position des ADN est repérée par une mesure de la densité optique. Cette manipulation permet de séparer les molécules d'ADN selon leur poids. La figure ci-dessous donne le résultat.



A partir de l'analyse des différents résultats obtenus, dégager la composition chimique, la structure, quelques propriétés et le rôle de l'ADN dans la cellule.

Analyse des résultats :

Expérience 1:

Si le vert de méthyle permet de colorer les noyaux cellulaires, c'est que ceux-ci contiennent de l'ADN.

Lorsque les deux mètres d'ADN que contient une cellule sont déroulés dans le noyau, celui-ci est entièrement coloré, car l'ADN occupe tout le noyau. En revanche, l'ADN se pelotonne au début d'une multiplication cellulaire et forme alors des chromosomes qui n'occupent pas tout le noyau.

Expérience 2:

L'utilisation de protéase et de ribonucléase a montré que les protéines et l'ARN ne sont pas impliqués dans la transformation des bactéries R en S.

La substance responsable de la transformation des bactéries R en bactéries S est l'**ADN** car lors de l'addition d'une ADNase (enzyme qui détruit l'ADN), la transformation n'avait pas lieu et la souris survivait.

C'est bien l'**ADN** et non les protéines, qui provoque la transformation bactérienne.

Bilan : Ces expériences ont montré que seul l'ADN est capable de conférer aux bactéries R la capacité de synthétiser la capsule.

Document 1 :

L'ADN est constitué de deux chaînes (Brins) qui sont enroulées en spirale l'une autour de l'autre : c'est le modèle de la double hélice. C'est l'ADN bicaténaire.

Chaque brin résulte de l'assemblage de nucléotides et les deux brins s'associent au niveau des bases par des liaisons hydrogènes :

Les deux brins sont complémentaires : les bases s'apparentent par complémentarité

Les deux brins sont antiparallèles : les deux brins sont orientés parallèlement l'un à l'autre, mais en sens opposé. (Un brin 5'- 3' et l'autre 3'- 5')

Les bases se trouvent à l'intérieur de l'hélice.

Les nucléotides s'associent entre eux par des liaisons entre les groupements phosphate.

Le nucléotide dont le phosphate n'est pas lié à aucun autre nucléotide, définit l'extrémité 5'.

NB. Chez les virus, l'ADN est formé d'une seule chaîne : ADN monocaténaire.

Document 2 :

Chacune des 4 bases ne peut s'unir qu'à une seule base qui lui est complémentaire :

- ▶ l'adénine est complémentaire à la thymine ;
- ▶ la cytosine est complémentaire à la guanine.

Le rapport A+G/T+C est égal à 1 chez toutes les espèces. Par contre, le rapport A+T/G+C est différent de 1.

Chez toutes les espèces, les bases azotées présentent une complémentarité (A-T et G-C).

Le rapport A+T/G+C est caractéristique des espèces.

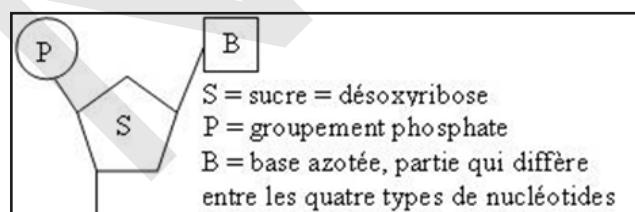
Expérience 3:

Au bout d'une génération sur milieu ^{14}N , la densité de l'ADN de l'extrait des bactéries est intermédiaire entre la densité de l'ADN lourd (^{15}N) et de l'ADN léger (^{14}N). On a donc 100 % d'ADN hybride. Au bout de deux générations, on obtient 50% d'ADN léger et 50% d'ADN hybride. Ainsi, les expériences de Meselson et Stahl valident l'hypothèse du modèle semi-conservatif.

De manière générale, l'information génétique est portée par l'acide désoxyribonucléique, ou ADN constitué de trois types de molécules :

- Un sucre en C5 : **le désoxyribose** : $(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4)$;
- L'**acide phosphorique** : H_3PO_4
- Quatre types de **bases azotées** : Adénine (A), Thymine (T), Guanine (G) et Cytosine (C).

Ces constituants chimiques sont assemblés en **nucléotides**. Chaque nucléotide est formé par 3 types de molécules : un acide phosphorique, le désoxyribose et une base azotée (A ou T ou C ou G).



L'ADN est une macromolécule formée de l'assemblage de plusieurs nucléotides : c'est un polynucléotide. L'ADN est une molécule polarisée (extrémités 3' ; 5').

Les nucléotides sont complémentaires deux à deux : en face d'une cytosine se trouve toujours une guanine ; en face d'une adénine se trouve toujours une thymine.

C'est la séquence, c'est-à-dire l'ordre et le nombre des nucléotides d'un gène, qui porte l'information génétique.

La stabilisation de la double hélice s'effectue par des liaisons chimiques faibles et non covalentes à la fois internes et externes :

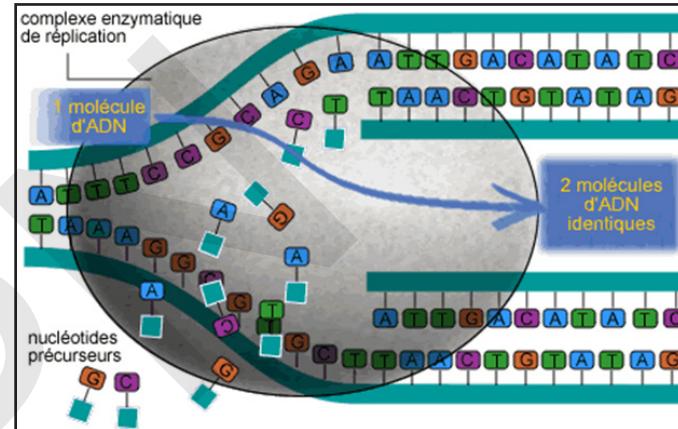
- ◆ Liaisons hydrogène entre les bases ;
- ◆ Interactions hydrophobes et électroniques entre les bases ;

- ♦ Interactions des groupements sucre et phosphate avec le milieu aqueux (interactions hydrophiles).

De nombreuses cellules sont formées en permanence dans l'organisme. Celles-ci doivent maintenir leurs caractéristiques fonctionnelles intactes, et donc en l'occurrence des structures identiques. Or, ces dernières découlant de l'information génétique, on en déduit qu'il doit exister un mécanisme qui permet de dupliquer cette dernière.

La réPLICATION d'une molécule d'ADN commence au niveau des fourches de réPLICATION :

- Ecartement des deux brins de la double hélice d'ADN en supprimant les liaisons hydrogènes entre les bases azotées par une enzyme : hélicase ;
- Les ADN polymérases se déplacent le long des brins libres de l'ADN mère et ajoutent les nucléotides complémentaires, libres présents dans le noyau ;

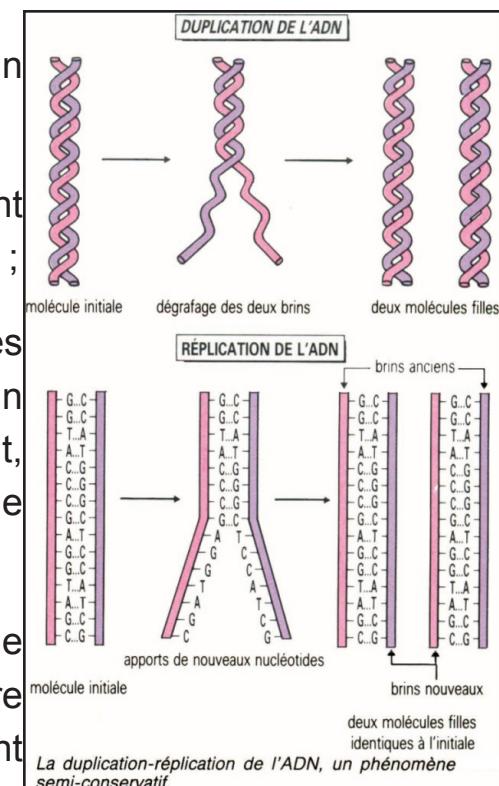


Les brins d'ADN écartés, servent de matrice, pour la synthèSE d'un nouveau brin complémentaire, dit brin néoformé ;

Les brins néoformés sont construits en respectant la complémentarité des bases azotées, A-T, G-C ;

Les ADN polymérases peuvent ajouter des nucléotides seulement à l'extrémité 3' du brin d'ADN en cours de formation. Par conséquent, le nouveau brin ne peut s'allonger que dans le sens 5' → 3' ;

L'elongation d'un brin est continue, tandis qu'elle ne se réalise pas de manière continue sur l'autre brin. De courts segments sont synthétisés, avant d'être reliés.



La duplication-réPLICATION de l'ADN, un phénomène semi-conservatif.

Une molécule d'ADN dupliquée donne naissance à 2 molécules d'ADN constituées chacune d'un brin d'ADN mère (la matrice) et d'un brin néoformé, on dit, pour cette raison, que la réPLICATION de l'ADN se fait selon un modèle semi conservatif : la moitié de la molécule de départ est conservée.

La réPLICATION de l'ADN a lieu grâce au déroulement et à l'ouverture des chaînes nucléotidiques (molécules mères d'ADN) qui deviennent ainsi chacune, des matrices. La polymérisation en de nouveaux brins (molécules filles d'ADN) est catalysée par l'enzyme ADN polymérase. Les ADN polymérases peuvent allonger une chaîne existante mais sont incapables d'en débuter une. Une amorce est donc essentielle pour débuter ce processus. Il s'agit d'un court fragment de 8 à 12 nucléotides complémentaires à une région spécifique du chromosome. Les amorces sont synthétisées par une enzyme nommée primase. Les ADN polymérases ne synthétisent de nouvelles chaînes que dans le sens 5' vers 3' et, étant donné la nature antiparallèle de la molécule d'ADN, se déplacent dans le sens 3' vers 5' le long du brin matrice. La conséquence de cette polarité est que tandis qu'un brin, le brin précoce, est synthétisé de manière continue, l'autre, le brin tardif, doit être synthétisé par courts fragments discontinus.

L'ADN, qui constitue nos chromosomes, porte les gènes (20 000 environ). Le gène est un fragment d'ADN, se trouvant à un endroit précis (locus) sur un chromosome précis, caractérisé par la séquence ordonnée de ses nucléotides, portant l'information génétique codant pour la synthèse d'une protéine déterminée.

C'est donc une très petite portion de chromosome.

Comme nous possédons chaque chromosome en double, chaque gène est également présent en double dans nos cellules. Ces deux copies d'un même gène, appelées allèles, sont le plus souvent différentes : une d'origine paternelle et une d'origine maternelle.

Cette structure est universelle et présente chez toutes les cellules dans le noyau (eucaryotes) ou le cytoplasme (bactéries).

L'ADN présente toutefois un élément variable : c'est l'enchaînement des nucléotides sur un brin : on parle de **séQUENCE d'ADN**.

Les caractères héréditaires sont déterminés par un ensemble d'informations contenues dans le noyau des cellules. Lors de la fécondation, les gamètes

transmettent ces informations à la cellule œuf. L'ensemble de ces informations contenues dans le noyau des cellules est le **programme génétique**.

L'information est un concept de la discipline des sciences de l'information et de la communication (SIC). Au sens étymologique, l'information est ce qui donne une forme à l'esprit. ... L'information désigne à la fois le message à communiquer et les symboles utilisés pour l'écrire. L'ensemble des gènes et du matériel non codant d'un organisme constitue son génome. Un gène possède donc une position donnée dans le génome d'une espèce, on parle de locus génique.

III- Expression de l'information génétique

Activité 4 :

Comment l'existence de gènes de l'ADN conduit-elle à l'existence de caractères de l'individu ?

Les caractères constituant le phénotype d'un individu (= ensemble des caractères observables d'un individu) sont très généralement liés à la présence de protéines.

Les protéines, constituants essentiels des êtres vivants, sont des macromolécules d'une infinie variété, caractérisées par leurs séquences d'acides aminés.

La séquence des acides aminés d'une protéine est codée génétiquement : la fabrication (synthèse) d'une protéine est le résultat de l'expression d'un gène (« ce gène s'exprime »).

Les documents suivants illustrent cette biosynthèse :

Document 1 : Les ARN.

L'information génétique est stockée dans l'ADN. Cependant, l'expression de cette information génétique nécessite le passage de l'ADN à l'ARN, puis aux protéines.

Les trois principaux types d'ARN connus sont :

- ARN messager (ARNm) : c'est une succession de nucléotides sous forme de long filament à un seul brin. C'est un vecteur du message dictant la séquence des protéines entre chaque gène et la protéine correspondante. Cette macromolécule fournit l'information qui doit être interprétée par la machinerie

de la traduction et constitue la matrice pour la traduction. La région de l'ARNm codant la protéine est constituée d'une série ordonnée d'unités de trois nucléotides appelées codons (spécifient l'ordre des acide aminés).

-ARN de transfert (ARNt) : Il fournit l'interface entre les acides aminés ajoutés à la chaîne peptidique en croissance et les codons dans l'ARNm. Il spécifie les anticodons. En plus du rôle de l'ARNm qui décode l'information génétique portée par l'ADN, l'ARNt joue le rôle d'adaptateur entre les codons et les acides aminés qu'ils spécifient.

-ARN ribosomique (ARNr) : C'est un constituant de ribosomes impliqué dans la synthèse des protéines. En plus de son rôle structural des ribosomes en association avec des protéines, il joue un rôle dans la fixation de l'ARNm et la formation des liaisons peptidiques.

Le ribosome coordonne la reconnaissance de l'ARNm par chaque ARNt et catalyse la formation de la liaison peptidique entre la chaîne polypeptidique en croissance et l'acide aminé chargé sur l'ARNt sélectionné.

Chez les procaryotes, ces ARN sont synthétisés par une seule enzyme, l'ARN polymérase.

Comme l'ADN, les ARN sont composés de nucléotides (P + S + base).

Leur structure et leurs propriétés présentent cependant plusieurs différences :

- ▶ le sucre est le ribose : $C_5H_{10}O_5$;
- ▶ la thymine (T) de l'ADN est remplacée par l'uracile (U) ;
- ▶ la molécule n'est formée que d'une seule chaîne de nucléotides (un seul montant de l'échelle avec des demi-barreaux) ;
- ▶ la longueur d'une molécule d'ARN et par conséquent sa masse moléculaire sont très inférieures à celles de l'ADN (la masse moléculaire de l'ADN varie de plusieurs millions à plusieurs milliards, celle de l'ARN varie entre 25 000 à 500 000) ;
- ▶ la plus grande partie de l'ARN cellulaire est localisée dans le cytoplasme.

Cependant, le phosphate (H_3PO_4) et les trois autres bases azotées (Adénine,

Cytosine et Guanine) sont les mêmes.

Document 2 : Code génétique.

Les nombreux points communs existant entre les molécules d'ADN et celles des protéines (macromolécules, enchaînement linéaire de molécules élémentaires, ordre précis de cet enchaînement ou spécificité de la séquence...) ont fait penser à l'existence d'une correspondance terme à terme entre ADN et protéine.

Le passage de la succession de nucléotides observé dans la molécule d'ADN à celle des acides aminés caractéristiques de la protéine synthétisée, fait nécessairement intervenir un **système de correspondance** qui constitue le **code génétique**.

Dans celui-ci, un acide aminé correspond à une succession de 3 nucléotides : codon.

Le code génétique établit une correspondance entre la matrice d'acides nucléiques et le polypeptide produit. Il est écrit en **ARNm** plutôt qu'avec **l'ADN**. L'aspect le plus intéressant du code génétique est que certains acides aminés sont codés par plusieurs codons apparentés mais différents (Voir tableau ci-dessous).

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

On appelle **code génétique** la correspondance étroite entre le « langage »

de l'**ADN** qui comporte 64 codons différents (combinaisons des 4 nucléotides 3 par 3, soit 4^3 codons), et le « langage » protéique, qui comporte 20 acides aminés. Il se caractérise par :

- Un même acide aminé peut être codé par plusieurs codons différents : il y a **redondance** et le code génétique est dit **dégénéré, répétitif, redondant**.
- Le début de la traduction d'un polypeptide est signalé par le codon d'initiation AUG sur tous les ARN messagers.
- Trois codons ne désignent aucun acide aminé (codons-stop), ils correspondent à un signal de ponctuation, qui marque la fin de la fabrication du polypeptide lors de la traduction. Ce sont les codons UAA, UAG et UGA : Le code génétique est **ponctué**.
- La correspondance entre les codons de l'ADN et les acides aminés est la même quelle que soit la cellule vivante considérée. N'importe quelle cellule est capable de « lire » un gène provenant de n'importe quelle autre espèce et de produire la protéine correspondante : Le code génétique est **universel**.
- A un codon, correspond un acide aminé et un seul : il est **univoque**.

Document 3 : Transcription de l'ADN en ARN-messager.

La transcription de l'ADN, opération qui se déroule dans le noyau des cellules eucaryotes, a pour but de synthétiser une molécule d'Acide Ribonucléique (ARN) dit messager (ou ARNm) complémentaire à un brin d'ADN donné. Celui-ci sera ensuite diffusé dans le cytoplasme : il servira en quelque sorte de transfert de l'information génétique.

Cette transcription comporte différentes phases. La double hélice d'ADN est tout d'abord ouverte sur une courte portion. Des nucléotides libres (ou ribonucléotides) présents dans le noyau viennent alors, sous l'action d'une enzyme (l'ARN polymérase), s'associer pour former une chaîne complémentaire à celle du brin d'ADN.

C'est l'étape nucléaire de la synthèse d'une protéine.

La transcription est le premier processus de régulation utilisé par les cellules, tissus et organismes pour faciliter et contrôler les programmes complexes de l'expression génétique.

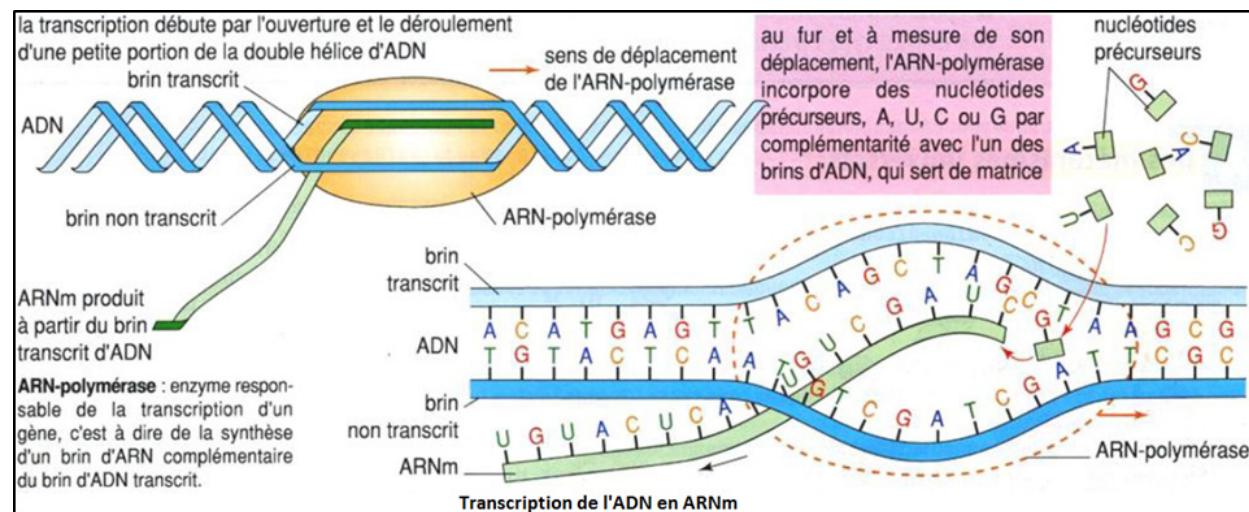
Après ouverture de la double hélice d'ADN, l'un des deux brins, appelé **brin transcrit**, sert de « matrice » à la synthèse d'une nouvelle chaîne. Il se forme un brin d'ARN dont la séquence est complémentaire d'une portion du brin transcrit de la molécule d'ADN. Cette synthèse se réalise à partir des **ribonucléotides** contenus dans le **nucléoplasme**. L'information génétique est conservée car la séquence des nucléotides de l'ARNm est imposée par celle de l'ADN dans le respect de la complémentarité des bases. L'ARNm est une molécule simple brin et ne forme pas de double hélice.

La taille trop importante des molécules d'ADN ne leur permet pas de traverser les pores de la membrane nucléaire. La transmission de l'information génétique entre le noyau et le cytoplasme est assurée par une molécule beaucoup plus petite qui sert d'intermédiaire : l'**ARN messager** (ARNm). La maturation des ARNm prématûrés se fait au niveau du noyau et entraîne des changements dans leur structure. Les transcrits initiaux se trouvent uniquement dans le noyau et dont 25% sont convertis en ARNm par excision des introns et assemblage des exons : Concept d'épissage chez les eucaryotes.

Pour commencer la transcription, il faut un **promoteur** (site sur l'ADN d'une centaine de bases auquel l'ARN polymérase ainsi que les facteurs d'initiation requis se fixent).

La transcription et la maturation des ARNm sont couplées, elles sont coordonnées. Elles comprennent :

- Les enzymes de la formation de la coiffe, qui méthylent la guanine 5' de l'ARNpm (pré-ARNm) immédiatement après que la transcription commence ;
- Les composants de la machinerie d'épissage qui initient l'excision de chaque intron au fur et à mesure de la synthèse ;
- Une endonucléase qui clive le transcrit au niveau du site d'addition du poly(A).



NB. L'épissage est un mécanisme de maturation de l'ARN qui permet à un ARN transcrit à partir d'un gène (ARN pré-messager), de se débarrasser de séquences non-codantes (les introns), pour donner un ARN messager, ou ARNm, qui sera ensuite traduit en protéine dans le cytoplasme de la cellule.

Document 4 : Traduction de l'ARN-messager en chaîne peptidique.

C'est la fabrication, dans les ribosomes, d'une protéine, en associant des acides aminés précis par des liaisons peptidiques : chaque acide aminé correspond à un codon de l'ARNm.

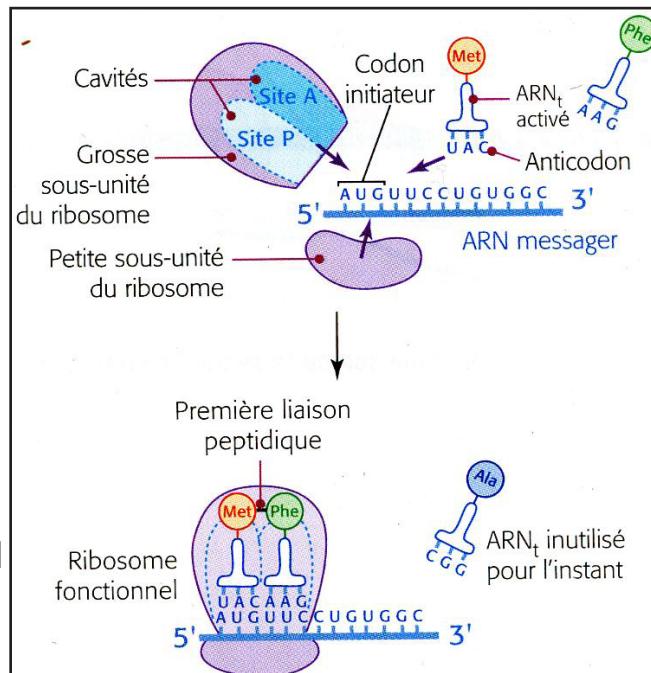
C'est l'étape cytoplasmique de la synthèse d'une protéine.

En résumé, la traduction nécessite du matériel : des ARN de transfert, des ribosomes, des matières premières (acides aminés apportés par le sang et provenant de la digestion des protéines alimentaires, des enzymes et de l'énergie nécessaires à la constitution des liaisons peptidiques).

Elle se fait en trois étapes :

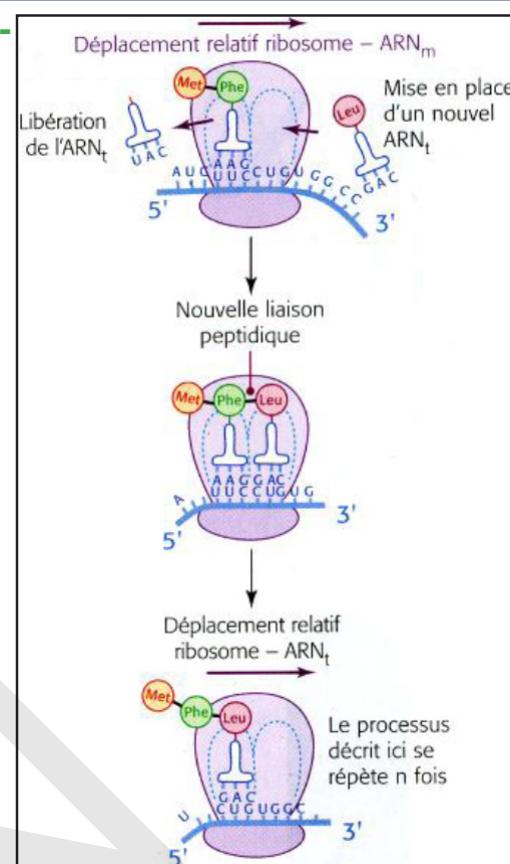
1^{ère} étape = initiation de la traduction :

Une fois que le brin d'ARNm a atteint le cytoplasme, où a lieu la traduction, il se fixe à un ribosome, composé d'une petite sous-unité et d'une grande sous-unité, qui va assembler une séquence d'acides aminés, selon les «instructions» du code génétique. Le codon AUG, appelé codon-initiateur, va permettre de commencer la traduction en formant l'acide aminé méthionine, qui se détachera plus tard de la chaîne polypeptidique. Une fois le ribosome assemblé, avec l'ARNt initiateur chargé au site P, la synthèse du polypeptide peut commencer.



2^{ème} étape : Elongation de la chaîne polypeptidique :

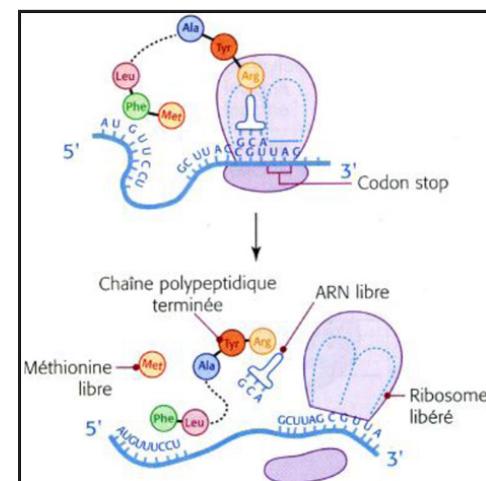
Après la translocation (libération du site A) le ribosome est prêt pour un autre cycle de polymérisation. Le premier ARNt quitte le ribosome qui avance de trois nucléotides. Un nouvel ARNt se positionne dans le site « libre» du ribosome. Le ribosome va parcourir le brin d'ARNm, codon par codon (translocation) et va par l'intermédiaire d'un ARNt, ajouter un acide aminé à la protéine en cours de fabrication selon le codon lu. Les acides aminés s'enchaînent les uns aux autres par une liaison peptidique pour former une chaîne polypeptidique. La protéine sera formée en commençant par l'extrémité N-terminale et en terminant par l'extrémité C-terminale.



3^{ème} étape : Terminaison de la traduction :

Une fois le codon-stop atteint (UAA, UGA, UAG), la protéine est complète: le ribosome se détache de la protéine et du brin d'ARNm et la protéine est libérée dans l'organisme. Le ribosome va se disloquer en ses deux sous-unités et pourra faire une autre synthèse sur un autre ARNm. S'entame alors le transport des protéines qui les mène hors de la cellule et dans le système sanguin ou encore à l'intérieur même de la cellule l'ayant synthétisé.

Le même filament d'ARNm peut servir à la fabrication simultanée de plusieurs molécules de protéines, lorsque plusieurs ribosomes s'en chargent. Avant d'être détruite, cette molécule participe, en effet, à la synthèse de 10 à 20 protéines.

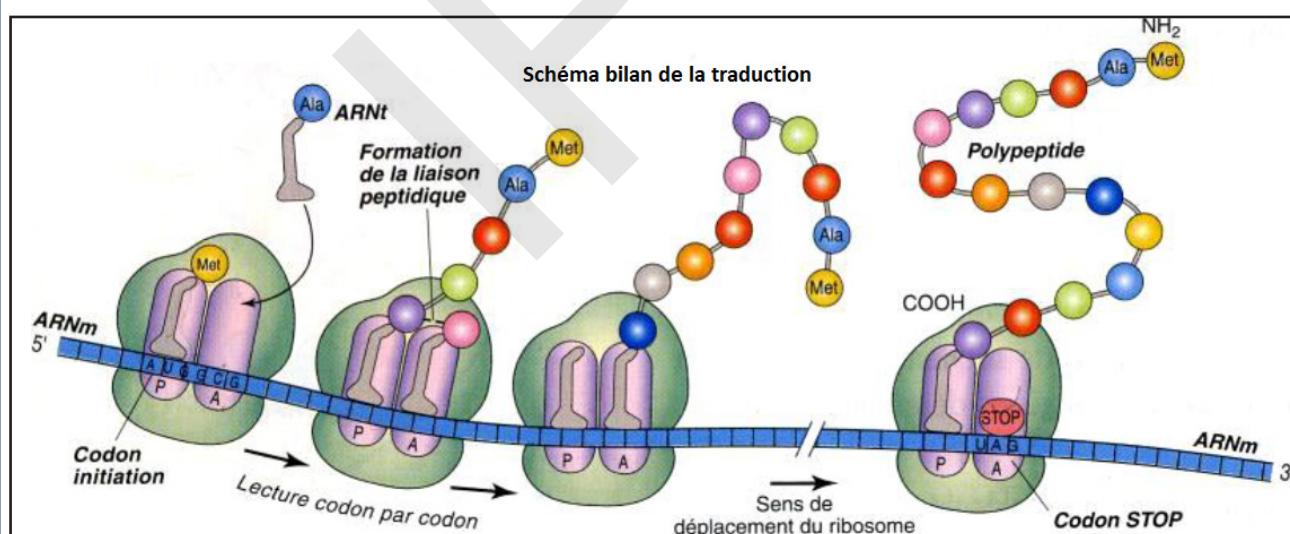


A partir de l'analyse de ces documents, montrer comment l'information génétique portée par l'ADN peut être dupliquée et comment se fait l'expression de cette information à travers la synthèse de diverses protéines.

La correspondance entre un codon donné et un acide aminé porte le nom de code génétique. On qualifie souvent ce dernier d'universel, d'univoque et de redondant.

La synthèse d'une protéine nécessite que les acides aminés spécifiques qui la constituent soient assemblés dans un ordre précis. L'information nécessaire à cette synthèse se trouve dans les gènes. L'expression d'un gène conduit à la biosynthèse d'une protéine et se fait en deux étapes, la transcription et la traduction.

On appelle traduction le processus au cours duquel la séquence nucléotidique de l'ARNm est utilisée pour construire une chaîne d'acides aminés (chaîne polypeptidique) correspondant à la séquence codante de l'ADN. La traduction se fait suivant un cadre de lecture défini au début de la traduction (codon d'initiation AUG). En plus de l'ARNm, la traduction implique deux autres types de molécules d'ARN, l'ARN de transfert (ARNt) et l'ARN ribosomique (ARNr). L'ARNt déchiffre les codons (Chaque acide aminé possède son propre ARNt qui se lie à l'acide aminé et le transporte à l'extrémité de la chaîne polypeptidique en cours de synthèse). Chaque ARNt présente une région appelée anticodon, complémentaire d'un codon de l'ARNm.



Dans la réplication et la transcription, le transfert de l'information génétique nécessite une matrice d'ADN pour produire un acide nucléique (ADN, ARN), mais dans la traduction, la matrice est l'ARN et le produit final est un polypeptide ou une protéine.

La traduction est parmi les événements les plus conservés chez tous les organismes et les plus coûteux en énergie.

Notons tout d'abord que la synthèse des polypeptides a lieu lors de l'interphase dans le cytoplasme au niveau de structures appelées ribosomes et est catalysée par un apport extérieur d'énergie.

La variabilité de l'ADN et de l'information génétique est due aux mutations qui se traduisent par des modifications de la séquence de nucléotides d'un gène. Le gène responsable du caractère peut subir une modification, entraînant l'apparition d'un nouveau caractère. Donc, un nouvel allèle est créé. On appelle cette modification, une mutation. Une mutation est une modification accidentelle et irréversible de la séquence des nucléotides de l'ADN.

Toute modification par mutation de la séquence d'un gène, donnant naissance à un nouvel allèle, peut conduire à une **modification de la structure primaire** de la protéine correspondante, c'est-à-dire de l'ordre et de la nature des acides aminés qui la composent. Elle a parfois également pour conséquence une **modification de la conformation spatiale** de la protéine, ce qui peut changer ses propriétés.

Le plus souvent, les mutations sont **ponctuelles** et concernent un seul ou un petit nombre de nucléotides. Elles se produisent, au hasard, le long du gène et peuvent se manifester par :

- Une **substitution** de nucléotides : un ou plusieurs nucléotides situés à des sites précis du gène sont remplacés par un autre. Un ou plusieurs codons sont modifiés.
- Une **délétion** ou une **insertion** de nucléotides : un ou plusieurs nucléotides sont supprimés ou ajoutés à la séquence nucléotidique. La succession des triplets de l'ADN diffère alors de la séquence de référence à partir de la délétion ou de l'insertion, puis ces mutations induisent un décalage de la lecture du message par le ribosome, la protéine obtenue est différente de la protéine normale.
- Une **inversion** d'une séquence.

Les conséquences de ces mutations sur la séquence polypeptidique sont variables et on peut distinguer plusieurs cas : Les deux polypeptides

- sont identiques. Ce phénomène se produit par suite de la redondance du code génétique, le nouveau triplet obtenu après mutation conduit au même acide aminé : La mutation est dite **silencieuse**.
- diffèrent par un seul acide aminé, ce qui peut modifier l'activité biologique : La mutation est dite **faux-sens**.

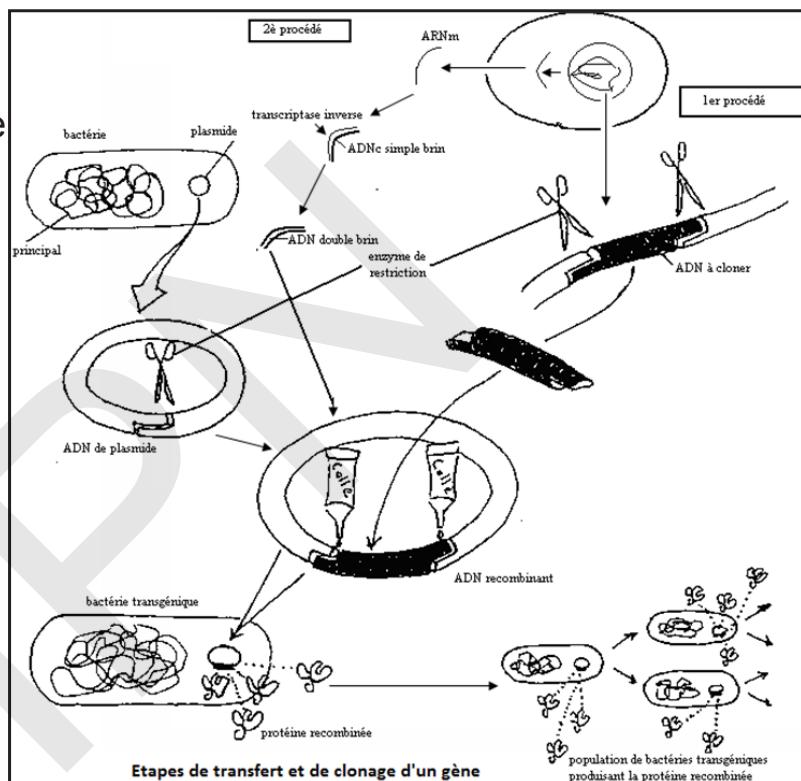
- diffèrent par un seul acide aminé. La chaîne polypeptidique peut être plus courte si la mutation fait apparaître un codon-stop : La mutation est dite non-sens.
- diffèrent sans modifier l'activité biologique : La mutation est dite **neutre**.

IV- Transfert de gènes

Activité 5

Faire du génie génétique.

La molécule d'ADN est universelle. Il est donc possible d'en prélever un fragment dans un organisme d'une espèce et de l'implanter dans un organisme d'une autre espèce. C'est ce qu'on appelle la transgénèse, qui produit des organismes génétiquement modifiés (OGM). Le document ci-contre résume les étapes et les outils utilisés dans le transfert de gènes.



Exploiter ce document pour :

- résumer les étapes de transfert d'un gène ;
- énumérer les principaux outils utilisés dans cette technique ;
- dégager la définition du génie génétique.

Exploitation du document :

Le génie génétique est l'ensemble des outils et des techniques de la biologie moléculaire permettant, de manière contrôlée, l'étude de la modification des gènes : leur isolement, leur clonage, leur séquençage, leur découpage ...dans un but de recherche fondamentale ou appliquée.

La transgénèse ou transformation génétique est l'addition d'un ou de plusieurs gènes étrangers dans une cellule. Le nouveau gène introduit (appelé transgène) peut, s'il est exprimé, conférer de nouvelles caractéristiques héréditaires à la cellule.

Le génie génétique est principalement basé sur le clonage moléculaire qui permet la recombinaison d'un fragment double brin d'ADN avec un vecteur et son introduction dans un hôte approprié.

Cet exemple montre que nous allons extraire de l'organisme humain, le gène codant la synthèse de l'insuline. Puis parallèlement, nous extrairons un plasmide de bactéries *Escherichia coli* que l'on ouvre pour faire la place pour le morceau d'ADN qu'on veut lui ajouter. Nous assemblons les deux et nous réinsérons le plasmide dans le colibacille.

Les différentes étapes successives à entreprendre en génie génétique sont les suivantes :

- **recombiner le gène** : pour recombiner, *in vitro*, des ADN provenant de cellules différentes, on utilise des enzymes (par exemple des enzymes de restriction, ADN-ligase, transcriptase inverse...) qui permettent d'isoler et de greffer des segments ADN (gènes) d'une cellule «donneuse» dans un plasmide.
- **cloner le gène**, (c'est-à-dire l'isoler et le multiplier) : on introduit le plasmide recombiné dans une bactérie que l'on cultive. L'introduction du plasmide modifié dans le génome de la cellule se fait par un vecteur biologique (un *Agrobacterium* ou un «désarmé») ou par un procédé mécanique (projection de microbilles de tungstène portant le plasmide). Il est également possible d'introduire la construction génique directement, par micro-injection dans la cellule. Le clone bactérien ayant incorporé et multiplié le gène recherché est identifié à l'aide d'une sonde moléculaire.
- **faire exprimer le gène** : dans la cellule hôte, il faut lui adjoindre certaines séquences d'ADN, indispensables à sa transcription en ARN messager. Les séquences de régulation comportent obligatoirement un adapté à l'organisme receveur. Une séquence est un enchaînement de bases particulier. Le choix du promoteur permet d'orienter l'expression du gène, de la limiter à une partie de l'organisme (feuilles ou racines, glande mammaire...) ou à un stade de son développement.

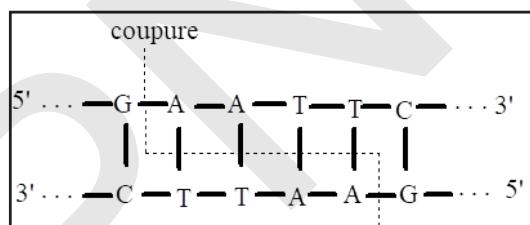
Parmi les outils du génie génétique, on peut citer :

- Enzymes de restriction : ce sont des endonucléases spécifiques, leur utilisation permet d'obtenir des fragments d'ADN aux extrémités bien caractérisées, dont certains peuvent contenir des gènes. Une enzyme de restriction est capable de couper un fragment d'ADN au niveau d'une séquence de nucléotides caractéristique appelée site de restriction. Chaque enzyme de restriction reconnaît ainsi un site de restriction spécifique.

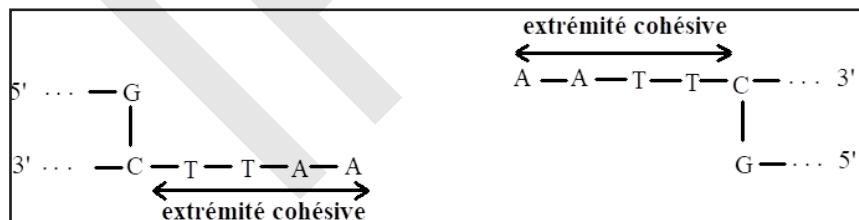
Selon la position de la coupure (dans l'axe ou loin de l'axe) on distingue deux types de coupure :

- ▶ Coupure franche : Dans l'axe → Extrémités franches ;
- ▶ Coupure cohésive (collant) : N'est pas dans l'axe. → Extrémités cohésives.

Exemple : EcoRI est une enzyme de restriction qui coupe la double hélice d'ADN entre l'adénine et la guanine chaque fois qu'elle rencontre la séquence de bases azotées suivante :



Après la coupure on obtient :



Les produits de la digestion d'un génome par les enzymes de restriction sont appelés les fragments de restriction.

Plusieurs centaines d'enzymes de restriction sont actuellement connues (tableau).

Nom de l'enzyme	Source	Séquence reconnue et coupure
EcoRI	Escherichia coli	<p style="text-align: center;">coupure</p> <p>5' ... G A A T T C ... 3' 3' ... C T T A A G ... 5'</p>
BamHI	Bacillus amylolique faciens	<p style="text-align: center;">coupure</p> <p>5' ... G G A T C C ... 3' 3' ... C C T A G G ... 5'</p>
HindIII	Haemophilus influenzae	<p style="text-align: center;">coupure</p> <p>5' ... A A G C T T ... 3' 3' ... T T C G A A ... 5'</p>

- **ADN ligase** : Elles lient de façon covalente des fragments d'ADN quelle qu'en soit l'origine.

La ligation entre deux molécules d'ADN par une liaison covalente entre l'extrémité 3'-OH d'un brin et celle 5'-phosphate de l'autre brin, est le résultat de l'action d'une ligase. Cette réaction nécessite la consommation d'une molécule d'ATP.

L'ADN-ligase d'E. coli et celle du phage T4 sont les plus utilisées en génie génétique. La première utilise le NAD comme cofacteur et le deuxième utilise l'ATP et le Mg⁺⁺.

- **ADN polymérases** : Enzymes qui dupliquent les molécules d'ADN.

- **Transcriptases inverses (reverses)** : enzymes utilisées par les rétrovirus pour transcrire l'information génétique des virus de l'ARN en ADN. Elle permet d'obtenir une copie de l'ADN appelée ADNc ou complémentaire à partir de l'ARN.

- **Plasmides** : Ce sont des petits éléments génétiques extra-chromosomiques doués de la réplication autonome. Ce sont typiquement des molécules d'ADN double brin, circulaires, de taille variable de 1 kb à deux ou trois centaines de kb (< 5% de la taille du chromosome bactérien) qui se trouvent essentiellement dans les bactéries. Les bactéries utilisent les plasmides selon un processus naturel afin d'échanger des séquences d'ADN. Dans la technologie génétique, les plasmides peuvent être utilisés pour le transfert d'ADN aussi bien dans des cellules végétales, animales qu'humaines. Les plasmides sont souvent utilisés

comme de bons vecteurs de clonage chez les bactéries parce qu'ils se multiplient en nombre de copies important et qu'ils sont aisément purifiables.

NB. Des virus peuvent aussi jouer le rôle de vecteurs. Lorsqu'ils sont utilisés à cette fin, les virus sont modifiés de manière à n'exercer aucun effet néfaste sur les cellules hôtes.

- **Sondes radioactives (moléculaires)** : Ce sont des molécules utilisées pour l'exploration des structures d'un être vivant ou pour l'identification des biomolécules qui en ont été extraites. Les sondes doivent être spécifiques. A cet égard, elles peuvent être choisies parmi des acides nucléiques, mettant à profit le phénomène des complémentarités séquentielles qui sont la caractéristique de ces molécules.

Plusieurs isotopes radioactifs sont utilisés comme marqueurs en hybridation moléculaire comme ^{3}H .

Aujourd'hui, le génie génétique a un très large champ d'application, de la recherche fondamentale à la recherche médicale et pharmaceutique, en passant par les sciences de l'environnement ou l'agriculture.

Les principales applications du génie génétique se voient dans les domaines suivants:

- En médecine : Grace au génie génétique, on produit des hormones pour traiter les maladies : l'insuline pour traiter le diabète, l'hormone de croissance pour traiter les retards de croissance... Une autre application du génie génétique dans le domaine de la santé humaine est la thérapie génique, qui consiste à faire pénétrer des gènes dans les cellules d'un individu pour traiter une maladie. La thérapie génique vise à remplacer un allèle défectueux par un allèle fonctionnel. Cette technique est encore en phase d'essais cliniques.

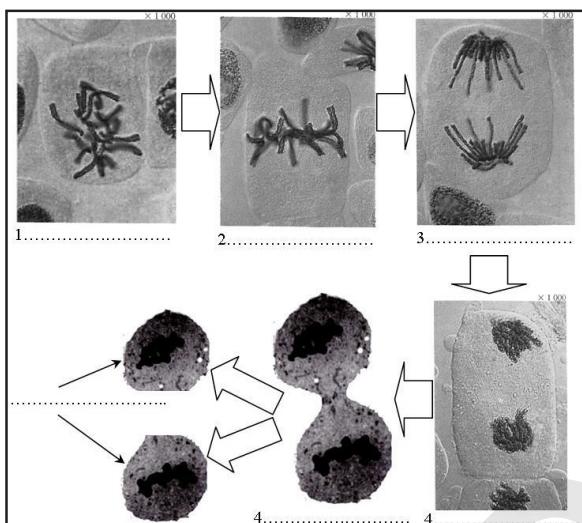
- Dans le domaine agricole : Le génie génétique permet de cultiver des plantes résistantes aux maladies et aux parasites. Ils contribuent ainsi grandement à assurer les récoltes dans le respect de l'environnement...

V- Transmission de l'information génétique

A- La Mitose

Activité 6

Décrire la mitose et montrer son importance dans la transmission de l'information génétique.



Schémas des phases de la mitose	Caractéristiques
	PROPHASE
Fibres du fuseau achronatique Centrosome Aster Chromosome à 2 chromatides Centromère
	MÉTAPHASE
Microtubule kinétochorien Chromosome métaphasique Microtubule polaire
	ANAPHASE
Une chromatide
	TÉLOPHASE
Enveloppe nucléaire Etranglement Une chromatide décondensée

La division cellulaire est nommée mitose, il s'agit d'une multiplication cellulaire où une cellule mère donne deux cellules filles identiques (reproduction conforme). La mitose comprend 4 phases : prophase, métaphase, anaphase et télophase.

Exploiter les documents pour compléter le tableau afin de définir la mitose et dégager les caractéristiques de chacune de ses phases.

Exploitation du document pour compléter le tableau :

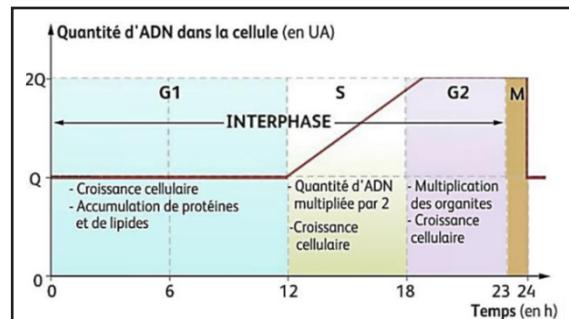
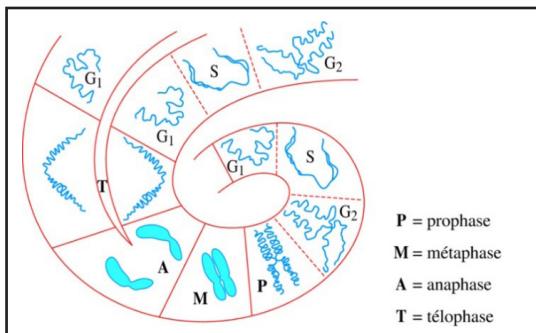
Phase	Caractéristiques
PROPHASE	Les fibres de chromatine se condensent formant des chromosomes ; Disparition de l'enveloppe nucléaire et du nucléole donc du noyau ; Chaque chromosome se compose de deux chromatides sœurs identiques réunies au niveau du centromère. Les centrosomes s'éloignent l'un de l'autre et forment le fuseau de division.
METAPHASE	Les chromosomes sont condensés au maximum ; Alignement des chromosomes en plaque équatoriale, un plan situé à égale distance des deux pôles du fuseau de division.
ANAPHASE	Clivage des centromères et séparation des chromatides de chaque chromosome ; Migration des chromatides vers les pôles de la cellule. Chaque chromatide migre à un pôle opposé de la cellule : Ascension polaire.
TELOPHASE	Décondensation des chromosomes ; Réapparition de l'enveloppe nucléaire et du nucléole ; Disparition du fuseau achromatique ; Division du cytoplasme de la cellule mère par étranglement dans la région équatoriale de la cellule ; Une répartition égale du nombre de chromosome dans chaque future cellule fille ; Formation de 2 cellules filles identiques.

Activité 7

Décrire le cycle cellulaire et expliquer l'évolution de la quantité d'ADN au cours de ce cycle.

Au cours de sa vie, toute cellule eucaryote subit un certain nombre de mitoses séparées les unes des autres par une interphase.

Les documents suivants résument les manifestations observées.



Décrire les changements morpho-structurels des chromosomes afin d'expliquer la variation de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire en insistant sur l'évènement se déroulant au cours de la phase S.

On appelle cycle cellulaire les différentes étapes par lesquelles passe la cellule, du début d'une interphase au début de l'interphase suivante ; autrement dit cycle cellulaire = interphase + mitose.

Ce cycle se caractérise par deux événements fondamentaux :

-La duplication des chromosomes en interphase matérialisée par le passage de chromosomes simples à une chromatide à des chromosomes doubles à 2 chromatides.

-Un partage égal des chromosomes en anaphase de mitose : les chromatides de chaque chromosome se séparent. A la fin de la mitose, les deux cellules filles contiennent les mêmes chromosomes en nombre égal.

Au terme de ce processus de duplication des cellules eucaryotes, on se retrouve finalement avec deux cellules filles ayant le même patrimoine génétique que la cellule mère: ce sont des clones.

B- La Méiose

Activité 8

Comment peut-on expliquer que l'union des 2 gamètes parentaux contenant, en théorie, 23 chromosomes chacun, puissent donner un nouvel individu dont les cellules ne contiendraient que 46 chromosomes ?

Pour répondre à cette question, on propose le document suivant :

Clichés de méiose	Schémas explicatifs	Caractéristiques	Clichés de méiose	Clichés de méiose	Caractéristiques
		PROPHASE I			PROPHASE II
		METAPHASE I			METAPHASE II
		ANAPHASE I			ANAPHASE II
		TELOPHASE I <small>Pas d'interphase (Pas de duplication d'ADN)</small>			TELOPHASE II
		Etapes de la méiose			<small>studylibfr.com (modifié)</small>

Compléter le tableau pour dégager la définition et les caractéristiques de la méiose.

Tableau complété :

Caractéristiques	
PROPHASE I	PROPHASE II
- Appariement des chromosomes homologues formant n bivalents (=Tétrades de chromatides) ; - Présence de chiasmas.	- individualisation des 2n chromosomes
METAPHASE I	METAPHASE II
- Centromères des bivalents disposés de part et d'autre du plan équatorial ; - Disposition aléatoire des chromosomes d'origine maternelle ou paternelle, indépendante entre chaque bivalent.	- n chromosomes placés au niveau du plan équatorial avec les centromères disposés sur ce plan (plaqué équatoriale comme en mitose).
ANAPHASE I	ANAPHASE II
- Séparation (disjonction) des chromosomes homologues qui migrent vers les pôles opposés. Il y a donc réduction chromatique soit passage de 2n à n pour chaque future cellule fille.	- Séparation (disjonction) des chromatides sœurs qui migrent vers les pôles opposés (migration polaire après duplication des centromères comme en mitose).
TELOPHASE I	TELOPHASE II
- Reconstitution du noyau des cellules filles haploïdes contenant n chromosomes à deux chromatides chacun, - Séparation des 2 cellules filles. - Absence d'interphase : pas de phase S (synthèse ADN).	- Reconstitution du noyau des cellules filles haploïdes avec n chromosomes à une chromatide chacun, - Séparation des 2 x 2 cellules filles haploïdes à n chromosomes à une chromatide.

La méiose est un processus de division cellulaire en deux étapes, utilisé pour produire des gamètes (chez les animaux). Elle correspond à deux divisions cellulaires successives dont la première est réductionnelle et la seconde est équationnelle. Chaque division se fait en 4 étapes (prophase, métaphase, anaphase et télophase).

Ce mécanisme, composé de deux divisions successives, permet de répartir aléatoirement les 2n chromosomes à deux chromatides d'une cellule mère dans 4 cellules filles qui ne contiendront plus que n chromosomes à 1 chromatide.

Cette répartition au hasard permet à un individu de produire plus de 8 millions de gamètes génétiquement différents ! La méiose est donc un mécanisme fondamental dans la création d'individus génétiquement différents.

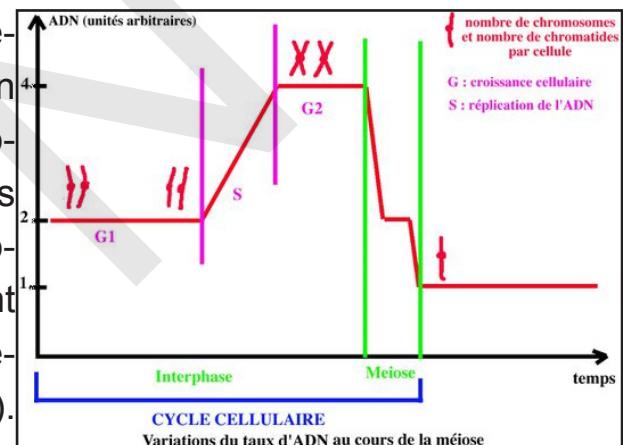
La méiose assure la production des cellules haploïdes (gamètes chez les animaux) :

- en séparant les chromosomes homologues en méiose 1 à 2 cellules haploïdes contenant un chromosome de chaque paire ;
- puis en séparant les chromatides de chaque chromosome en méiose 2.

C'est une division non conforme.

Les mécanismes de ce processus biologique permettent d'obtenir quatre cellules-filles haploïdes à partir d'une cellule-mère diploïde.

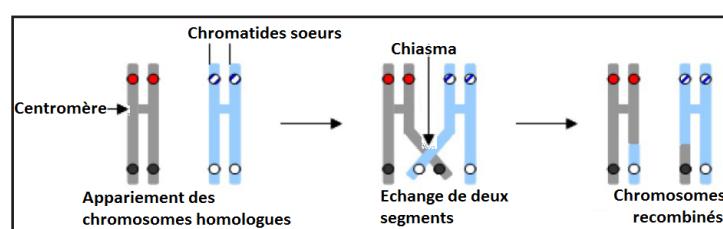
La réPLICATION de l'ADN permet de déclencher la première phase de division méiotique, au cours de laquelle on observe une association des chromosomes homologues de chaque paire, qui se rapprochent de façon étroite puis se séparent dans deux cellules-filles (prophase I, métaphase I, anaphase I et télophase I).



La seconde division de méiose permet, sans nouvelle réPLICATION, de séparer chaque chromosome au niveau d'une chromatide dans les quatre cellules-filles finales qui deviendront des gamètes (prophase II, métaphase II, anaphase II et télophase II).

La méiose est un événement complexe et important qui mène à la production de quatre gamètes haploïdes à partir d'une unique cellule diploïde. Elle est à l'origine d'un brassage allélique qui se déroule en deux temps : un brassage intrachromosomique puis un brassage interchromosomique.

- Le brassage intrachromosomique : Les chromosomes appariés en prophase I montrent des chromatides enchevêtrées qui forment des figures en croix appelées chiasmas. C'est au niveau de ces



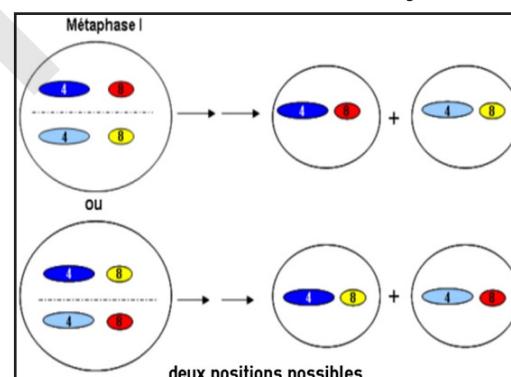
chiasmas que des échanges de morceaux de chromatides peuvent se réaliser entre chromosomes homologues ; on nomme cet enjambement, le crossing-over. Dans cette nouvelle association des chromatides, des combinaisons nouvelles d'allèles apparaissent : les brassages intrachromosomiques. Le brassage intrachromosomique s'effectue lors de la première division de la méiose et plus particulièrement vers la fin de la prophase.

Le résultat donne, avec les gamètes recombinés en proportion minoritaire, des descendants dont le phénotype est différent des parents. En anaphase I de méiose, chaque chromosome d'une paire d'homologues va migrer de façon aléatoire et indépendante pour chaque paire vers l'un ou vers l'autre pôle cellulaire. C'est le brassage interchromosomique.

Les différents phénotypes des descendants sont en quantités équivalentes et cela montre le caractère aléatoire de la migration des chromosomes homologues. Les remaniements intrachromosomiques de la prophase I et le brassage interchromosomique de l'anaphase I permettent la création d'une infinie diversité de gamètes.

- Le brassage interchromosomique intervient sur des chromosomes déjà remaniés par le brassage intrachromosomique.

La transmission des chromosomes d'une génération à l'autre fait intervenir : Au moment de la métaphase I, la disposition des paires de chromosomes, les unes par rapport aux autres, se fait de manière aléatoire. A l'anaphase de la première division, les chromosomes homologues se séparent, chacun, d'un

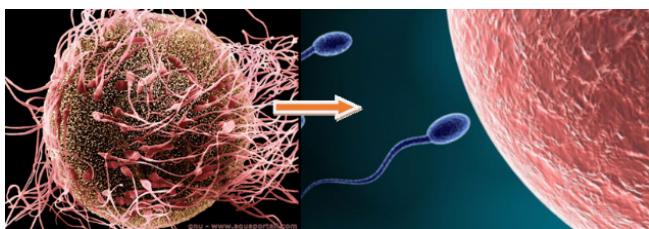
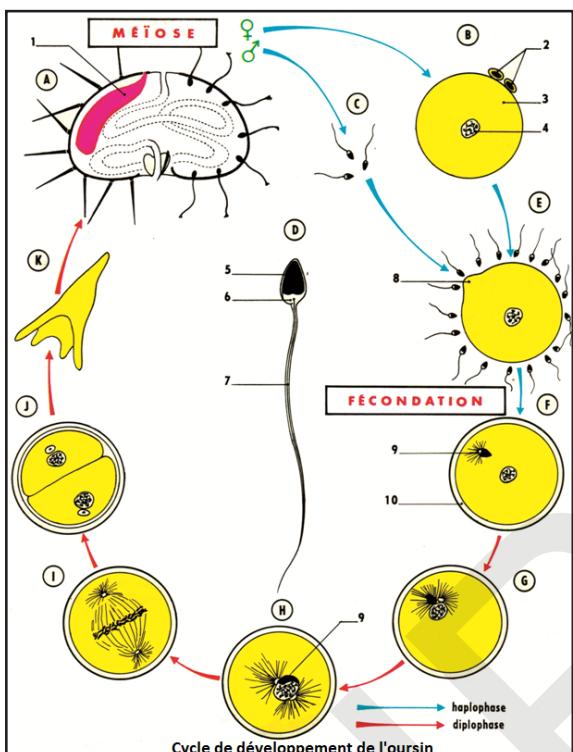


côté du plan équatorial de la cellule. Cette séparation est totalement aléatoire, c'est-à-dire qu'un chromosome d'une première paire peut être associé indifféremment à l'un ou l'autre des chromosomes d'une deuxième paire. Il en est ainsi pour les 23 chromosomes chez l'homme. Il en résulte qu'un individu humain peut produire potentiellement 2^{23} gamètes différents par ce seul processus, c'est-à-dire que le seul brassage interchromosomique offre plus de 8 millions de possibilités.

C- La fécondation

Activité 9

La fécondation et ses conséquences sur la diversité génétique. Les figures ci-dessous représentent l'une des étapes caractéristiques de la reproduction sexuée chez les animaux : la rencontre des gamètes.



Les étapes de la fécondation chez l'oursin : A. Oursin, coupe schématique montrant une glande reproductrice (1).

B. Ovule 2. Globules polaires, 3. Cytoplasme, 4. Noyau à n chromosomes. C, D. Spermatozoïdes 5. Tête contenant le noyau à n chromosomes, 6. Pièce intermédiaire, 7. Flagelle. E. Attraction des spermatozoïdes, formation du cône de fécondation (8). F. Fécondation : pénétration du noyau mâle (9. Pronucléus mâle) dans le cytoplasme, formation de la membrane de fécondation (10). Formation de l'aster spermatique. G. Dédoublement de l'aster, le pronucléus femelle vient au contact du pronucléus mâle. H. Fusion des deux pronucléi mâle et femelle. I. Métaphase de la première division, les n chromosomes mâles et les n chromosomes femelles se mettent en plaque équatoriale.

J. Fin de la première division. K. Larve d'oursin.

A partir de l'exploitation des figures et de vos recherches, dégager la définition de la fécondation, ses conditions, ses étapes, son rôle et sa contribution à la diversité génétique.

Exploitation des figures (+ recherches) :

La fécondation peut être observée aisément chez l'Oursin. Il suffit pour cela de se procurer un mâle et une femelle sexuellement mûrs et de mélanger deux gouttes de produits sexuels sous le microscope. Comme chez tous les métazoaires, le gamète mâle ou spermatozoïde est une cellule mobile, très petite tandis que le gamète femelle ou ovule est une cellule sphérique, volumineuse et immobile. Chaque cellule mère des gamètes mâles donne quatre spermatozoïdes tandis que chaque cellule mère des gamètes femelles donne un seul ovule accompagné de cellules minuscules appelées globules polaires.

Le déroulement de la fécondation se fait par étapes :

- L'attraction des spermatozoïdes par les ovules est assurée par des substances chimiques appelées fertilisines libérées par l'ovule : c'est le chimiotactisme positif.
- La pénétration du spermatozoïde : Au contact de la gangue muqueuse, l'acrosome éclate et libère un filament qui vient au contact avec la membrane de l'ovule. Les cellules folliculaires se rétractent et le spermatozoïde perfore la membrane ovulaire grâce aux enzymes contenues dans son acrosome (au niveau de la tête) : c'est la réaction acrosomique.

Une petite protubérance appelée cône de fécondation se forme alors autour du filament acrosomial.

- L'activation: au point de contact, une modification de la zone périphérique de l'ovule apparaît et s'étend en moins de deux secondes à toute sa surface. Cette zone modifiée appelée autrefois «membrane de fécondation», semble liée à une exsudation de substances de déchets, c'est-à-dire à une réaction d'épuration. Les granules corticaux éclatent : c'est la réaction corticale; le noyau mâle s'enfonce dans le cytoplasme et gonfle; la tête et la pièce intermédiaire du spermatozoïde fécondant pénètrent dans le cytoplasme ovulaire, tandis que la queue est abandonnée dans la gangue. L'ovule n'exerçant plus aucune attraction sur les autres spermatozoïdes, la pénétration d'un second gamète est tout à fait exceptionnelle. La libération du contenu enzymatique contribue à la garantie de la monospermie.

L'apparition de la membrane de fécondation n'est que la manifestation visible de l'activation, c'est-à-dire du retour à la vie active. Le métabolisme et les échanges reprennent brutalement leur intensité normale. On parle de réveil physiologique.

-La fusion des noyaux, ou caryogamie :

Le spermatozoïde se dirige lentement vers le noyau de l'ovule tout en effectuant une rotation de 180°. Le noyau mâle s'imbibe et se gonfle, tandis que son centrosome engendre un aster. Les deux noyaux s'appliquent l'un contre l'autre et se fusionnent en un noyau diploïde : la cellule qui en résulte est un œuf ou zygote.

Mais, dès ce moment, l'aster s'est déjà dédoublé et la première mitose de segmentation commence sans tarder. Dans chaque cellule de l'embryon, les chromosomes se disposent par couple, et chaque couple comprend un chromosome d'origine paternelle et un chromosome d'origine maternelle.

La fécondation, en unissant un spermatozoïde X à un ovule X donne un œuf XX qui deviendra une femelle. En unissant un spermatozoïde Y à un ovule X, elle donne un œuf XY qui deviendra un mâle. C'est donc la fécondation qui détermine le sexe de la descendance.

NB. Activation et caryogamie sont des processus distincts que certains artifices expérimentaux permettent de dissocier. Ainsi, l'activation peut être obtenue par des moyens purement physiques (parthénogenèse artificielle) ; dans ce cas, l'embryon demeure haploïde, à moins qu'une « régulation » ne s'opère dès le début du développement (par la fusion de l'ovule et de l'un des globules polaires, par exemple).

Signalons enfin que fécondation et méiose se chevauchent parfois :

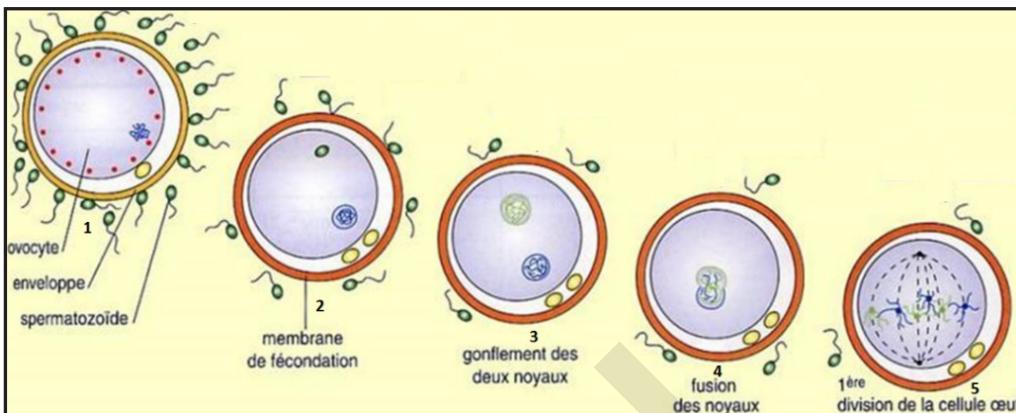
- chez l'Oursin, l'union des gamètes s'effectue lorsque la méiose est terminée : le spermatozoïde pénètre dans un ovule véritable ;
- chez l'Ascaris, ver parasite de l'intestin, c'est le contact du gamète mâle qui déclenche la méiose de l'ovocyte : le spermatozoïde pénètre dans un ovocytel.
- chez l'Homme, le contact s'établit en cours de méiose : le spermatozoïde pénètre dans un ovocyte II ;

Les principales conditions de la fécondation chez l'Homme sont :

- ▶ Des gamètes en bon état et en nombre suffisant (pour les gamètes mâles) ;
- ▶ Présence simultanée des deux types de gamètes dans les voies génitales femelles ;
- ▶ Des voies génitales femelles dégagées ;
- ▶ Une glaire cervicale normale.

La fécondation est donc, l'union de deux gamètes de sexes opposés au cours du processus de reproduction sexuée pour former un zygote ou cellule-œuf à $2n$ chromosomes.

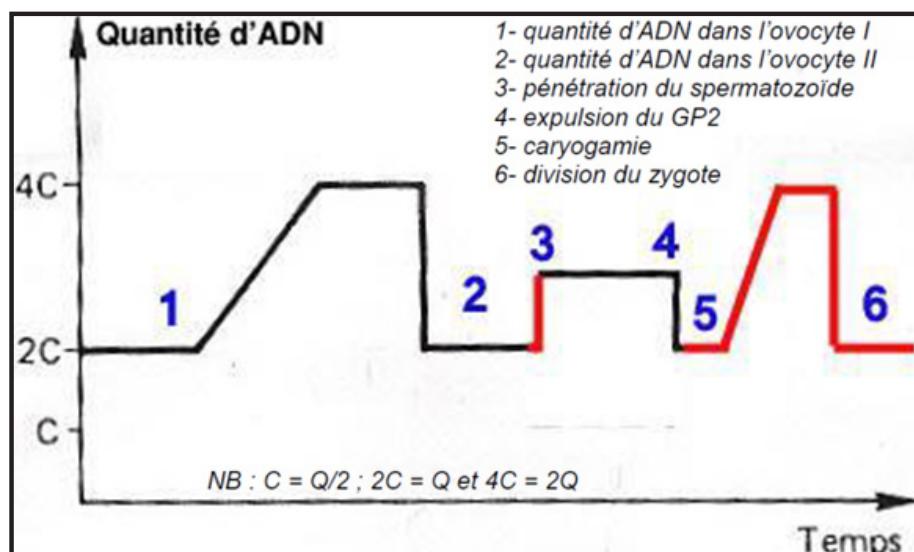
Chez les animaux, elle peut être externe ou interne (dans le corps de la femelle). Elle a pour fonctions principales de rétablir l'état diploïde, de transmettre les caractères héréditaires aux jeunes et d'activer l'œuf en vue de la segmentation. Chaque individu issu d'une reproduction sexuée porte un génome différent des autres individus de son espèce. Le génome est l'ensemble des gènes d'un individu.



La cellule-œuf contient n chromosomes paternels et n chromosomes maternels, formant les n paires de chromosomes du nouvel individu. Une paire de chromosomes est donc composée de deux chromosomes génétiquement différents puisque provenant du père et de la mère. La fécondation est un événement majeur de diversification génétique par amplification du brassage génétique et augmentation de la diversité interindividuelle.

Le caractère aléatoire de la rencontre des gamètes renforce la diversité génétique due à la méiose au moment de la fécondation.

La variation de la quantité d'ADN au cours de la fécondation est résumée par le graphe ci-contre.



VI- Cycles de développement et cycles chromosomiques

Activité 10

Comment établir un cycle chromosomique?

L'alternance méiose-fécondation introduit un cycle dans le développement d'un organisme caractérisé par une alternance de phases chromosomiques, l'haplophase et la diplophase.

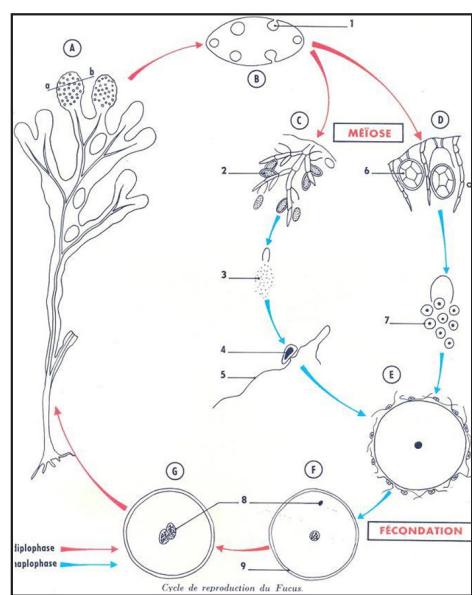
Les documents ci-après donnent des exemples de cycles de développement parmi les plus connus dans le monde végétal.

Document 1 : Cycle de développement (de reproduction) du Fucus.

Le fucus vésiculeux est une algue brune fixée sur les rochers à l'aide d'un petit crampon en forme de disque appartenant à la famille des Fucacées. Elle porte des vésicules aéifères ou flotteurs plus nombreux permettant à l'algue de se redresser vers la surface à marée montante. En période de reproduction, on observe aux extrémités de l'algue, des renflements ou réceptacles de couleur claire correspondant aux organes reproducteurs.

Une coupe au niveau de ces renflements montre des cavités appelées conceptacles, qui produisent des gamètes suite à la méiose :

- Des conceptacles mâles : contenant des anthéridies qui produisent les gamètes mâles, anthérozoïdes.
- Des conceptacles femelles : contenant des oogones qui produisent les gamètes femelles, oosphères.

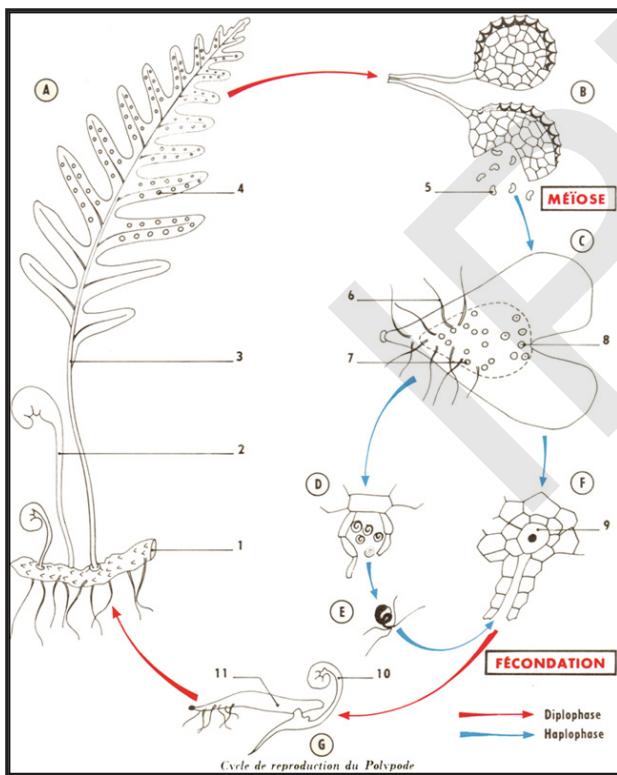


Cycle de reproduction du Fucus : A. Fucus. B. Coupe suivant ab d'une extrémité fertile (1, conceptacle). C. Contenu d'un conceptacle mâle, poil ramifié porteur d'anthéridies (2) qui libéreront 64 gamètes mâles (3) ayant un noyau (4) à n chromosomes et mobiles grâce à deux flagelles (5). D. Contenu d'un conceptacle femelle. Chaque oogone (6) libérera 8 gamètes femelles (7) à n chromosomes. E. Attraction des gamètes mâles, danse des gamètes. F. Pénétration d'un gamète mâle (8) dans le cytoplasme du gamète femelle, formation d'une membrane de fécondation (9). G. Le pronucléus mâle (8) prend l'aspect du pronucléus femelle. Cette phase sera suivie de l'union des chromosomes.

Document 2 :

Cycle de développement du Polypode.

Le **Polypode** commun (*Polypodium vulgare L.*) est une fougère vivace de 10 à 50 cm de hauteur, de la famille des Polypodiaceae. Les frondes prennent naissance de façon isolée le long d'un rhizome rampant de 30 cm de long, assez épais, couvert d'écaillles rousses brusquement acuminées. Les sores ronds, situés au-dessous des frondes du polypode, sont formés de sporanges serrés les uns contre les autres et qui ne sont pas protégés par une membrane. Ils forment généralement une rangée de part et d'autre de la nervure médiane et sont plus fréquents sur les segments supérieurs. La sporulation a lieu de mars à septembre : à maturité, les sporanges libèrent les spores disséminées par anémochorie et qui, en germant sur un substrat humide, forment un minuscule prothalle foliacé (gamétophyte) porteur d'organes mâles (anthéridies) et d'organes femelles (archégones) produisant des gamètes. Des fécondations résultent des embryons qui reforment de nouveaux polypodes (sporophytes).



A. Polypode. (1. Rhizome. 2. Jeune feuille. 3. Feuille développée. 4. Amas de sporanges).

B. Sporanges (5. Spores).

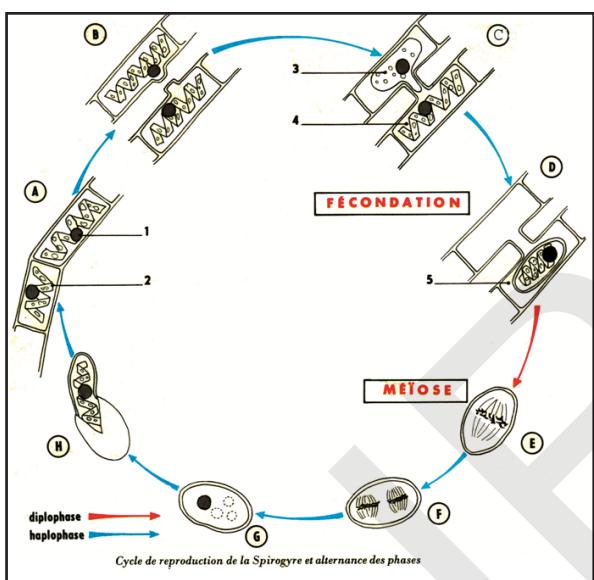
C. Prothalle (6. Poils absorbants. 7. Anthéridies. 8. Archégones).

D. Anthéridies libérant les gamètes mâles. **E.** Gamète mâle. **F.** Archégone (9. Gamète femelle) **G.** Jeune plantule (10) se développant sur le prothalle (11).

Document 3 : Cycle de développement de la spirogyre.

La Spirogyre est une algue verte filamenteuse qui vit dans les eaux douces. Chaque filament est formé de cellules disposées les unes au bout des autres. Une cellule contient un ou plusieurs corps chlorophylliens, enroulés en hélice (d'où le nom de la plante). Habituellement, quand les conditions de vie sont bonnes, la Spirogyre se reproduit par simple bouturage ; un filament se brise donnant naissance à deux ou plusieurs individus nouveaux.

Mais quand les conditions deviennent moins favorables (tendance à la dessiccation du milieu, abaissement de la température) on assiste au phénomène de la conjugaison, qui est une manifestation de sexualité.



Cycle de reproduction de la spirogyre :

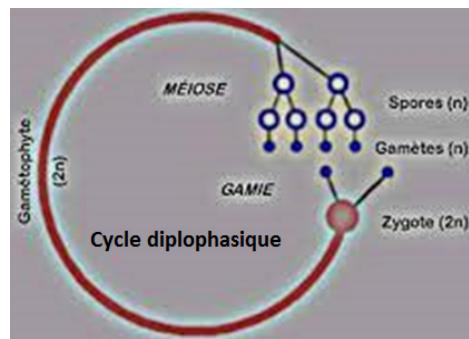
- A. Fragment d'un filament de Spirogyre (1. Noyau à n chromosomes. 2. Chloroplaste spiralé). B. Rapprochement de deux Spirogyres. C. Formation d'un tube de conjugaison dans lequel s'engage le contenu d'une cellule constituant le gamète mâle (3), l'autre cellule (4) étant le gamète femelle.
- D. Rencontre puis fusion des deux noyaux, formation d'un œuf à $2n$ chromosomes (5). E. Première division méiotique. F. Deuxième division méiotique. G. Sur les quatre noyaux à n chromosomes trois dégénèrent. H. Germination de l'œuf.

Comparer ces exemples puis dresser leur cycle chromosomique respectif et dégager les principales caractéristiques de chaque cycle.

La méiose donne aux gamètes n chromosomes. La fusion des noyaux des gamètes, au moment de la fécondation, rétablit le nombre $2n$ caractéristique de l'espèce. Il y a, de ce fait, d'une génération à l'autre, **alternance de deux phases** :

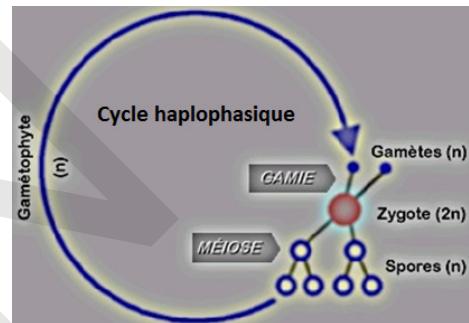
- phase à n chromosomes ou **haplophase** ; on dit que les cellules ont un nombre haploïde de chromosomes ;
- phase à $2n$ chromosomes ou **diplophase** ; les cellules ont un nombre diploïde de chromosomes. On parle de cycle chromosomique.

La stabilité de la formule chromosomique est assurée par l'alternance, au cours du cycle de développement, de deux processus biologiques complémentaires : la méiose qui permet de passer de la phase diploïde à la phase haploïde (réduction de la formule chromosomique) et la fécondation qui assure un rétablissement de la diploïdie.



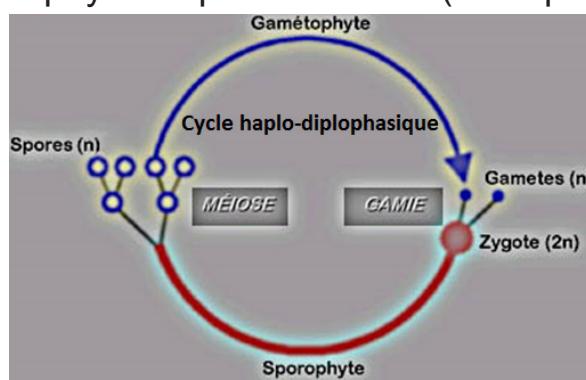
Selon l'importance relative de ces phases, on distingue le cycle diplophasique, le cycle haplophasique et le cycle haplo-diplophasique.

Pour le cycle diplophasique, on a un individu diploïde qui donne naissance à des gamètes haploïdes par méiose. L'union de ces gamètes donne un zygote diploïde qui, par mitoses successives, donne naissance à un nouvel individu diploïde. La phase chromosomique haploïde est réduite aux gamètes et on a une seule génération qui est un sporophyte (Plante des spores) diploïde (exemple : Oursin, Fucus). Un tel cycle est typique du règne animal (sauf de quelques protozoaires), des plantes à fleurs et de beaucoup de plantes sans fleurs.



Dans le cas du cycle haplophasique, on a un gamétophyte haploïde qui donne des gamètes. La fusion de deux gamètes, mâle et femelle, conduit à la formation d'un zygote diploïde qui va donner par méiose des spores haploïdes. Dans ce cas, la phase chromosomique diploïde est réduite au zygote. La méiose a lieu directement dans le zygote (exemple : Spirogyre).

Dans le cycle haplodiplophasique, il y a alternance de deux phases, une phase haploïde représentée par le gamétophyte ou prothalle et une phase diploïde représentée par le sporophyte ou plante feuillée (exemple : Polypode).



JE RETIENS

L'**information génétique** qui détermine les caractères héréditaires est localisée dans le noyau chez les eucaryotes unicellulaires et pluricellulaires.

Cette information est contenue dans une séquence de nucléotides d'acides nucléiques, **ADN** ou **ARN** portés par le **chromosome**. Celui-ci est un arrangement linéaire (ou circulaire) de gènes associés à des protéines (histones) et de l'ARN.

On appelle **expression génétique** l'ensemble des phénomènes qui permettent à un gène d'être exprimé en ARN puis, s'il s'agit d'un gène codant une protéine.

L'**information génétique** est répartie sur les 46 **chromosomes** (23 paires) de l'Homme. Pour chaque paire, il y a un **chromosome** d'origine paternelle et un **chromosome** d'origine maternelle. Ainsi, pour une même paire, les deux **chromosomes** ne seront pas identiques.

L'**ADN** est le support de l'information génétique, c'est-à-dire qu'il porte des milliers de gènes sous la forme de succession de nucléotides.

La molécule d'ADN est formée de deux brins composés chacun d'un enchaînement de nucléotides. On appelle **nucléotide**, la réunion d'un groupement phosphate, d'un sucre (le désoxyribose) et d'une base azotée. Ainsi, chaque nucléotide peut être identifié par sa base spécifique : adénine, cytosine, guanine et thymine. En outre, ces bases sont complémentaires : l'adénine est associée à la thymine et la cytosine à la guanine. Il résulte de cette complémentarité que les deux brins constituant la molécule d'ADN, unis par l'existence de liaisons hydrogène, obéissent toujours à un schéma adénine/thymine, cytosine/guanine. Cette structure de l'ADN est commune aux cellules procaryotes et eucaryotes.

La **réPLICATION** de l'ADN se fait suivant le **mode semi-conservatif** selon lequel chaque brin de la molécule «mère» sert de matrice pour la synthèse d'un brin complémentaire.

La duplication de l'information génétique est un processus de reproduction conforme qui donne deux cellules filles identiques entre elles et à la cellule mère.

Un **gène** est une unité élémentaire de l'information génétique, située à une position donnée, le locus, dans le génome. Toute modification accidentelle d'un gène ou **mutation** peut avoir des conséquences sur la structure et le fonctionnement de la protéine pour laquelle il code.

L'information portée par un gène s'exprime par la synthèse de molécules d'ARN simple brin dont la séquence des bases des ribonucléotides est complémentaire de celle des bases d'un des brins de l'ADN du gène.

Les ARN sont composés de nucléotides (P + S + base).

Leur structure et leurs propriétés présentent cependant plusieurs différences :

- ▶ le sucre est le ribose : $C_5H_{10}O_5$;
- ▶ la thymine (T) de l'ADN est remplacée par l'uracile (U) ;
- ▶ la molécule n'est formée que d'une seule chaîne de nucléotides ;
- ▶ la plus grande partie de l'ARN cellulaire est localisée dans le cytoplasme.
- ▶ Cependant, le phosphate (H_3PO_4) et les trois autres bases azotées (Adénine, Cytosine et Guanine) sont les mêmes.

L'expression de l'information génétique se fait en deux étapes, la transcription et la traduction.

- La **transcription** du gène se déroule dans le noyau. Elle aboutit à la synthèse de l'ARNm.
- La **traduction** de l'ARNm en chaîne polypeptidique se déroule dans le cytoplasme. L'ARNm sert de matrice pour l'assemblage des acides aminés. Des ribosomes, des enzymes et de l'énergie sont également nécessaires.

L'enchaînement des nucléotides de l'ARNm est complémentaire de celui du brin transcrit de l'ADN. Le **code génétique** permet d'associer chaque triplet de bases à un acide aminé particulier. On appelle **code génétique** la correspondance entre les codons et les acides aminés. Il est universel, univoque, ponctué et redondant (dégénéré).

Avant la transmission de l'information génétique il ya toujours une réPLICATION de l'ADN qui assure la copie conforme de l'information génétique. La double hélice d'ADN s'ouvre, les deux brins de l'ADN se séparent et vont constituer chacun un modèle pour la constitution de deux brins complémentaires : des nucléotides s'apparent à chaque brin-mère, et grâce au principe de la complémentarité des bases azotées et sous l'action conjointe d'enzymes (les ADN polymérases) et d'énergie, deux nouveaux brins se constituent. On obtient alors deux molécules d'ADN (qui formeront les deux chromatides de chaque chromosome) constituées chacune d'un brin-mère et d'un brin-fille complémentaire.

Le génie génétique est un ensemble de techniques de biologie moléculaire permettant d'identifier, d'isoler, de modifier et de transférer de façon contrôlée le matériel génétique. Il permet en particulier d'intervenir sur le patrimoine génétique des êtres vivants.

Un **cycle cellulaire** complet comporte deux phases : l'une d'elles, la mitose, correspond à la division cellulaire proprement dite. L'autre, nommée interphase, sépare deux mitoses.

La mitose est une division conforme par laquelle les cellules se multiplient et réalisent une répartition rigoureuse, entre les cellules filles, des macromolécules portant l'information nécessaire au fonctionnement cellulaire. C'est au niveau du noyau que se déroulent les phénomènes les plus importants en quatre phases : prophase, métaphase, anaphase et télophase.

La méiose est une succession de deux divisions cellulaires qui, à partir de cellules mères ou cellules souches, est à l'origine des cellules sexuelles ou gamètes. Elle permet la réduction par deux du nombre de chromosomes c'est-à-dire le passage de cellules diploïdes à des cellules haploïdes. Elle comprend une division réductionnelle et une autre équationnelle. Au cours de la méiose, il se produit des brassages génétiques qui ont pour conséquence que les cellules sexuelles sont génétiquement différentes entre elles et différentes des cellules parentales.

Tous les êtres vivants, dont les hommes, proviennent d'une cellule-œuf ou zygote issue de la fécondation, c'est-à dire de la fusion entre une cellule reproductrice mâle et une cellule reproductrice femelle.

Par ses divisions successives, la cellule-œuf donne naissance à un nouvel organisme. La cellule-œuf contient donc toute l'information génétique.

La fécondation, si elle s'opère au cours d'une rencontre sexuée, se résume à l'union de deux gamètes pour former un zygote. L'alternance méiose-fécondation introduit un cycle dans le développement d'un organisme caractérisé par une alternance de phases chromosomiques, l'haplophase et la diplophase. Selon l'importance relative de ces phases, on distingue le cycle diplophasique, le cycle haplophasique et le cycle haplo-diplophasique.

JE M'EXRCE

Exercice 1 :

Cocher la (ou les) réponse(s) correcte(s) :

1- Une mutation est :

- A- forcément à l'origine d'un nouveau caractère.
- B- un argument fort de l'origine commune de l'ensemble des êtres vivants.
- C- à l'origine d'un OGM.
- D- une modification ponctuelle affectant la molécule d'ADN.

2- La transgénèse :

- A- correspond au transfert d'un fragment d'ADN déterminant un caractère héréditaire nouveau chez le receveur.
- B- correspond au transfert d'un gène dans le noyau d'une cellule de l'organisme donneur.
- C- correspond à l'injection d'une protéine dans la cellule-œuf du receveur.
- D- est à l'origine d'un OGM, Organisme Génétiquement Modifié.

3- L'allèle est la version:

- A- d'un gène.
- B- d'un chromosome.
- C- d'un caractère.
- D- d'une protéine.

4- L'ADN est :

- A- une cellule polynucléotidique.
- B- une molécule constituée de deux chaînes de nucléotides.

C- une molécule constituée de deux brins d'acides aminés reliés entre eux par des liaisons hydrogènes.

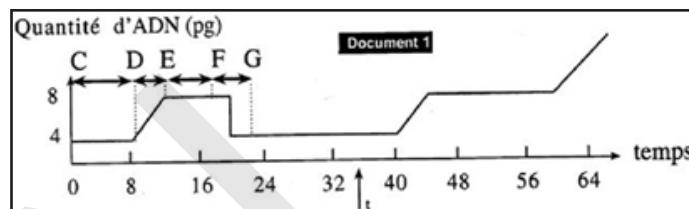
D- une molécule composée de l'association linéaire de quatre nucléotides A, T, U, G.

Exercice 2 :

On fait cultiver des cellules somatiques d'un animal dans un milieu nutritif, et on mesure la quantité d'ADN dans ces cellules.

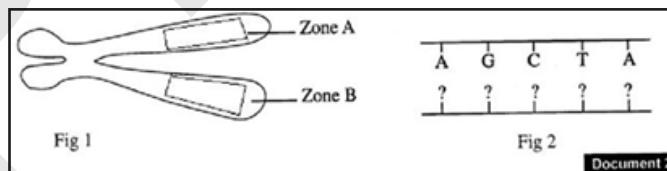
En temps t , on ajoute au milieu une substance : la colchicine. Les résultats sont représentés dans le document 1.

1- Que représente chacun des stades : CD, DE, EF, et FG?



2 - Quelle action a la colchicine sur la variation de la quantité d'ADN, et comment l'expliquer ?

La figure 1 du document 2 est un schéma simplifié d'un chromosome observé au cours d'une phase du stade FG du document 1, alors que la figure 2 du document 2 représente une fraction d'ADN correspondante de la zone A de la figure 1.



3 - Compléter la figure 2 du document 2 et présenter sur la figure 1 les fractions d'ADN correspondant aux zones A et B.

Exercice 3

3'ACC.GAC.TAT.ATA.TAT.CCG.CAC.TAC.TTC.GAC.ACT5'

- 1) Donner la séquence de l'autre brin d'ADN.
- 2) Pour faire un ARNm, qu'elle est l'enzyme utilisée ?
- 3) Où se positionne l'enzyme sur l'ADN ?
- 4) Faire un schéma de la transcription et donner la séquence d'ARN.

Exercice 4

Cocher la (ou les) réponse(s) correcte(s) :

1- La méiose produit :

- A- 2 cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde.
- B- 4 cellules diploïdes à partir d'une cellule diploïde.
- C- 4 cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde.
- D- 2 cellules diploïdes à partir d'une cellule diploïde.

2 - La transcription produit 1 ARN pré-messager

- A- grâce à l'ARN Polymérase qui utilise le brin codant de l'ADN.
- B- grâce à l'ARN Polymérase qui utilise le brin non-codant de l'ADN.
- C- grâce à l'ADN Polymérase qui utilise le brin codant de l'ADN.
- D- grâce à l'ADN Polymérase qui utilise le brin non-codant de l'ADN.

3- La réPLICATION de l'ADN a lieu :

- A- grâce à l'ARN Polymérase qui copie l'ADN avant la première division de la méiose.
- B- grâce à l'ARN Polymérase qui copie l'ADN uniquement avant une mitose.
- C- grâce à l'ADN Polymérase qui copie l'ADN uniquement avant une méiose.
- D- grâce à l'ADN Polymérase qui copie l'ADN durant l'interphase.

4- L'épissage alternatif produit :

- A- un seul ARN message mature après suppression des introns.
- B- produit de multiples ARNm au sein du noyau des cellules eucaryotes.
- C- produit différents ARNm en éliminant les exons et conservant les introns.
- D- de multiples ARN pré-messagers après suppression des exons.

5- La mitose :

- A- est source de diversité génétique.
- B- donne naissance à 4 cellules à partir d'une cellule.
- C- conserve toutes les caractéristiques du caryotype.
- D- permet la production des gamètes.

6- Quelle est la composition d'un chromosome métaphasique ?

- A- deux bras.
- B- deux chromatides.
- C- une chromatide.
- D- deux centromères.

7- Quelle est la particularité du centromère d'un chromosome métaphasique?

- A- Il peut se trouver au niveau d'un télomère.
- B- Il est toujours en position médiane.
- C- Il est toujours en position excentré.
- D- Il n'est jamais décalé sur les chromatides.

8- Combien de nucléo filaments un chromosome métaphasique contient-il ?

- A- 1.
- B- 2.
- C- 3.
- D- 4.

9- L'ADN est :

- A- le seul constituant du chromosome.
- B- une macromolécule constituée d'un motif unique, le nucléotide.

C- le support de l'information génétique.

D- l'un des constituants du chromosome.

10- Qu'est-ce qu'un gène ?

A- une molécule d'ADN.

B- une succession de nucléotides codant pour un polypeptide.

C- l'ensemble des caractères portés par un individu.

D- une molécule d'ARN.

11- Quelles sont les caractéristiques de l'interphase ?

A- Elle comporte 3 étapes.

B- Elle correspond à la période de division d'une cellule.

C- C'est une étape de la vie cellulaire sans synthèse moléculaire.

D- C'est une étape de la vie cellulaire avec synthèse moléculaire.

12- Quel est l'évolution de l'état des chromosomes au cours d'un cycle cellulaire ?

A- Les chromosomes restent à l'état de chromatine filamenteuse.

B- Les chromosomes se décondensent avant la mitose.

C- Les chromosomes se condensent avant la mitose.

D- Les chromosomes alternent entre un état à une chromatide et un état à deux chromatides.

13- Qu'obtient-on à la fin d'un cycle cellulaire ?

A- deux cellules avec des chromosomes à un nucléofilament.

B- deux cellules avec des chromosomes à deux nucléofilaments.

C- une cellule avec des chromosomes à un nucléofilament.

D- une cellule avec des chromosomes à deux nucléofilaments.

14- Quelles sont les caractéristiques des chromosomes humains ?

- A- Ils ont des formes différentes selon les cellules.
 - B- Ils sont totalement différents chez l'homme et chez la femme.
 - C- Ils sont au nombre de 23 paires.
 - D- Ils sont au nombre de 23 chromosomes.

Exercice 5

L'analyse de la composition d'un ADN viral a donné les résultats suivants (on ne tiendra compte ici que de la composition des bases azotées) :

C = 19%, A = 25%, T = 33%, G = 23%.

a) Qu'y a-t-il d'inhabituel dans cette composition ?

Dans des expériences in « vitro », cet ADN a été utilisé comme modèle pour la synthèse d'une molécule d'ADN dont la composition fut la suivante (en bases azotées) : C = 23%, A = 33%, T = 25%, G = 19%.

b) Quelle relation existe-t-il entre cette composition et celle de l'ADN du -virus ?

Que peut-on dire en conséquence, de la structure de l'ADN du virus considéré?

Exercice 6

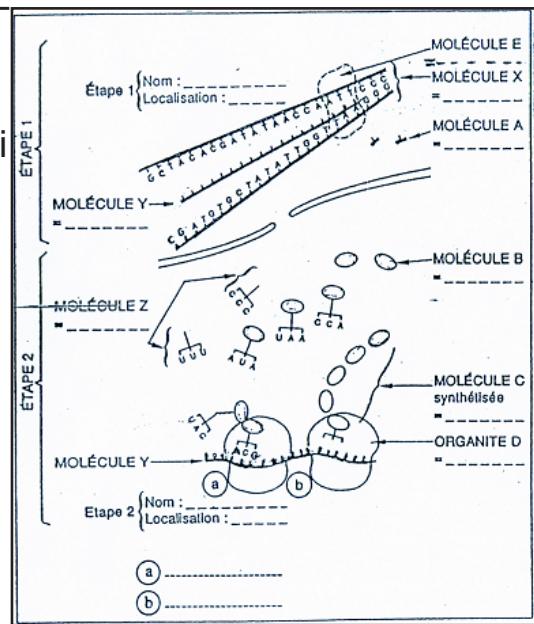
Le document ci-contre présente de manière très schématique différents moments de la synthèse d'une molécule peptidique.

1 - Nommez les structures représentées ainsi que les différentes étapes et leur localisation.

2 - En vous aidant du document 1, nommez les molécules identifiables.

3 - Complétez la molécule Y dans l'étape 1.
Elle débute par le codon initiateur.

4 - Donnez la séquence peptidique synthétisée.



Exercice 7

Le tableau suivant donne des résultats d'expériences réalisées chez la souris.

Expériences	Résultat obtenu
Expérience 1 : implantation dans la souris verte de la cellule-œuf issue de la reproduction des souris noires.	Une souris noire naît.
Expérience 2 : implantation dans la souris verte de la cellule-œuf issue de la reproduction des souris grises.	Une souris grise naît.
Expérience 3 : implantation dans la souris verte de cellules-œufs, privées de membrane, de noyau ou de cytoplasme.	La cellule-œuf s'implante mais ne se développe pas et dégénère dans l'utérus
Expérience 4 : implantation dans la souris verte de la cellule-œuf issue de la reproduction des souris noires, mais dans laquelle la membrane aura été remplacée par celle de la cellule-œuf issue de la reproduction des souris grises.	Une souris noire naît.
Expérience 5 : implantation dans la souris verte de la cellule-œuf issue de la reproduction des souris noires, mais dans laquelle le cytoplasme aura été remplacé par celui de la cellule-œuf issue de la reproduction des souris grises.	Une souris noire naît.
Expérience 6 : implantation dans la souris verte de la cellule-œuf issue de la reproduction des souris noires, mais dans laquelle le noyau aura été remplacé par celui de la cellule-œuf issue de la reproduction des souris grises.	Une souris grise naît.

Réponds aux questions suivantes et précise quelles sont les expériences qui t'ont permis de le montrer :

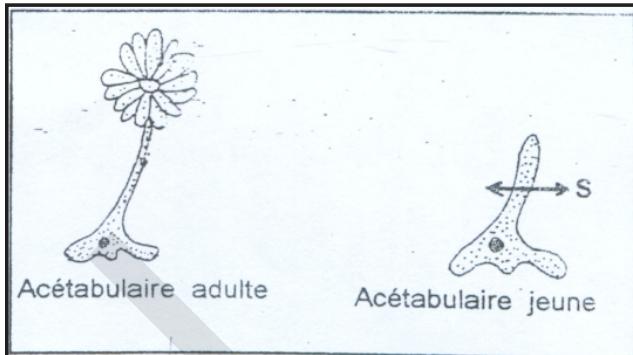
- 1- Les souris ont-elles la couleur des parents qui les ont conçues ou de la mère porteuse ?
- 2- Toutes les parties de la cellule-œuf sont-elles indispensables à son développement ?
- 3- L'information génétique déterminant la couleur des souris se trouve-t-elle dans la membrane, dans le noyau ou dans le cytoplasme de la cellule-œuf ?

Exercice 8

1- On sectionne la tige d'une acétabulaire (algue unicellulaire) jeune au niveau S. Chaque fragment régénère un chapeau, mais le fragment anucléé finira par dégénérer.

2- On traite une jeune algue d'acétabulaire par la ribonucléase, enzyme qui détruit l'ARN. La tige est ensuite sectionnée, seul le fragment nucléé régénère un chapeau.

3- Une algue jeune est traitée par l'actinomycine qui se combine à l'ADN et le rend inactif. La tige est sectionnée, le fragment nucléé ne régénère pas le chapeau. Quelles conclusions peut-on tirer de ces expériences ?



Exercice 9

La posthypophyse des mammifères élabore deux hormones de nature polypeptidique. Le document suivant indique la séquence de bases de la portion d'ADN codant pour l'ocytocine. Des deux brins de cette portion d'ADN, seul le brin non codant a été représenté : TGC TAC ATC CAG AAC TGC CGC CTG GGC.

Le document suivant donne le même type d'information dans le cas de la vasopressine :

TGC TAC TTC CAG AAC, TGC CCA AGA GGA.

1- Trouvez en justifiant votre réponse la séquence des acides aminés (voir code génétique page 22) de ces deux hormones.

2- Quelles sont les différences observées au niveau des deux fragments d'ADN codant pour les deux hormones ; ces différences se traduisent-elles ou non dans la structure des 2 polypeptides élaborés ? Pourquoi ?

Exercice 10

1°) Le document ci-contre représente des cellules à différents étapes de la division cellulaire ou mitose.

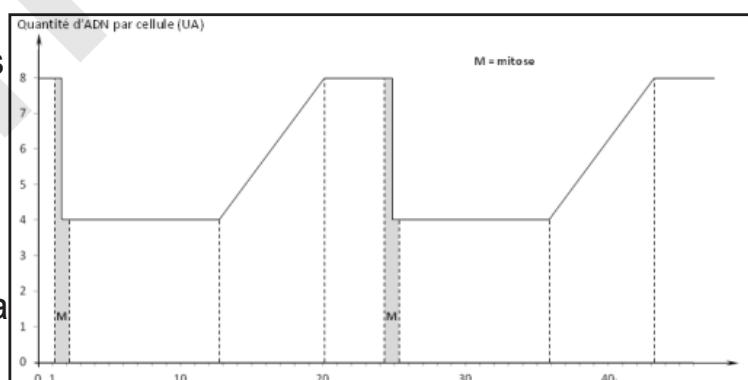
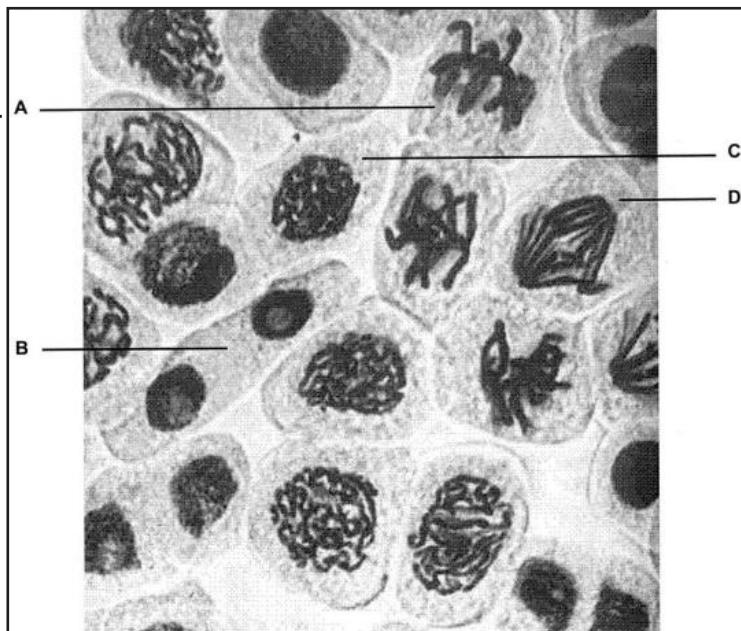
a- Nommez, en justifiant votre réponse, les étapes de la division cellulaire représentées par les lettres A, B, C, D.

b- La division cellulaire nécessite au préalable une duplication du matériel génétique:

- Schématissez le mécanisme de réPLICATION de l'ADN.
- Donnez le nom de l'étape du cycle cellulaire durant laquelle la réPLICATION se produit.
- Expliquez pourquoi la réPLICATION est dite « semi-conservative ».

2°) A partir d'une culture de cellules synchronisées, on réalise le dosage de la quantité d'ADN par cellule en fonction du temps. Les résultats sont présentés par le graphe ci-contre.

a- Délimitez, sur ce document , un cycle cellulaire et calculez sa durée.



b- A partir de l'analyse du document et des connaissances, repérez puis placez sur ce graphe les phases S, G₂, G₁.

Exercice 11

I- Les figures du document ci-contre représentent quelques étapes d'un phénomène biologique important.

1- Quel est ce phénomène ?

2- Reconnaître en justifiant ces différentes figures puis les classer chronologiquement.

3- Peut-on connaître le caryotype de cette espèce ? si oui, à partir de quel(s) schéma(s) et quel est le nombre de chromosomes ?

II- Par une méthode de spectro-colorimétrie, on mesure la quantité d'ADN par noyau, au niveau des cellules présentes à l'intérieur des anthères des fleurs mâles, depuis la fleur en bouton jusqu'à la déhiscence. Les valeurs, exprimées en unités arbitraires figurent dans le tableau suivant :

Jours	1	3	5	7	8	9	11	13	15	17
Quantité d'ADN par noyau (unités arbitraires)	102	98	178	199	102	51	50	86	99	51

1. Exprimez par un graphe les variations de la teneur en ADN, en fonction du temps.

2. Interprétez alors les différentes parties du graphe obtenu.

Exercice 12

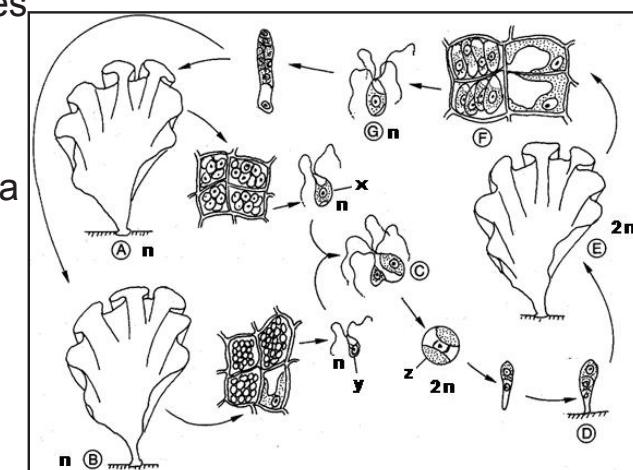
Le document ci-contre montre les étapes du cycle de développement de l'ulve.

En exploitant le document,

1 – Préciser le lieu de la méiose et de la fécondation dans le cycle.

2 – Nommer les éléments x et y.

3 – Schématiser le cycle chromosomique de l'ulve.



Utiliser un trait épais rouge pour illustrer

la diplophase (phase à 2n chromosomes), et un trait mince bleu pour l'haplophase (la phase à n chromosomes).

4 – Déduire le type de ce cycle.

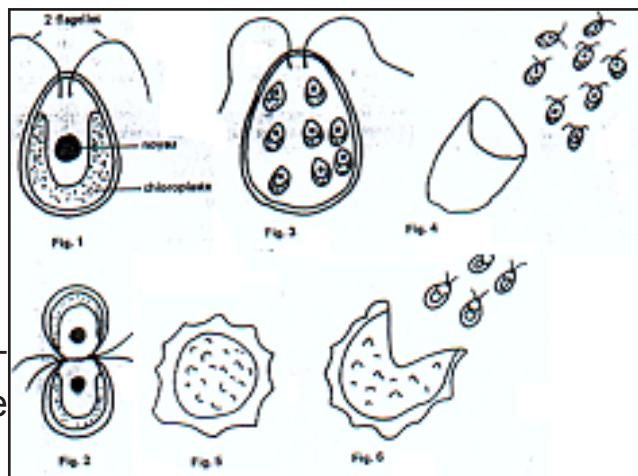
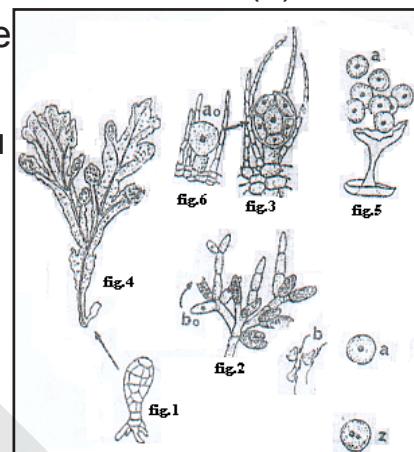
Exercice 13

Le *Fucus spiralis* est une algue brune très commune qui porte des organes reproducteurs contenant à la fois des cellules de type (a) et des cellules de type (b). Celles-ci proviennent respectivement de cellules-mères a_o et b_o qui possèdent toutes 64 chromosomes. Chaque cellule-mère a_o donne 8 cellules (a) à 32 chromosomes. Chaque cellule-mère b_o donne 64 cellules (b) à 32 chromosomes. Sachant que la cellule (z) qui résulte de l'union d'une cellule (a) avec une cellule (b) redonne directement, en se développant, un nouveau *Fucus*, faites le cycle de développement et le cycle chromosomique de cette algue.

Exercice 14

Chlamydomonas est une algue verte unicellulaire, vivant dans les eaux douces, où elle nage grâce à 2 flagelles (document ci-contre) ; on admet qu'elle possède 3 chromosomes. Décrivons le comportement de cette algue : le contenu de chaque cellule se divise par mitoses, en 8 petites cellules, toutes semblables qui sont libérées et nagent dans l'eau. Deux de ces petites cellules s'accollent par leur extrémité antérieure. Elles fusionnent en une cellule unique, en confondant leur cytoplasme et leur noyau. La cellule ainsi obtenue, s'entoure d'une paroi épaisse ornée de protubérances. Lorsque les conditions sont favorables, la cellule de la figure 5 subit deux divisions successives, formant 4 petits chlamydomonas, ou tétrade, qui sont libérés par rupture de la paroi épaisse. Ces 4 petits chlamydomonas grandissent et deviennent semblables à l'individu de la figure 1, en particulier, ils possèdent 3 chromosomes.

Schématisez le cycle de développement et le cycle chromosomique de cette espèce.



Exercice 15

1- Chez l'espèce humaine, la reproduction fait intervenir 2 phénomènes A et B.

- A aboutit à la formation des gamètes

- B aboutit à la formation d'un œuf.

Identifier A et B

2- L'œuf est le point de départ d'un nouvel individu.

a- Dans quel organe a lieu la formation de l'œuf ?

b- Citer les éléments qui ont contribué à la formation de l'œuf. .

c- Donner la garniture chromosomique de l'œuf.

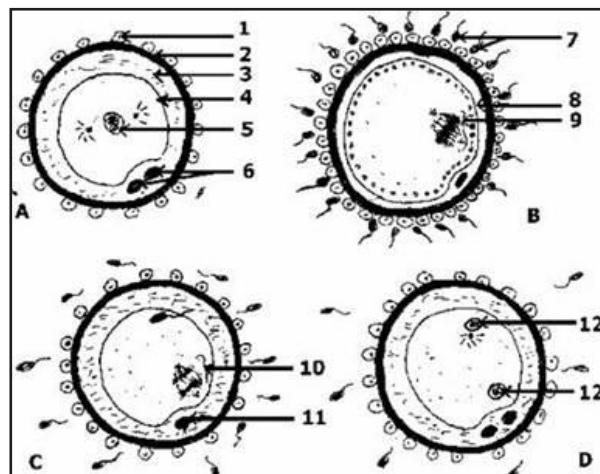
Exercice 16

Les dessins A, B, C et D ci-après montrent quelques phases de la fécondation « in vitro » chez un Mammifère.

1 - Donner l'ordre chronologique de ces dessins en les titrant.

2 - Annoter chacun de ces 4 dessins avec précision (sans les reproduire).

3 - Donner les stocks chromosomiques des éléments 1, 2, 5, 7 et 12.



J'approfondis mes connaissances

Document

Les organismes génétiquement modifiés (OGM)

«Un état des lieux

Depuis que l'homme cultive des plantes et élève des animaux pour se nourrir, il a toujours sélectionné ceux qui présentaient des caractéristiques bénéfiques afin d'améliorer les générations suivantes. Ces caractéristiques reflètent des variations génétiques naturelles et sont, par exemple, un rendement accru, une précocité décalée, ou une résistance particulière à des maladies ou à des pressions environnementales.

Un organisme génétiquement modifié (OGM) est un organisme (animal, végétal, champignon, micro-organisme) dont on a modifié le matériel génétique d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement, pour lui conférer une ou plusieurs caractéristiques recherchées. La transgénèse (insertion dans le génome d'un ou plusieurs gènes provenant du génome d'une autre espèce vivante, par transfert d'une portion d'ADN) était jusqu'à présent la principale technique utilisée pour obtenir des OGM. [...]. Le développement de ces techniques ouvre des potentialités nouvelles, et soulève plusieurs questions. Leur facilité de mise en œuvre pourrait en effet conduire à une démultiplication des interventions humaines sur le génome, dont les effets sont difficiles à anticiper. Elles ne sont en outre souvent pas détectables dans le produit final obtenu, ce qui pose des difficultés quant à leur traçabilité et au contrôle de leur utilisation, notamment de leur dissémination dans l'environnement. Elles sont enfin généralement protégées par des brevets, ce qui peut conduire à une appropriation et un verrouillage de l'accès aux ressources génétiques.

Les différents domaines d'utilisation des OGM

L'utilisation d'OGM la plus connue est celle qui est faite en agriculture pour conférer de nouveaux caractères aux plantes pour leur utilisation en alimentation animale et humaine. Plusieurs applications du génie génétique apparaissent dans le domaine animal. C'est le cas par exemple aux États-Unis et au Canada, où un saumon transgénique dont la croissance est multipliée par deux par rapport à un saumon non modifié a été autorisé pour la mise sur le marché en 2016. Les OGM sont également utilisés dans d'autres domaines

tels que : la recherche fondamentale pour répondre à des questions de compréhension du vivant ; le milieu industriel, où des micro-organismes génétiquement modifiés peuvent être utilisés pour produire des molécules ; la médecine, où des micro-organismes génétiquement modifiés peuvent servir de vecteurs en thérapie génique, ou pour la production de vaccins et de médicaments à usage humain ou vétérinaire. Des protéines d'intérêt thérapeutique sont ainsi produites en France, en milieu confiné, à partir de bactéries, de plantes ou d'animaux génétiquement modifiés, comme par exemple l'insuline ou des hormones de croissance.

D'autres applications apparaissent également comme l'utilisation de moustiques génétiquement modifiés à des fins de lutte contre les maladies vectorielles qu'ils transmettent comme le paludisme, la dengue, le chikungunya ou le zika.

Les plantes génétiquement modifiées

Les espèces végétales génétiquement modifiées les plus cultivées dans le monde sont le soja, le maïs, le coton et le colza. Le soja et le maïs occupent à eux seuls plus de 81 % des surfaces cultivées d'OGM (dont 50 % des surfaces pour le soja). Le riz, la papaye, l'aubergine, la pomme de terre ou la betterave font aussi régulièrement l'objet de modifications génétiques, mais couvrent des surfaces de culture moins importantes. Les modifications génétiques portent essentiellement sur l'introduction de deux caractères dans les cultures : tolérance à un ou plusieurs herbicides et résistance aux ravageurs (insectes nuisibles pour les cultures agricoles) par production d'une molécule insecticide, ou une combinaison de ces deux caractères. D'autres caractéristiques sont en développement (autres résistances aux maladies, efficience de la photosynthèse ou de l'utilisation de l'azote, tolérance à la sécheresse, développement de qualités organoleptiques), mais ne font pas encore l'objet de mise en culture importante. En 2017, les organisations internationales ont recensé 189,8 millions d'hectares cultivés dans 24 pays, par 17 millions d'agriculteurs. Les surfaces des cultures OGM ont augmenté de 3 % en 2017 par rapport à 2016. [...].

Exemples d'incidences socio-économiques de l'utilisation de plantes génétiquement modifiées :

Les avantages de l'utilisation des OGM généralement identifiés sont la simplification du travail pour les agriculteurs, la diminution à court terme d'épandage d'insecticides avec les plantes génétiquement modifiées pour leur conférer un caractère d'intérêt insecticide, ceci ayant également pour avantage de diminuer l'exposition des agriculteurs aux produits phytosanitaires. Parallèlement à ces avantages, les risques généralement identifiés sont la perte de diversité des systèmes de culture, le développement des brevets conduisant à limiter l'accès aux ressources génétiques, le coût du déclassement de produits conventionnels ou issus de l'agriculture biologique accidentellement contaminés par des produits OGM, l'accroissement de la dépendance de la production agricole aux intrants et au secteur industriel qui les fournit, ou encore le coût de la mise en place de la coexistence entre les filières OGM, conventionnelles et biologiques.

En effet, il a été mis en évidence des problèmes de contaminations par dispersion du pollen (via principalement les insectes, le vent ou les animaux). En outre, l'usage répété de produits phytosanitaires herbicides sur des variétés tolérantes ou résistantes à ces herbicides, entraîne l'apparition de résistances (déjà répertoriées dans de nombreux pays), ce qui pèse sur les rendements et conduit à une recrudescence de l'usage d'herbicides plus toxiques.».

<https://www.ecologie.gouv.fr/organismes-genetiquement-modifies-ogm>

J'utilise mes connaissances

Projet de classe :

A la fin du chapitre 1, les élèves en sous-groupes fabriquent un prototype de ce qui suit :

Groupe 1 : Chromosomes - Groupe 2 : L'ADN - Groupe 3 : l'ARN

Observer le milieu et se documenter.

Dessiner la maquette ou le schéma et fabriquer le prototype.

Ecrire un texte pour expliquer la réalisation et le présenter aux autres élèves.

Le groupe 4 élabore une fiche métier sur le métier du généticien

Le groupe 5 élabore une fiche métier sur le métier de la police scientifique

Le groupe 6 démontre l'interdisciplinarité du sujet en relation avec la Chimie (Composition chimique des acides nucléiques, acides aminés, des chromosomes etc.) et les Mathématiques (Suite, somme des cellules obtenues après une série de division etc.).

J'ÉDÉCOUVRE

I-Définitions

Activité 1

Dégager des définitions de quelques concepts usuels.

Le tableau suivant présente des mesures de glycémie dans des situations différentes.

Statut	Glycémie à Jeun	Glycémie postprandiale	Glycosurie	Glycémie 2heures après le repas
Sujet normal	$\leq 1,1\text{g/l}$	$<1,40\text{g/l}$	0g/l	$\leq 1,1\text{g/l}$
Sujet anormal	$>1,1\text{g/l}$ et $<1,26\text{g/l}$ (hyperglycémie)	$>1,40\text{g/l}$ et $<2,00\text{g/l}$ (intolérance au glucose)	$\geq 0\text{g/l}$	$>1,1\text{g/l}$ et $<1,26\text{g/l}$

Exploiter ces résultats afin de :

- définir les notions de base : glycémie, hyperglycémie, hypoglycémie et glycosurie ;
- déduire l'existence d'un système de régulation de la glycémie.

La glycémie est le taux de glucose dans le sang ou le taux de glucose plasmatique.

Chez un sujet normal, la glycémie à jeun oscille autour d'une valeur moyenne comprise entre 0,70 et 1,10g/L (3,9- 5,6 mmol/L). Comme de nombreux autres paramètres sanguins, la concentration en glucose ou glycémie a une valeur constante : cette valeur est de l'ordre de 1 g de glucose par litre de plasma (1g.L^{-1} soit $5,5\text{ mmol.L}^{-1}$). Cette constance est en fait relative : chez un individu normal, la glycémie oscille tout au long de la journée autour de sa valeur moyenne. L'origine de ces fluctuations est simple :

- lorsque, après un repas, le glucose provenant de la digestion des aliments glucidiques pénètre dans le sang, la glycémie s'élève et peut atteindre ou dépasser légèrement $1,2 \text{ g.L}^{-1}$ (glycémie postprandiale) ;
- à l'inverse, en période de jeûne (même de courte durée, la nuit par exemple), la glycémie s'abaisse, ce qui traduit une consommation permanente de glucose par les tissus de l'organisme. Elle peut s'abaisser alors jusqu'à $0,65 \text{ g.L}^{-1}$.

L'amplitude modeste de ces variations est toutefois surprenante si l'on considère :

- la faible quantité de glucose disponible dans l'ensemble des liquides qui baignent les cellules (une vingtaine de grammes à peu près, car l'ensemble du sang et de la lymphé représente un volume d'une vingtaine de litres) ;
- l'importance relative de la consommation moyenne de glucose par l'organisme (10 à 15 grammes par heure et beaucoup plus en cas d'activité physique notable).

La mesure de la glycémie permet d'effectuer un suivi régulier chez les patients diabétiques ou chez les personnes qui veulent effectuer un contrôle régulier de leur état de santé.

La mesure régulière de la glycémie capillaire est une des mesures qui permet de détecter des variations anormales de la glycémie afin d'éviter la survenue de complications chez un patient diabétique. Pour la réalisation d'une auto surveillance de la glycémie, il faut un lecteur de glycémie encore appelé glucomètre (figue ci-contre) qui est un dispositif qui permet le contrôle rapide du taux de glucose dans le sang.



L'hypoglycémie est la baisse du taux de glucose dans le sang en deçà de la normale.

L'hyperglycémie est l'augmentation du taux de glucose dans le sang au-delà de la normale). La glycosurie est le taux de glucose dans les urines.

II- Organes intervenants et leurs rôles

A- Le foie

Activité 2

Comment mettre en évidence le rôle du foie dans la régulation de la glycémie ?

Expérience 1: Expérience du foie lavé (Claude Bernard, 1855).

«Je montrai, par exemple, qu'en faisant passer dans un foie encore chaud et aussitôt après la mort de l'animal, un courant d'eau froide injecté avec force par les vaisseaux hépatiques, on débarrasse complètement le tissu hépatique du sucre qu'il contient ;

Mais le lendemain ou quelques heures après, quand on place le foie lavé à une douce température, on trouve son tissu, de nouveau, chargé d'une grande quantité de sucre qui s'est produit depuis le lavage.»

Protocole expérimental :

1- Prélever 20 à 30 g de foie frais et laver soigneusement sous le robinet, pour éliminer le sang de l'échantillon ;

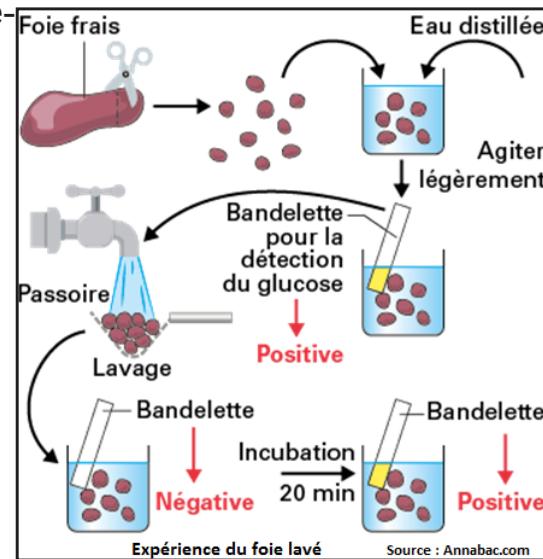
2- Découper le foie en « dés » de 1 à 2 cm de côté ;

3- Placer ces fragments dans un bêcher rempli d'eau distillée et, après légère agitation du mélange, tremper une bandelette de détection du glucose ;

4 - Verser les morceaux de foie dans une passoire et les relaver sous l'eau du robinet pendant environ 5 min. Les remuer de temps en temps ;

5- Replacer les morceaux de foie dans un nouveau bêcher rempli d'eau distillée, et réaliser un nouveau test de détection du glucose ;

6- Abandonner l'ensemble à la température du laboratoire pendant une demi-heure. Refaire un dernier test.



Expérience 2:

Ablation du foie (hépatectomie).

- Si on pratique une ablation du foie d'un chien à jeun, on obtient les résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

Temps après l'ablation (min)	0	15	30	45	60	75	90
Glycémie (g/l)	1	0.88	0,76	0.7	0,6	0,55	0.5

↑
Ablation

↑ ↑
Coma Mort

- Si on pratique une perfusion de glucose, l'animal sort du coma en quelques minutes et retrouve un pouls et une respiration normaux. Ce rétablissement n'est que temporaire et la survie ne peut être ainsi prolongée que de 18 à 24 heures.

A partir de l'analyse des résultats des deux expériences, dégager le rôle du foie dans la régulation de la glycémie.

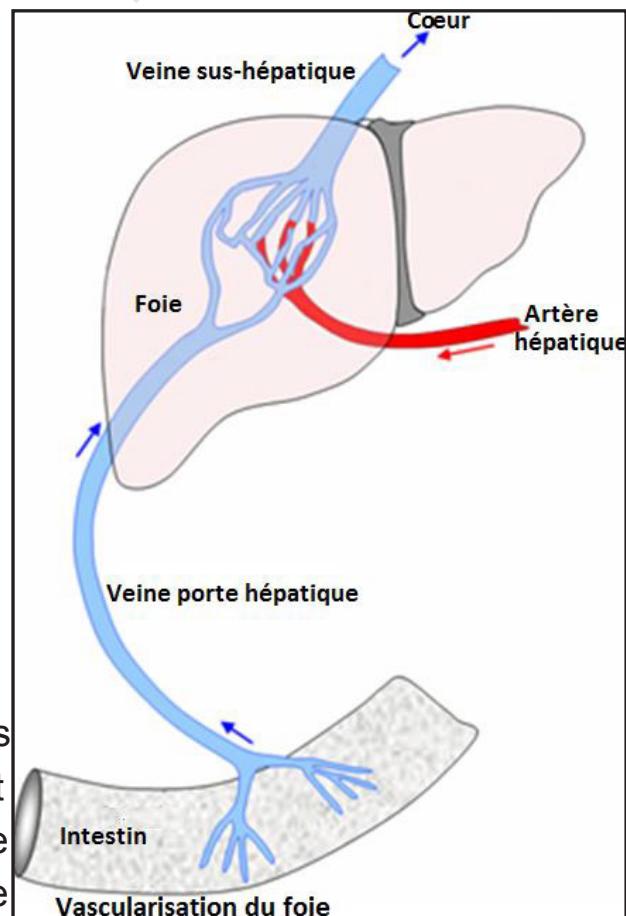
Analyse des résultats :

Dans le foie frais, à l'état physiologique, il y a 2 substances :

- le sucre (glucose), très soluble dans l'eau, emporté par lavage ;
- une autre matière (glycogène), assez peu soluble dans l'eau qui, dans le foie abandonné à lui-même, se transforme peu à peu en sucre (expérience 1).

Le foie stocke et libère le glucose.

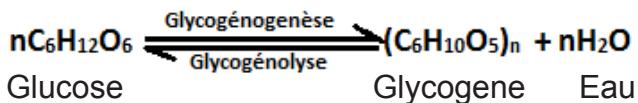
Le foie via la veine porte hépatique, reçoit le glucose issu de l'alimentation (figure ci-contre). L'une de ses fonctions est de réguler la glycémie en synthétisant du glycogène ou des lipides (triglycérides) après un apport important (repas copieux), et de libérer du glucose pendant des périodes de jeûne, afin que



la glycémie reste constante et égale à sa valeur normale (1 g/L).

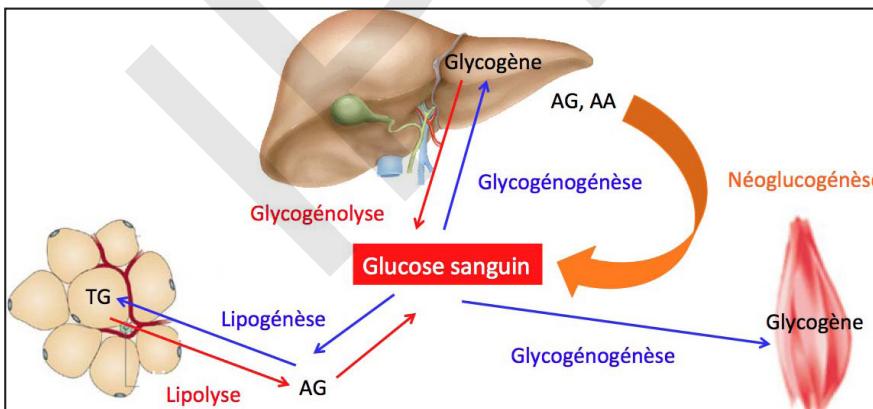
Pour ce faire, le foie régule la production et le stockage du glucose grâce à 3 voies métaboliques :

- La glycogénogenèse : c'est une voie de synthèse du glycogène qui permet le stockage du glucose dans le foie ou dans le muscle sous forme de glycogène.
 - La lipogénèse : c'est la formation des triglycérides dans le tissu adipeux ;
 - La glycogénolyse : c'est une voie d'hydrolyse du glycogène qui libère le glucose, et permet le déstockage du glucose.



La néoglucogenèse est une voie de synthèse du glucose à partir d'éléments non glucosidiques (acides gras, acides aminés). Elle est active par une baisse de la glycémie en dessous de sa valeur normale associée à un épuisement des réserves de glycogène et est nécessaire au bon fonctionnement du cerveau et des hématies.

L'homéostasie glucidique est réalisée par 3 principaux effecteurs : le **foie**, le **muscle** et le **tissu adipeux**.



B-Le pancréas

Activité 3

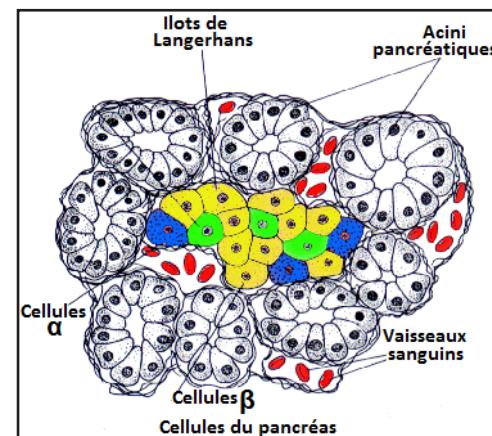
Comment mettre en évidence le rôle du pancréas dans la régulation de la glycémie ?

Expérience 1: Structure du pancréas.

- L'injection d'alloxane (produit dérivé de l'urée) à un lapin non diabétique, provoque un diabète sévère. L'animal est sacrifié et l'observation microscopique de son pancréas révèle que certaines cellules des îlots de

Langerhans sont détruites, les autres cellules du pancréas restent intactes. Les troubles du diabète alloxydant sont comparables à ceux constatés à la suite d'une pancréatectomie à l'exception de l'absence de troubles digestifs.

- 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.

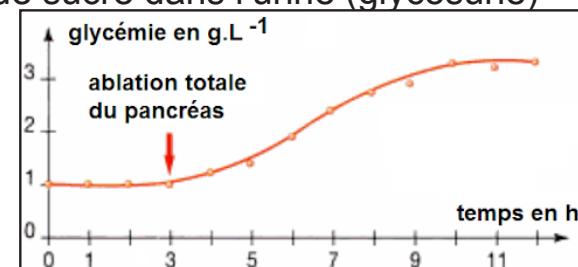


observe par ailleurs une dégénérescence des cellules constituant les acini pancréatiques. En revanche, aucun signe de diabète n'apparaît et les îlots sont intacts.

Expérience 2: Effets de l'ablation du pancréas (Pancréatectomie)

- Ablation totale : En 1889, Oskar Minkowski et Josef Von Mering sont les premiers à pratiquer l'ablation totale du pancréas (pancréatectomie) chez le Chien. Immédiatement, ils constatent l'apparition de deux types de troubles :

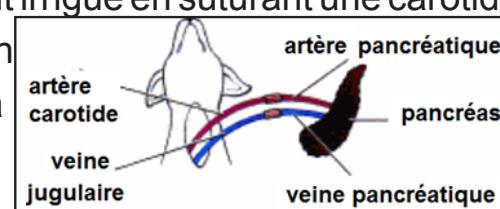
- ◆ des troubles digestifs importants : les graisses ne sont plus digérées ;
- ◆ d'autres troubles imprévus, non liés aux précédents se manifestent : une urine abondante, une présence anormale de sucre dans l'urine (glycosurie) révélée par l'analyse de l'urine (jusqu'à 12%) et une augmentation rapide et importante de la glycémie qui conduit à la mort de l'animal au bout de plusieurs jours (voir graphe ci-contre).



- **Ablation partielle** : L'ablation des trois quarts du pancréas n'a aucune conséquence sur le taux de glucose dans le sang.

Expérience 3: Greffe d'un pancréas après ablation

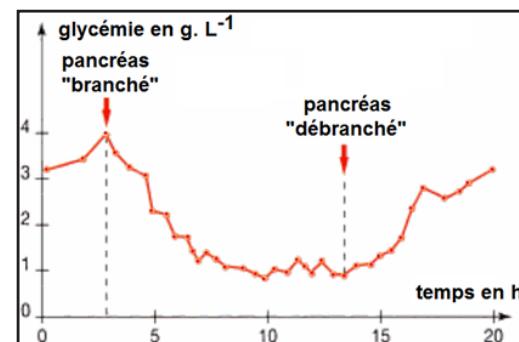
On réalise une pancréatectomie chez un chien de manière à provoquer une hyperglycémie. On raccorde ensuite un pancréas frais à l'animal par circulation croisée de telle sorte que l'organe soit irrigué en suturant une carotide à l'artère pancréatique et que le retour sanguin soit assuré en suturant la veine pancréatique à une jugulaire (voir figure ci-contre).



Ainsi le pancréas externe se trouve « branché » sur la circulation générale (de la région du cou) de l'animal dépancréaté.

Chez un chien ainsi opéré, des prélèvements sanguins répétés permettent de suivre l'évolution de la glycémie pendant toute la durée de l'expérience.

Après quelques heures, le pancréas est débranché. Les résultats se trouvent sur le graphe ci-contre.



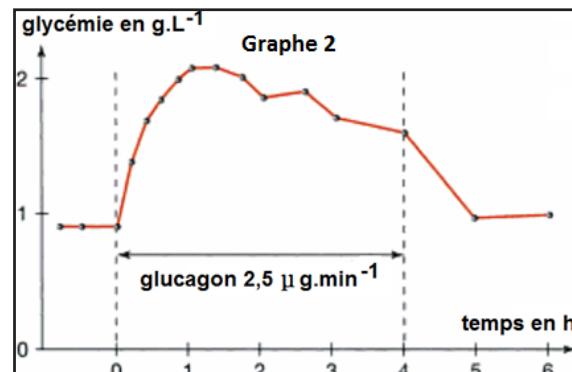
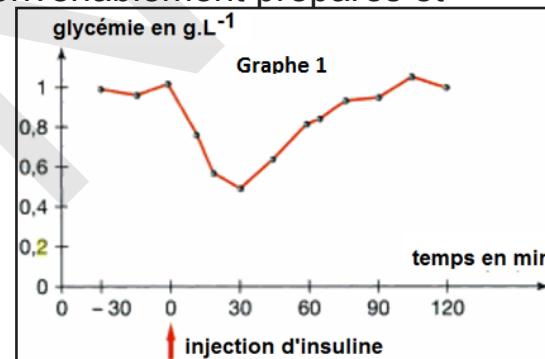
Expérience 4:

Injection d'extraits pancréatiques.

En 1921, deux chercheurs canadiens Frederick Banting et Charles Best, constatent que des extraits pancréatiques convenablement préparés et injectés dans le sang d'un chien diabétique font rapidement chuter la glycémie.

On peut suivre :

- les variations de la glycémie suite à une injection d'insuline (graphe 1) ;
- les variations de la glycémie suite à une perfusion de glucagon (graphe 2).



Interpréter les différentes expériences afin de :

- déterminer les deux types cellulaires du pancréas ;
- indiquer le double rôle du pancréas (expliquer les troubles digestifs et l'apparition du diabète) ;
- définir de façon précise les rôles respectifs des deux hormones pancréatiques et définir la notion d'hormone.

Interprétation des expériences :

Le pancréas est un organe localisé au niveau de l'abdomen. Il est logé

derrière l'estomac et à l'avant des premières et deuxièmes vertèbres lombaires.

Il est situé derrière l'estomac et va du duodénum à la rate, traversant ainsi horizontalement la cavité abdominale (schéma ci-contre).

Observé au microscope optique, le pancréas présente 2 types de structures (expérience 1) :

◆ Les **acini** (acinus au singulier) : qui regroupent les cellules sécrétrices d'enzymes digestives. Les enzymes digestives sont déversées dans l'intestin par le canal pancréatique.

Les acini forment le pancréas exocrine ;

◆ Les **îlots de Langerhans** : ensemble cellulaire dont la taille varie entre 0,1 et 0,2 mm. Chacun des îlots contient environ 3000 cellules sécrétrices. Même si le nombre d'îlots atteint 1 ou 2 millions, leur masse ne représente qu'environ 1% de celle du pancréas.

La courbe de l'expérience 2 montre qu'avant l'ablation du pancréas, le taux de glucose était constant dans le sang. A partir de l'ablation du pancréas, la glycémie augmente.

Le pancréas secrète une substance qui démunie le taux de glucose dans le sang.

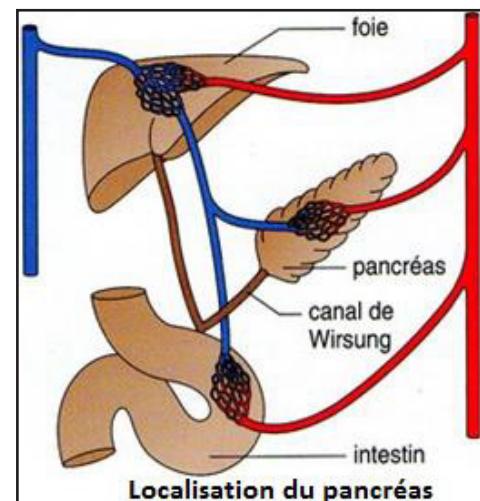
Une observation plus poussée des îlots de Langerhans révèle que ceux-ci contiennent 2 types de cellules :

- les cellules α à la périphérie,
- les cellules β au centre.

Le pancréas secrète deux hormones : l'insuline et le glucagon.

L'insuline, polypeptide de 51 acides aminés, est fabriquée par les cellules β , qui sont au centre des îlots de Langerhans. Cette hormone a été découverte en 1922.

Les îlots de Langerhans étant richement vascularisés, ces cellules libèrent directement les hormones dans le sang.



Les troubles digestifs sont dus à l'absence de suc pancréatique dont le rôle dans la digestion des aliments est très important.

Le pancréas a donc une double fonction : la sécrétion d'enzymes digestives et la fabrication d'hormones libérées dans le sang permettant la régulation de la glycémie (expérience 3).

L'insuline sanguine n'agit que sur des cellules possédant des récepteurs protéiques spécifiques dans leur membrane plasmique : ce sont des cellules cibles. L'insuline agit sur de très nombreuses cellules cibles : cellules hépatiques (hépatocytes), cellules musculaires, cellules des tissus adipeux (les adipocytes) en plus d'autres organes, sauf les cellules du système nerveux. L'insuline a plusieurs rôles :

- favoriser la pénétration du glucose dans le foie,
- favoriser son utilisation dans la respiration cellulaire des muscles,
- stimule la glycogénogenèse et inhibe la glycogénolyse (\Rightarrow stockage du glucose sous forme de glycogène accru dans le foie),
- stimule la lipogenèse à partir du glucose et inhibe l'hydrolyse des graisses.

De façon générale, l'insuline favorise le stockage du glucose et son utilisation \Rightarrow elle fait donc baisser le taux de glucose dans le sang.

Les cellules β sont des capteurs de glycémie, c'est-à-dire qu'elles sont directement sensibles à la glycémie. Plus la libération de l'insuline augmente, plus la glycémie baisse. L'insuline fait donc baisser la glycémie (expérience 4, graphe 1) : c'est une hormone hypoglycémiant. C'est la seule hormone hypoglycémiant que l'organisme possède.

Le glucagon, polypeptides de 29 acides aminés, est fabriqué par les cellules α situées à la périphérie des îlots de Langerhans.

Les cellules α sont aussi des capteurs de la glycémie. Plus la libération de glucagon augmente, plus la glycémie augmente (expérience 4, graphe 2) : Le glucagon est une hormone hyperglycémiant.

Le glucagon se fixe également sur des récepteurs spécifiques sur les membranes de ces cellules cibles, qui sont uniquement des cellules hépatiques.

Il agit en stimulant la glycogénolyse provoquant l'augmentation de la libération du glucose dans le sang. Insuline et glucagon sont des hormones antagonistes.

Une hormone est une substance sécrétée par une glande endocrine, libérée dans la circulation sanguine et destinée à agir de manière spécifique sur un ou plusieurs organes cibles afin d'en modifier le fonctionnement.

C-Lerein

Activité 4

Comment mettre en évidence le rôle du rein dans la régulation de la glycémie ?

Le rein contribue, dans une moindre mesure, au maintien de la glycémie.

Il joue un rôle important dans l'homéostasie glucidique, aussi bien en période post-absorptive qu'en période postprandiale. Le rein produit du glucose par néoglucogenèse au niveau du cortex et utilise du glucose pour assurer les besoins énergétiques de la médulla. Il participe également à la réabsorption du glucose filtré par le rein de façon telle que l'urine finale est dépourvue de glucose, tant que la glycémie ne dépasse pas le seuil de 180 mg/dL. Chez le diabétique de type 2, la néoglucogenèse et l'utilisation rénale sont augmentées de 30 %. De façon surprenante, la réabsorption du glucose est augmentée, ce qui participe à l'aggravation de l'hyperglycémie. Cela résulte de l'augmentation du seuil rénal de réabsorption du glucose (220 mg/dL) entre autres.

A partir de l'étude du texte précédent, montrer comment le rein peut participer à la régulation de la glycémie.

Etude du texte :

Hormis sa fonction néoglucoformatrice, le rein peut sécréter le glucose du sang si sa concentration circulante est très élevée (diabète sucré), ce qui ne se produit pas chez un sujet sain ; la glycosurie normale est nulle. Le glucose produit dans l'urine primitive est réabsorbé activement vers le sang au niveau du tubule proximal. Cette fonction est saturable, ce qui explique qu'au-delà d'une concentration plateau (qui correspond à la concentration circulante de glucose égale à 9 mmol/l environ, soit 1,80 g/l), l'excédent de glucose présent dans l'urine primitive n'est plus réabsorbé.

NB. Autres hormones hyperglycémiantes :

- l'adrénaline synthétisée par les cellules médullosurrénaliennes ;
- Le cortisol synthétisé par les cellules corticosurrénaliennes (fasciculée) ;
- L'hormone de croissance (GH) synthétisée par les cellules somatotropes antéhypophysaires.

Ces hormones :

- augmentent la glycémie en stimulant la production de glucose à partir des stocks.

On va donc avoir une augmentation de la glycogénolyse et de la néoglucogenèse ;

- ont un effet anti-insuline en diminuant la captation musculaire de glucose ;
- économisent du glucose en augmentant la lipolyse qui va augmenter les acides gras libres.

Dans un premier temps, en cas de stress, c'est l'adrénaline et le cortisol qui vont être libérés, puis si le jeûne se prolonge, on rentre dans une carence extrême en substrats énergétiques, par exemple si la personne fait la grève de la faim, c'est le GH qui va être synthétisé.

III- Régulation de la glycémie

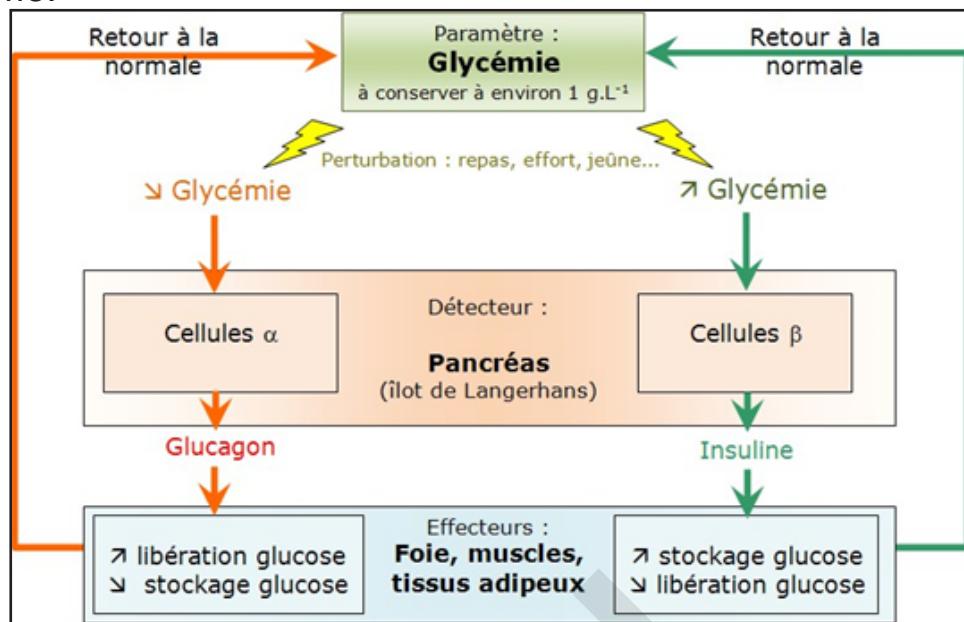
Activité 5

La glycémie peut prendre plusieurs valeurs au cours de la journée. Comment agissent les cellules α et les cellules β à une valeur donnée de la glycémie ?

La régulation de la glycémie est le processus par lequel le taux de glucose dans le sang, dit glycémie, est maintenu proche d'une valeur bénéfique pour l'organisme.

Cette régulation fait partie des processus de maintien de l'homéostasie au sein de l'organisme.

Le document suivant résume le processus de régulation de la glycémie par l'organisme.



A partir de l'analyse de ce document, montrer comment se fait l'autorégulation de la glycémie dans l'organisme.

Analyse du document :

La glycémie doit être maintenue constante, même à distance d'un repas.

Il existe une régulation fine du métabolisme énergétique, pour permettre un équilibre permanent entre l'utilisation et la production de glucose. Le glucose va être stocké sous forme de glycogène dans le foie ou dans le muscle et sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux.

Lors d'un repas, il va y avoir stimulation de l'insuline et inhibition du glucagon, du cortisol, du GH et de l'adrénaline. Il y a stockage, anabolisme du glucose pour diminuer la glycémie. Il y a augmentation de la glycogénogenèse, diminution de la glycogénolyse et de la néoglucogenèse pour normaliser la glycémie.

- Lorsque la glycémie est aux alentours de 1 g.L^{-1} , les sécrétions d'insuline et de glucagon sont basses : c'est ce qu'on appelle des sécrétions basales.
- Une hausse de la glycémie est détectée par les îlots de Langerhans qui, en réponse, augmentent la sécrétion d'insuline et diminuent celle de glucagon. Ces modifications au niveau des concentrations sanguines de ces deux hormones pancréatiques provoquent différentes réponses sur leurs organes cibles : l'augmentation de l'insulinémie conduit à un stockage accru du glucose dans

les organes effecteurs. Tandis que la baisse de la glucagonémie s'accompagne d'un arrêt de libération de glucose par le foie.

- Au contraire, une baisse de la glycémie, détectée par les îlots de Langerhans, provoque une baisse de la sécrétion d'insuline et une augmentation de celle de glucagon. Cela conduit à une diminution du stockage du glucose dans les organes effecteurs et une augmentation de la libération du glucose par le foie.

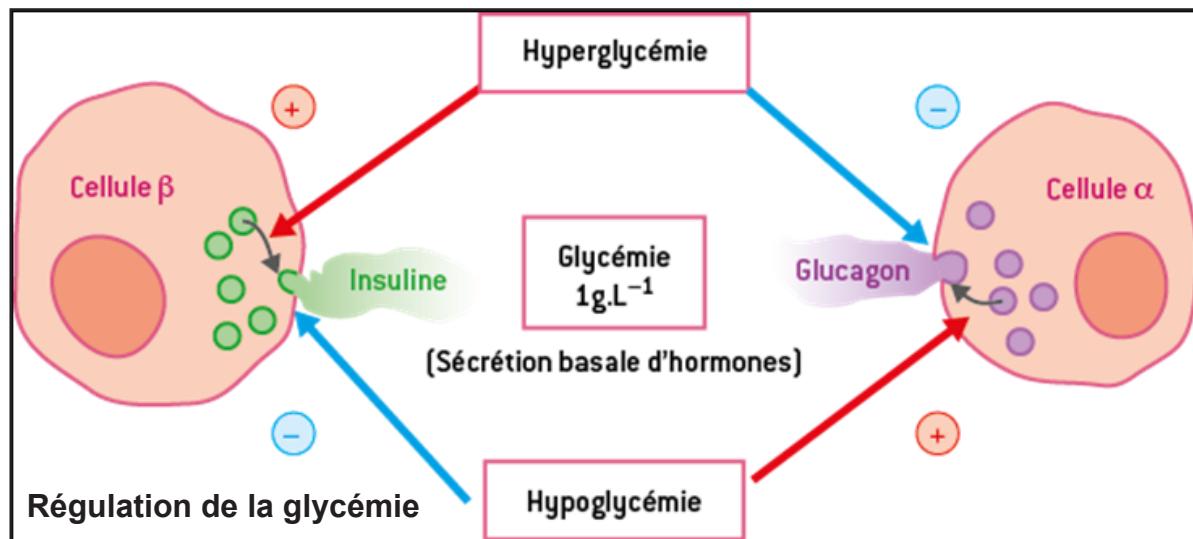
Toutes ces modifications du métabolisme des organes effecteurs passent par une modulation de l'activité de certaines enzymes associées au métabolisme du glucose.

Toutes les cellules de l'organisme consomment du glucose, ce qui tend à faire baisser la glycémie. Par ailleurs, certaines cellules sont également capables de stocker sous différentes formes une partie du glucose prélevé.

Les cellules du tissu adipeux (adipocytes) produisent des molécules lipidiques (triglycérides) à partir du glucose puisé dans le sang (mécanisme biochimique de lipogenèse).

Ces molécules, stockées dans le cytoplasme des adipocytes sous forme de gouttelettes, représentent la « réserve de glucose » la plus importante de l'organisme. Les cellules musculaires consomment de grandes quantités de glucose pour fournir l'énergie nécessaire à la contraction. Elles en stockent également une partie sous forme de glycogène, molécule obtenue en polymérisant des molécules de glucose (glycogénogenèse).

Après son absorption au niveau de la muqueuse intestinale, le glucose d'origine alimentaire atteint le foie par la veine porte. La glycémie dans ce vaisseau est alors très supérieure aux valeurs normales habituelles. Les cellules hépatiques, ou hépatocytes, prélèvent le glucose en excès et le stockent en le polymérisant en glycogène (glycogénogenèse).



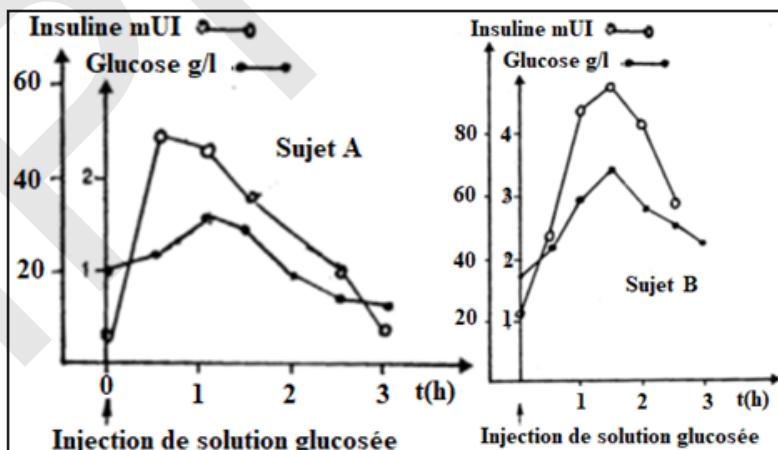
IV- Dysfonctionnement : Diabète

Activité 6

Montrer un aspect du dysfonctionnement du système immunitaire.

Pour se rassurer sur leur état sanitaire, deux sujets A et B décident de tester leur glycémie.

On leur injecte une solution glucosée, puis juste après, on suit simultanément l'évolution de leur glycémie et de leur insulinémie. Les résultats sont consignés sur les graphiques du document (ci-contre).



A partir de l'analyse du document, déduire l'état de santé de chacun des sujets A et B et dégager les conséquences du dysfonctionnement chez l'individu malade..

Analyse du document :

Sujet A : A l'instant 0, la glycémie est de 1g/l et l'insulinémie est d'environ 5mUI.

Après l'injection de la solution glucosée, la glycémie avoisine 1,5g/l et l'insulinémie passe à 50 mUI. Au bout d'une heure, la glycémie commence à diminuer pour retrouver sa valeur initiale après 2heures alors que l'insulinémie a rejoint sa valeur initiale après 3 heures.

Il s'agit d'un individu sain car le système de régulation de la glycémie a corrigé l'hyperglycémie au bout d'1h 30min.

Sujet B : A l'instant 0, la glycémie est de 1,8g/l et l'insulinémie est d'environ 20mUI.

Après l'injection de la solution glucosée, la glycémie avoisine 3,5g/l et l'insulinémie passe à 100mUI. Après 1 h30, la glycémie et l'insulinémie commencent à diminuer.

Il s'agit d'un individu diabétique car le système de régulation de la glycémie n'a pas pu corriger l'hyperglycémie pour rétablir la glycémie normale : il y a un dysfonctionnement de ce système de régulation conduisant à un diabète.

Le diabète est une maladie chronique caractérisée par la présence d'un excès de sucre dans le sang appelé hyperglycémie. Il est avéré si le taux de glycémie à jeun est égal ou supérieur à 1,26 g/l ou 7 mmol/l de sang lors de deux dosages successifs (ou $\geq 2\text{g/l}$ à n'importe quel moment de la journée). Les symptômes du diabète sont : avoir soif, avoir souvent faim, aller souvent uriner, fatigue ou somnolence, vision brouillée, picotements dans les doigts ou les pieds, perte ou gain de poids inexplicable, irritabilité ou modifications de l'humeur.

Il existe principalement 3 types de diabète : le diabète de type 1 (DT1), le diabète de type 2 (DT2) et le diabète gestationnel. Dans les trois cas, sans traitement, le taux de sucre s'élève dans le sang.

- Le diabète de type 1 (DT1) ou diabète insulino-dépendant (DID) : il survient chez les personnes jeunes et apparaît souvent dans l'enfance (diabète juvénile). Il se caractérise par l'absence de production d'insuline. Cette maladie auto-immune se déclare souvent avant 20 ans. Les sujets atteints sont dépendants de l'insuline qui doit être administrée par injection.

Les symptômes surviennent en général très brutalement. Il se caractérise par une hyperglycémie chronique, une soif intense (polydipsie), une sensation de faim intense, un besoin d'uriner fréquemment, des urines abondantes (polyurie), une fatigue intense, un amaigrissement, ou des pertes de connaissance à répétition ...

Le diabète de type 1 a une origine auto-immune. Le système immunitaire va détruire les îlots de Langerhans du pancréas en raison de facteurs génétiques et/ou d'une infection virale (rubéole par exemple).

- Le diabète de type 2 (DT2) ou diabète non insulino-dépendant (DNID) : c'est une maladie qui résulte d'une diminution des effets de l'insuline, on parle alors d'insulino-résistance. Ce type de diabète est une maladie qui reste très longtemps silencieuse pouvant évoluer pendant des années sans provoquer aucune manifestation. Aucun symptôme ne permet de repérer le diabète avant l'apparition des complications. Les signes pouvant annoncer un diabète de type 2 sont les suivants : hyperglycémie chronique, fatigue, troubles de la vision, sensation de bouche sèche, besoin d'uriner souvent, d'avoir davantage faim ou soif, picotements dans les pieds, infections qui guérissent mal...

Cette maladie survient généralement chez les adultes en âge avancé, et touche davantage les personnes obèses ou ayant un surplus de poids. Elle est liée à un ensemble de gènes qui peuvent s'exprimer en fonction de facteurs environnementaux et alimentaires.

- Le diabète gestationnel (diabète de grossesse) : c'est une intolérance au glucose qui se traduit par une augmentation de la glycémie chez une femme enceinte. Il ne doit pas être négligé en raison des complications qu'il peut provoquer, tant pour la mère que pour son bébé. Heureusement, il se soigne facilement, notamment grâce à un régime adapté.

Ce diabète est asymptomatique dans la très grande majorité des cas. Exceptionnellement, la femme peut présenter des symptômes de soif intense, des urines abondantes et une fatigue importante en cas de taux de sucre très élevé dans le sang.

Les facteurs de risque du diabète gestationnel sont :

- Surpoids ou obésité maternelle ;
- Antécédents familiaux de diabète chez les parents de 1^{er} degré (parents, fratrie) ;
- Âge supérieur à 35 ans ;
- Antécédents de diabète gestationnel lors d'une précédente grossesse.

De manière générale, il importe de connaître les facteurs de risque du diabète pour tenter de les corriger et d'éviter ainsi l'apparition de la maladie. Il s'agit de : facteurs héréditaires, de l'hypertension artérielle, d'une alimentation trop

riche en graisses et en sucres, de la sédentarité, de l'hypercholestérolémie, du tabagisme et des maladies cardiovasculaires, d'un surpoids. Le diagnostic est simplement fait par une prise de sang montrant une hyperglycémie à plus de 1,20g/l constatée à au moins 2 reprises. Le dosage sanguin de l'hémoglobine glyquée est devenu le meilleur indice de surveillance du diabète et des traitements antidiabétiques. L'hémoglobine glyquée évalue la glycémie moyenne des 3 à 4 mois précédent le bilan. On appelle hémoglobine glyquée ou glycosylée (HbA1C) est la part de l'hémoglobine qui se fixe sur le glucose quand le taux de sucre dans le sang est élevé. Un taux d'hémoglobine glyquée normal est inférieur à 7 %.

JE RETIENS

La glycémie est le taux de glucose libre circulant dans le sang.

Si on a un excès, on est en hyperglycémie (risque de diabète) et si on a un déficit, on est en hypoglycémie (risque neurologique).

Comme de nombreux autres paramètres sanguins, la concentration en glucose ou glycémie a une valeur constante de l'ordre de 1 g de glucose par litre de plasma (1 g.L^{-1} soit $5,5 \text{ mmol.L}^{-1}$). Celle valeur de 1 g.L^{-1} n'est maintenue que grâce à l'intervention active de mécanismes physiologiques permettant le stockage et le déstockage du glucose. Pour ce faire, il y a intervention d'organes comme le foie, le pancréas et le rein. Le foie régule la production et le stockage du glucose grâce à trois voies métaboliques :

- la glycogénogenèse : voie de synthèse du glycogène qui permet le stockage du glucose dans le foie sous forme de glycogène ;
- la glycogénolyse : voie d'hydrolyse du glycogène qui libère le glucose ;
- la néoglucogenèse est une voie de synthèse du glucose à partir d'éléments non glucosidiques (acides gras et acides aminés).

L'observation au microscope du pancréas montre la coexistence de deux ensembles de cellules :

- **les cellules des acini** qui constituent l'essentiel de la masse du pancréas. Elles sécrètent du suc digestif déversé par des canaux collecteurs dans l'intestin : **c'est la fonction exocrine du pancréas**.
- le reste (1 à 5%) est constitué de minuscules amas cellulaires dispersés entre les acini formant **les îlots de Langerhans**. Ces îlots sont dépourvus de canaux mais irrigués par des capillaires sanguins. Ils sécrètent les hormones régulant la glycémie: **c'est la fonction endocrine du pancréas**.

Ils libèrent 2 hormones :

- l'insuline (hypoglycémiante) par les cellules β des îlots de Langerhans ;
- le glucagon (hyperglycémiant) par les cellules α des îlots de Langerhans.

C'est le couple insuline-glucagon qui va réguler la glycémie plasmatique.

Une hormone est une substance organique secrétée par un tissu glandulaire, déversée directement dans le sang et agissant sur des organes cibles portant des récepteurs spécifiques.

La glycémie doit être maintenue constante, même à distance d'un repas.

- Après un repas, il y a une hyperglycémie qui sera corrigée par le stockage des substrats énergétiques :

le glucose peut être stocké dans le foie ou dans le muscle sous forme de glycogène (glycogénogénèse) ; des triglycérides sont formés dans le tissu adipeux (lipogenèse) ;

- lors d'un jeûne (même de courte durée), il y a une hypoglycémie qui provoque la libération de glucose dans le sang :

Le glycogène s'hydrolyse en glucose (Glycogénolyse) ;

Dans le tissu adipeux, les triglycérides sont transformés en acides gras et en glycérol (lipolyse).

Si ce n'est toujours pas suffisant, les acides gras et les acides aminés provenant du muscle peuvent aussi former du glucose (néoglucogenèse).

Le rein contribue, dans une moindre mesure, au maintien de la glycémie.

Il produit du glucose par néoglucogenèse au niveau du cortex et utilise du glucose pour assurer les besoins énergétiques de la médulla. Il participe également à la réabsorption du glucose filtré par le rein de façon telle que l'urine finale est dépourvue de glucose, tant que la glycémie ne dépasse pas le seuil de 1,80 g/l (soit 9mmol/l environ).

La régulation de la glycémie est un système autorégulé à commande hormonale : cela signifie que c'est le paramètre réglé (la glycémie) qui déclenche la mise en route du système réglant (ici, un ensemble de cellules cibles sensibles à des hormones pancréatiques).

- Les cellules α et β du pancréas endocrine sont des capteurs de la glycémie qui émettent des hormones, respectivement le glucagon et l'insuline, d'une manière adaptée à la valeur de cette glycémie.

- L'insuline stimule le stockage et la consommation du glucose dans les différentes cellules cibles : elle a donc ainsi un effet hypoglycémiant.
- Le glucagon, en revanche, a un effet hyperglycémiant en stimulant la libération de glucose par le foie.
- Une sécrétion de ces hormones adaptée en permanence à la valeur de la glycémie assure le maintien de ce paramètre au voisinage de la valeur de consigne.

Le dysfonctionnement de ce système de régulation peut avoir des conséquences sur l'organisme comme le diabète.

Il existe principalement trois formes de diabète sucré :

- un diabète insulino-dépendant (DID) ou diabète de type 1 (DT1) : le plus grave car il survient précocement. Les symptômes les plus apparents sont : une urine abondante (polyurie) et contient du glucose (glycosurie), une soif intense, un amaigrissement progressif. Tous ces symptômes sont attribués à une hyperglycémie.

Cette hyperglycémie est due à un mauvais fonctionnement du pancréas qui ne produit pas ou peu d'insuline (maladie auto-immune). Il est soigné par l'injection d'insuline.

- un diabète non insulino-dépendant (DNID) ou diabète de type 2 (DT2): c'est une autre forme de diabète qui apparaît plus tard (40 ans), c'est le diabète gras ou diabète de l'âge mûr. Ses degrés sont très variés et, il y a toujours hyperglycémie et glycosurie.

La cause de ce diabète gras ou diabète insulino-résistant doit être recherchée ailleurs:

- dénaturation ou inactivation de l'insuline par une substance dans le sang ;
- altération des récepteurs insuliniques ou diminution de leur nombre ;
- défaut de la transmission du message insulinique au niveau de la cellule cible ;
- anomalie du métabolisme du glucose.
- Un diabète gestationnel : qui accompagne la grossesse et disparaît souvent à l'accouchement.

JE M'EXRCE

Exercice 1 : QCM

Recopier la (ou les) bonne(s) réponse(s).

1- Le foie :

- A- est le seul effecteur de la régulation glycémique.
- B- agit sur la glycémie uniquement en libérant du glucose dans le sang.
- C- possède des enzymes permettant l'hydrolyse du glycogène.
- D- est sensible au glucagon.

2- La glycémie :

- A- est le taux de glucose plasmatique.
- B- est diminuée chez les personnes atteintes de diabète sucré.
- C- diminue temporairement à la suite d'un exercice physique.
- D- diminue temporairement à la suite d'un repas.

3- Une glycosurie :

- A- est un excès de glucose dans le sang.
- B- est un déficit en glucose dans le sang.
- C- est la présence de sang dans les urines.
- D- est la présence de glucose dans les urines.

4- La néoglucogenèse :

- A- est la synthèse de glycogène par le foie.
- B- est la synthèse de glucose à partir de substrats non glucidiques.
- C- est la libération de glucose à partir du glycogène.
- D- est l'utilisation du glucose par les cellules.

5- L'insuline :

- A- est une hormone non protéique.
- B- est une des hormones hyperglycémiantes.
- C- est sécrétée suite à des repas riches en glucides.
- D- est sécrétée par les cellules du pancréas exocrine.

6- La glycémie :

- A- pour valeur de référence un taux sanguin de glucose fixé aux environs de 0,9 g/L.
- B- est une variable physiologiquement régulée entre 0,6 et 1,3 g/L.
- C- correspond au taux de glycogène sanguin.
- D- est une variable régulée car le corps nécessite du glucose en permanence.

7- Le foie :

- A- est l'organe qui contrôle la régulation de l'hypoglycémie en libérant du glucose.
- B- est capable de stockage et de déstockage de glucose.
- C- détecte les écarts à la valeur de consigne de la glycémie et les adapte.
- D- stocke le glucose sanguin sous forme de glycogène et de triglycérides.

8- L'insuline :

- A- est l'hormone de l'hyperglycémie.
- B- est l'hormone de l'hypoglycémie.
- C- est une hormone hypoglycémiantre.
- D- est une hormone hyperglycémiantre.

9- Le pancréas :

- A- est une glande digestive intervenant uniquement dans la digestion du glucose.

B- possède une grande partie digestive majoritaire et des îlots de Langerhans impliqués dans la régulation de la glycémie.

C- possède des cellules capables de capter les variations de la glycémie.

D- participe à la régulation de la glycémie en stockant du glucose sous la forme de glycogène.

10- Le glucagon :

A- favorise la glycogénolyse hépatique.

B- s'oppose à l'action de l'insuline.

C- permet l'entrée de glucose dans les cellules cibles.

D- favorise la glycogenèse hépatique.

11- La régulation de la glycémie nécessite :

A- des cellules capables de détecter les écarts à la valeur de consigne : les cellules hépatiques.

B- des cellules cibles sensibles au message délivré par les messagers de la régulation : Insuline et glucagon.

C- des effecteurs capables de stocker et/ ou de déstocker le glucose en fonction des besoins.

D- des messagers de type hormones libérés par les îlots de Langerhans.

12- L'hyperglycémie chez un individu sain provoque :

A- la libération d'insuline par les cellules bêta du pancréas endocrine.

B- l'entrée de glucose dans les cellules musculaires, les hépatocytes et les adipocytes.

C- la libération de glucagon par les cellules alpha des îlots de Langerhans.

D- une activation du stockage de glucose sous forme de glycogène et de triglycérides.

13- Un individu diabétique :

- A- présente une hyperglycémie chronique non régulée.
- B- présente une hypoglycémie chronique non régulée.
- C- ne stocke plus de glucose dans ses cellules effectrices.
- D- ne déstocke plus de glucose à partir de ses cellules effectrices.

14- Le diabète de type 1 :

- A- est un diabète à dominante héréditaire forte.
- B- survient principalement à l'âge adulte d'où son nom de diabète d'âge mûr.
- C- est causé par une absence de sécrétion d'insuline due à la destruction des cellules des îlots du pancréas.
- D- est caractérisé par une résistance des cellules cibles aux messages de l'insuline.

15- Les cellules bêta des îlots de Langerhans :

- A- sont sensibles au taux plasmatique de glycogène.
- B- sont endocrines car elles sécrètent le glucagon.
- C- sont situées dans les acini pancréatiques.
- D- font partie du système réglant de la glycémie.

Exercice 2

La glycémie ou teneur en glucose du sang est normalement de 1g/L. Malgré les apports alimentaires, elle fluctue très peu. Afin de comprendre le mécanisme qui permet de maintenir constante la glycémie, des chercheurs réalisent des expériences qui leur permettent de faire les observations suivantes :

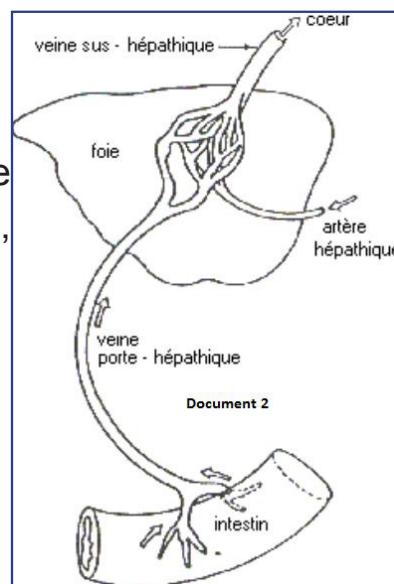
- a- Le tableau du document 1 donne la mesure de la glycémie dans une artère de la cuisse chez un chien hépatectomisé (ablation du foie) et qui n'est pas immédiatement nourri après l'opération.

Document 1					Hypoglycémie	coma
Temps après l'ablation (min)	0	15	30	45	60	75
Glycémie (g/l)	1	0,89	0,75	0,7	0,62	0,5

b - Au moment des repas, la glycémie est élevée dans la veine porte hépatique et faible dans la veine sus-hépatique (voir document 2: la vascularisation hépatique).

c - Le document 3 indique la teneur en glycogène hépatique de deux individus soumis à un jeûne prolongé, puis alimenté par des repas riches en glucides

Document 3	Teneur en glycogène hépatique durant une période de jeûne (g /kg de foie)						Teneur après des repas riches en glucides	
	1 ϵ j	2 ϵ j	3 ϵ j	4 ϵ j	5 ϵ j	6 ϵ j	1 ϵ j	2 ϵ j
Individu A	50,8	30,1	7,3	7,1	7,1	6,9	84,2	88,5
Individu B	40,7	20,1	10,7	4,2	3,8	3,8	78,9	80,2



1- Analyser de façon ordonnée ces observations.

2- Emettre des hypothèses sur le (s) rôle (s) du foie dans la régulation glucidique.

Exercice 3

On a extrait du pancréas endocrine deux substances : l'insuline et le glucagon.

Voici quelques-unes des expériences par lesquelles on a recherché leur mode d'action sur la glycémie, après avoir supposé que ces deux produits agissaient soit sur le foie, soit sur les cellules de l'organisme en général.

1. On a réalisé les dosages du glucose sanguin et du glycogène hépatique chez un Chien normal dans le sang duquel on a injecté du glucagon ; les courbes a et b de la figure 1 traduisent les variations de ces taux en fonction du temps.

La courbe c représente l'évolution du taux de glucose sanguin, après l'injection de glucagon à un chien dont les réserves de glycogène hépatique ont été épuisées par un jeûne prolongé.

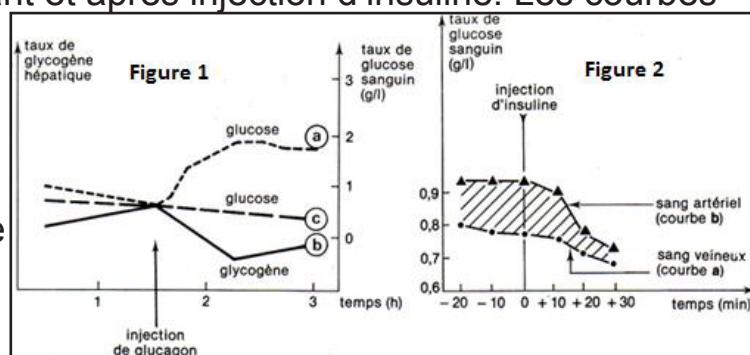
Quels vous paraissent être le rôle et le mode d'action du glucagon ?

2. Chez un Chien normal, on mesure, en dehors de la période des repas, les taux de glucose dans le sang artériel qui arrive au foie et dans le sang veineux qui sort du foie.

Le taux de glucose artériel est le même pour le sang qui baigne tous les organes.

Ces dosages sont effectués avant et après injection d'insuline. Les courbes de la figure 2 traduisent les variations de ces taux en fonction du temps :

En portant votre attention d'abord sur l'analyse de la seule courbe a puis en envisageant l'évolution de la différence entre le taux de glucose dans le sang qui arrive au foie (courbe a) et dans le sang qui en sort (courbe b), dites quelles informations vous tirez des données portées sur cette figure 2 quant à l'effet de l'insuline sur la glycémie et quelles suppositions vous formulez quant à son mode d'action.



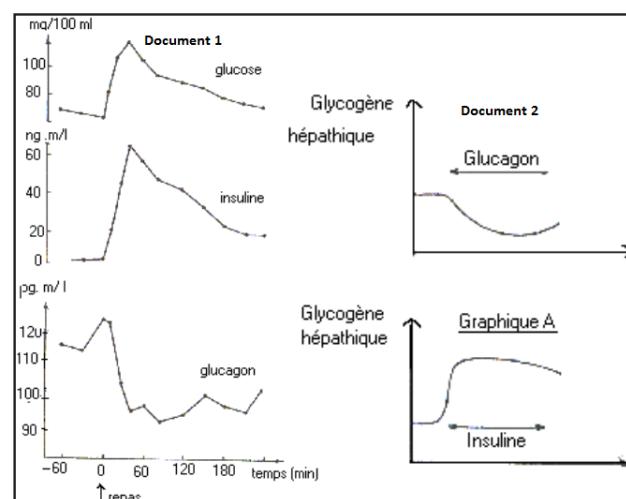
Exercice 4

Des expériences ont été réalisées pour comprendre le rôle du foie dans la régulation de la glycémie ainsi que le mécanisme de celle-ci :

a- La pancréatectomie totale provoque une hyperglycémie et une glycosurie chez le chien qui meurt au bout d'un mois.

b- Les documents 1 et 2 précisent la réponse physiologique consécutive à une greffe de pancréas sur un animal pancréatectomisé.

Le document 1 indique les réponses de deux substances pancréatiques (l'insuline et le glucagon), chez des personnes en bonne santé à la suite d'un repas riche en glucides.



Le document 2 représente le résultat des effets de ces deux substances sur le taux de glycogène hépatique.

1- Analyser dans l'ordre l'ensemble de ces données.

2- A partir uniquement des renseignements fournis par cette analyse, dégager les éléments qui interviennent pour réguler la glycémie.

Exercice 5

A l'occasion d'un examen de médecine préventive qui a confirmé son bon état de santé, un homme à jeun absorbe 50 grammes de glucose puis subit une prise de sang toutes les 30 minutes pour mesurer sa glycémie.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

Temps en minutes	0	30	60	90	120	150	180	210
Glycémie en g/l	0,95	1,55	1,35	0,95	0,85	0,80	0,90	0,90

1. Que déduisez-vous de l'analyse de ces résultats ?
2. Pour étudier le phénomène observé ci-dessus, on réalise une expérience sur un chien à jeun. On pratique l'ablation du pancréas et on mesure, heure par heure, la glycémie, la glycosurie et le glycogène hépatique 'voir tableau ci-dessous').

Temps en h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Glycémie en g/l	1	0,95	0,9	0,85	0,95	1,2	1,8	2,8	3,2	3,3	3,4
Glycosurie en g/l	0	0	0	0	0	0	0,1	1,5	5,6	6,7	6,8
	2,65	2,65	2,6	2,6	2,55	2,5	2,45	2,4	2,3	2,2	2,1

Ablation du pancréas

2.1 Sur un même graphique, représentez les variations de la glycémie, de la glycosurie et du glycogène hépatique en fonction du temps.

2.2 Analysez les courbes obtenues. En déduire les effets de la pancréatectomie.

2.3 Les variations du taux de glycogène hépatique et de glycosurie peuvent-elles être observées au cours du test effectué chez le sujet à jeun (question 1)?

Justifiez vos réponses.

J'approfondis mes connaissances

Document 1 :

L'hypoglycémie

«Définition de l'hypoglycémie :

La glycémie normale à jeun est entre 0,70 et 1,10g/L (3,9- 5,6 mmol/L).

Une **hypoglycémie** se définit par une glycémie **inférieure à 0,50 g/L** (2,8mmol/L).

Une **hypoglycémie suspecte** se définit par une glycémie **inférieure à 0,60 g/L** (3,3mmol/L).

[...]. Une **hypoglycémie asymptomatique** correspond à des chiffres bas sans symptôme.

Une **hypoglycémie modérée** correspond à des chiffres bas et la présence de symptôme(s).

Une **hypoglycémie sévère** correspond à un TRT nécessitant l'intervention d'une tierce personne (cette hypoglycémie est indépendante du chiffre si la personne a besoin d'une tierce personne).

Signes de l'hypoglycémie :

L'hypoglycémie s'exprime par des **crises**, des **malaises**. Entre les crises, tout est normal. La connaissance de l'horaire (à jeun, à distance des repas) et la notion de la sédation à la prise d'aliments sucrés sont très importants.

Différents types de malaise :

Il existe 3 types de malaises et 3 types de signes :

- Le 1^{er} type de malaise est le **malaise mineur** : Il s'agit des **Signes « adrénériques »** car il y a stimulation de glucagon, stimulation d'adrénaline (qui appartient aux catécholamines) par les surrénales. C'est le malaise classique de la jeune fille qui mange sucré le matin et qui en fin de matinée ressent ces signes qui sont peu spécifiques :

- Asthénie brusque, dérobement de jambes ;

- Sueurs profuses ;
 - Pâleur du visage, angoisse ;
 - Faim impérieuse, fringale, crampes d'estomac ;
 - Palpitations (tachycardie), précordialgies ;
 - Céphalées, vertiges, tremblements.
- 2^{ème} type de malaise si la glycémie diminue encore plus : **malaise grave**

Il s'agit de **signes de « glucopénie tissulaire »**, le glucose est synthétisé principalement par le foie et par les muscles, donc on aura :

- Lipothymies ;
- Troubles visuels (diplopie) ;
- Troubles moteurs : monoplégie, hémiplégie ;
- Crise convulsive ;
- Agitation, pseudo ébriété ;
- Confusion ;
- Dépression.

• 3^{ème} type de malaise, si on ne corrige toujours pas la glycémie, on a le **coma hypoglycémique**. Il s'agit des **signes « neuroglucopéniques »**.

L'installation est rapide mais progressive. Le patient non conscient lié à la carence en glucose au niveau cérébral, pâle, agité, sueurs, tachycardie avec hypertension, réflexes vifs, parfois avec signes neurologiques complexes (trompeurs).

Tout coma impose de mesurer la glycémie capillaire (en son absence, un resucrage parentéral occasionne un réveil spectaculaire).

[...]. L'hypoglycémie sévère durable (glycémie inférieure à 0,20 g/L pendant plus de 2 heures) peut induire une nécrose cellulaire responsable de séquelles.

Un coma hypoglycémiant doit être rapidement identifié et traité. [...].

Diagnostic différentiel du malaise hypoglycémique

Il peut s'agir de :

- **malaise vagal** : pâleur extrême, parfois bradycardie, nausées, parfois vomissements, sensation de faiblesse générale, avec des sueurs froides, allant rarement jusqu'à la perte de connaissance. Il survient dans un contexte de chaleur, de stress. Il dure en général quelques minutes.
- **Crise de panique** : peut ressembler à un malaise hypoglycémique, avec sa tachycardie, et ses sueurs profuses, la sensation de mort imminente, mais ne va pas jusqu'à la perte de connaissance. Elle est souvent déclenchée par des circonstances particulières qui la conditionnent.
- **La syncope** : début brutal avec perte de connaissance, dont le patient peut ne pas garder de souvenirs. Il faut rechercher un trouble du rythme ou un rétrécissement aortique.

• Les crises comitiales

Le diagnostic positif d'une hypoglycémie par la dextro (*qui est un glucomètre*), repose sur la constatation d'une glycémie basse.

Les causes de l'hypoglycémie

Les causes peuvent être multiples, la glycémie peut augmenter si on ingère des glucides alimentaires, ou si on est stressé. La glycémie peut diminuer si on fait du sport ou si on prend de l'insuline ou des sulfamides.

Contexte de survenue d'une hypoglycémie :

Les différents contextes de survenue d'une hypoglycémie sont :

• Le patient a un diabète traité par l'insuline :

Les causes vraisemblables peuvent être : **trop d'insuline, pas assez mangé**, des **exercices physiques** non préparés, des **épisodes antérieurs** de petites hypoglycémies, une **insuffisance rénale** qui prolonge la demi-vie de l'insuline et si le patient prend des sulfamides comme antidiabétique oral, l'insuffisance rénale va favoriser l'accumulation de sulfamides, et on aura une hypoglycémie.

- **Le patient a un diabète traité par des sulfamides** (=hypoglycémiants) (attention l'hypoglycémie peut être prolongée) : Cela peut être provoqué par: **pas assez mangé, par l'exercice physique, la prise d'alcool (whisky par exemple) ou l'insuffisance rénale.**
- **Beaucoup plus rare** : survenue d'une hypoglycémie en dehors du diabète : il faut rechercher une autre cause d'hypoglycémie.

Il faut traiter l'hypoglycémie mais aussi identifier les causes de l'hypoglycémie du patient pour essayer de faire un traitement **préventif**.

Les cas d'hypoglycémies se retrouvent majoritairement chez les personnes diabétiques, c'est lié le plus souvent à un surdosage volontaire ou non en insuline. [...]. Pr Bénédicte GABORIT *in HORMONOLOGIE et REPRODUCTION*

Document 2 : Pourquoi tester son hémoglobine glyquée HbA1c ?

«Qu'est-ce que l'hémoglobine glyquée HbA1c ?

L'hémoglobine glyquée est notée HbA1c, sur les ordonnances ou les résultats de laboratoire:

- « Hb » correspond à hémoglobine,
- « A1c » est le type d'hémoglobine analysé dans le dosage.

La forme glyquée de la molécule d'hémoglobine. Ainsi, la valeur biologique de l'hémoglobine glyquée est la liaison entre l'hémoglobine et le glucose. Ici, le terme « glyquée » vient de glucose. Ensuite, cette liaison est proportionnelle à la quantité de glucose dans le sang. Ainsi, elle permet de déterminer la concentration de glucose dans le sang. Autrement dit, plus le sang est sucré, plus le globule rouge est sucré. Et par conséquent, l'hémoglobine glyquée est élevée. Enfin, chez une personne non diabétique le glucose se fixe en petite quantité.

Quelle est la durée de vie de l'HbA1c ?

L'HbA1C mesure la présence de glucose sur les trois à quatre derniers mois. Cette durée de quelques mois équivaut à la durée de vie de l'hémoglobine. En effet, les globules rouges contenant l'hémoglobine se renouvellent en permanence. Ils vivent environ 120 jours, puis la rate les détruit.

Pourquoi suivre le taux d'hémoglobine glyquée lorsque l'on est diabétique ?

Tout d'abord, elle constitue un paramètre de référence dans l'équilibrage du diabète. Telle une boîte noire, HbA1c enregistre toutes les variations du taux de glycémie. En effet, elle reflète le taux moyen de sucre dans le sang. Par conséquent, ces dosages visent 3 objectifs :

- Avoir une vue globale sur l'équilibre glycémique du patient.
- Evaluer et adapter le traitement du diabète (insuline, médicaments antidiabétiques oraux, activité physique, alimentation).
- Déterminer les risques de complication du diabète à moyen et long terme.

Respecter les objectifs d'HbA1c afin d'éviter les complications du diabète

Tout d'abord, les périodes d'hyperglycémie fréquentes dans les 120 jours précédant le dosage entraînent une augmentation de la valeur de HbA1c. Celle-ci diminue lorsque la glycémie est correctement équilibrée. Ainsi, plus un patient diabétique ne mesure régulièrement sa glycémie et mieux il la contrôle pour atteindre l'objectif fixé par ses soignants. C'est pourquoi, l'hémoglobine glyquée reste basse. En effet, une HbA1c basse permet d'éviter les risques de développer des complications et les hospitalisations liées au diabète.

Quelle est la différence entre HbA1c et glycémie ?

Surtout, il est important de distinguer HbA1c et glycémie. En effet, le premier est le reflet de la glycémie sur une période de 120 jours. Alors que le second, la glycémie capillaire et la glycémie à jeun sont des instantanés de l'état glycémique.

Comment réaliser un dosage d'HbA1c ?

Tout d'abord, un prélèvement sanguin, en laboratoire d'analyse mesure l'hémoglobine glyquée. Ensuite, l'HbA1 se mesure généralement au moins 2 fois par an, pour assurer un suivi régulier de l'équilibre du diabète. A noter, le dosage se réalise à n'importe quel moment de la journée. Il n'est pas nécessaire d'être à jeun. Ainsi, la proximité d'une prise alimentaire n'influence pas le taux de l'HbA1c. Enfin, le taux d'HbA1c s'exprime en pourcentage. Par conséquent, ce chiffre représente le pourcentage d'hémoglobine du globule rouge qui fixe du sucre. Par exemple, sa valeur normale se situe entre 4 et 6 % de l'hémoglobine totale.

Quel est l'objectif d'une bonne hémoglobine glyquée ?

L'équipe soignante fixe individuellement l'objectif d'HbA1C du patient. Ainsi, plusieurs paramètres rentrent en considération :

- **Le type de diabète**

- L'âge du patient (les personnes âgées considérées comme « fragiles » ont généralement un objectif inférieur à 8 %).

- La nature du traitement ;

- Les complications ou non existantes ;

Pour indication, la Haute autorité de santé a émis des recommandations sur les objectifs cibles d'HbA1c, selon le profil du patient :

- diabète de type 2, pour la plupart des cas : inférieur à 7% ;
- diabète de type 1 : entre 7% et 7,5%.

Qu'est-ce que l'hémoglobine glyquée

À noter, la définition d'un diabète de type 2 repose sur le chiffre de la glycémie à jeun. Plusieurs sociétés savantes internationales tendent cependant à modifier cette définition en la remplaçant par un taux d'hémoglobine glycosylée supérieur à 6,5 %³.

Si le résultat des tests d'HbA1c est trop élevé, il est probable que le patient diabétique ne parvient pas à équilibrer son diabète, qu'un incident annexe est venu le perturber (une grippe, le stress...) ou que le traitement n'est pas adapté.

C'est pourquoi, l'équipe soignante peut adapter le traitement (renforcement des mesures hygiéno-diététiques, adaptation du traitement médicamenteux...), en fonction de l'atteinte de ces objectifs.

Comment faire baisser l'hémoglobine glyquée ?

Tout d'abord, il est important de rappeler que l'abaissement du taux d'HbA1c prend du temps. Toutefois, ce délai dépend du taux de sucre dans le sang au début de la maladie et aux habitudes d'hygiène de vie.

Par conséquent, les facteurs essentiels à contrôler pour maintenir l'objectif d'hémoglobine glyquée fixé par son diabétologue sont :

- La prise quotidienne du traitement prescrit par son médecin traitant ou son diabétologue;
- Le contrôle de la consommation de glucides, par une alimentation équilibrée
- La mesure de sa glycémie plusieurs fois par jour, avant et après les repas. Par exemple, l'utilisation d'appareil de mesure connecté, ou l'ajout du connecteur GLUCONEXT permettent d'enregistrer ces mesures;
- La pratique d'une activité physique régulière est fondamentale. Pendant l'effort, les muscles brûlent les glucides présents dans l'organisme. Une marche tous les jours pendant une demi-heure est un minimum.

C'est pourquoi, ces habitudes s'intègrent dans sa routine quotidienne.

Pourquoi l'hémoglobine glyquée est importante ?

Les patients n'ont pas forcément conscience qu'ils ont un diabète mal équilibré. En effet, le diabète est sournois. Si bien que, des problèmes peuvent survenir sans que le patient les anticipe. Il est donc essentiel pour le patient de maintenir son taux d'HbA1c à un niveau correct quel que soit son ressenti, pour protéger sa santé future.

Sources :

- 1Diabète : les analyses médicales / La mesure de l'HbA1c sur le site Assurance Maladie Sophia. Mise à jour 15 mai 2018. <https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/diabete-suivi/analyses-medicales>
- 2HAS/ANSM. Stratégie médicamenteuse du contrôle glycémique du diabète de type 2. Recommandation de bonne pratique. Janvier 2013
- 3International Expert Committee, « International expert committee report on the role of the A1c assay in the diagnosis of diabetes » [archive] Diabetes Care 2009; 32:1327-34» slideplayer.fr

J'utilise mes connaissances

Projet de classe :

A la fin du chapitre 2, les élèves en sous-groupes proposent un protocole pour les cas de diabète.

Groupe 1 : rédiger un protocole nutritif pour un cas de diabète.

Groupe 2 : rédiger un protocole de prévention contre le diabète.

Groupe 3 : rédiger un protocole de pratiques de sport pour la prévention contre le diabète.

Groupe 4 : se renseigner auprès du professeur de Chimie et décrire la réaction d'hydrolyse et de synthèse, réactif : liqueur de Fehling.

Groupe 4 : Elaborer une fiche métier de diabétologue.

S'informer auprès du professeur de Français pour le langage scientifique.

Campagne de sensibilisation sur le diabète :

S'organiser avec ses amis du quartier et/ou ses collègues de classe dans des **initiatives** pour sensibiliser la famille, l'entourage, les voisins et les connaissances autour du diabète, en s'inspirant des thèmes suivants :

- Sensibiliser le public aux facteurs de risque du diabète de type 2 ;
- Le diabète peut avoir des conséquences désastreuses ;
- Le diabète menace la santé publique ;
- Le diabète peut être évité ;
- Sensibiliser les personnes à risque de diabète pour faire un test de dépistage simple, rapide, et reconnu ;
- les bienfaits du sport etc.

IPN

J'ÉDÉCOUVRE

I-Définitions

Activité 1

Comment définir l'immunologie et ses notions fondamentales ?

L'**immunologie** est la branche de la biologie qui étudie le **système immunitaire**. Ce système a évolué pour distinguer le **non-soi** du **soi**. Les réactions de défense de l'organisme se déclenchent face à un organisme pathogène ou **antigène** (virus, bactéries, champignons ou protozoaires). Les êtres unicellulaires peuvent phagocytter des particules ou des bactéries, la **phagocytose** étant non seulement une fonction nutritive mais aussi défensive.

Les mécanismes de synthèse et de maturation des **anticorps**, d'activation du système du complément, la mobilisation et la coordination des cellules de défense, en forment l'aspect fondamental.

En cas d'agression de l'organisme, le tissu touché devient inflammatoire (inflammation locale). Si l'**inflammation** persiste, et/ou si elle n'est pas suffisante pour contrôler localement l'agression, le système immunitaire va être activé.

L'**immunité** concerne tout le corps et elle est d'intensité et de durée plus ou moins importante.

La réponse immunitaire innée est médiée par les **globules blancs** (polynucléaires et macrophages).

Cette activation est favorisée et amplifiée par la production de messagers, comme les **interleukines** ou **cytokines**.

Ces substances favorisent directement ou indirectement la destruction des micro-organismes.

Après avoir lu le texte, chercher la définition des termes mis en gras.

L'immunologie se définit comme la science de l'immunité. Le mot « immunité » vient du latin *immunitas*, « exemption, dispense, remise et désigne la propriété que possède un organisme pour réagir à un agent pathogène afin d'échapper à la pathologie. L'immunologie apparaît donc comme l'étude des moyens par lesquels un organisme échappe aux effets pathogènes de certaines substances ou corps.

Ainsi, l'immunologie peut être définie comme la discipline de biologie qui étudie les systèmes de défense des êtres vivants contre les organismes susceptibles de provoquer des maladies (virus, bactéries, macroparasites, champignons...).

L'organisme reconnaît sa propre individualité désignée par le « soi ») et la défend contre toute menace alors qu'il rejette tout ce qui est étranger à celle-ci appelé « non-soi ». Le soi serait alors la somme de tous les constituants (organes, cellules, protéines, etc.) de l'organisme, et le système immunitaire serait en mesure de reconnaître chacun d'eux de toutes les entités qui en diffèrent, réagissant aux secondes, mais non aux premiers.

Le complexe majeur d'histocompatibilité ou CMH est un groupe de glycoprotéines qui servent à la reconnaissance des marqueurs du soi et sont présentes au niveau des membranes plasmiques des cellules nucléées de l'organisme. Lorsqu'un agent pathogène pénètre dans une cellule, il reste dans le cytoplasme ou infecte les vacuoles. Les mécanismes pour détruire l'agent différent selon sa localisation et expliquent en partie l'existence de deux familles de complexe majeur d'histocompatibilité (CHM) :

- **CMH de Classe I** : ils sont produits par les infections cytoplasmiques. Ils activent les lymphocytes TCD8 qui possèdent le récepteur CD8. Ces cellules jouent un rôle prédominant dans l'infection virale. Les CMH de classe I sont présents sur toutes les cellules nucléées de l'organisme et les plaquettes sanguines. Les hématies ne possèdent donc pas de CMH I.

- **Les CMH de classe II** : ils sont présents sur un nombre très restreint de cellules : cellules dendritiques, macrophages et lymphocytes.

Ils activent les lymphocytes TCD4 qui possèdent le récepteur CD4. Les lymphocytes T CD4 sont nommés lymphocytes auxiliaires (ou helpers). En activité, les TCD4, ceux-ci libèrent des interleukines (ou cytokines) transformant les lymphocytes B en plasmocytes sécrétant des immunoglobulines ou anticorps.

Le système immunitaire d'un organisme est un système biologique complexe constitué d'un ensemble coordonné d'éléments de reconnaissance et de défense qui distingue le soi du non-soi (cellules et protéines) et qui fonctionnent dans la synergie pour le protéger contre les envahisseurs étrangers et les matériaux toxiques nuisibles venant de l'environnement. Ce qui est reconnu comme non-soi est détruit.

Les principaux effecteurs du système immunitaire sont les cellules immunitaires appelées leucocytes (ou globules blancs) produites par des cellules souches, au sein de la moelle osseuse rouge.

Généralement, le système immunitaire peut être activé pour produire deux types de réactions immunitaires : réaction non spécifique (immunité innée) et réponse adaptative spécifique (immunité acquise).

L'immunité innée ou non-spécifique est assurée par les surfaces épithéliales, les macrophages, les cellules dendritiques, le complément, les cellules tueuses naturelles (ou NK = «natural killer»), etc.

Les anticorps ou immunoglobulines (Ig) sont des molécules ayant une forme de «Y» formées de quatre chaînes polypeptidiques : deux chaînes légères (environ 200 acides aminés chacune) et deux chaînes lourdes (environ 450 acides aminés chacune).

Les chaînes légères ont des régions constantes et des régions variables. La barre verticale du Y est constituée de deux chaînes lourdes constantes qui vont déterminer la fonctionnalité de l'immunoglobuline. Les deux barres inclinées du Y sont formées chacune d'une chaîne lourde et d'une chaîne légère, chacune ayant une partie constante et une partie variable qui est responsable de la spécificité de l'anticorps.

Chez l'espèce humaine, il existe 5 classes d'anticorps : les

- IgM : ce sont les premiers anticorps à être produits lorsque le corps reconnaît un nouvel antigène et sont très efficaces pour activer le complément ;
- IgG : ce sont les anticorps les plus fréquents dans le sang; ils peuvent traverser le placenta et donner au fœtus une immunité passive ;
- IgA : ils se trouvent dans les sécrétions de l'organisme (salive, larme, mucus, etc.) et dans le lait de la femme permettant aux nouveau-nés de recevoir une immunité passive durant la période d'allaitement ;

- IgE : ce sont des anticorps impliqués dans les réactions allergiques provoquant la libération d'histamine et d'autres substances impliquées dans ce genre de réaction par les granulocytes basophiles ;

- IgD : se fixent à la surface des lymphocytes B grâce à une région transmembranaire, servant de récepteurs cellulaires à ceux-ci.

Les anticorps assurent principalement les fonctions suivantes :

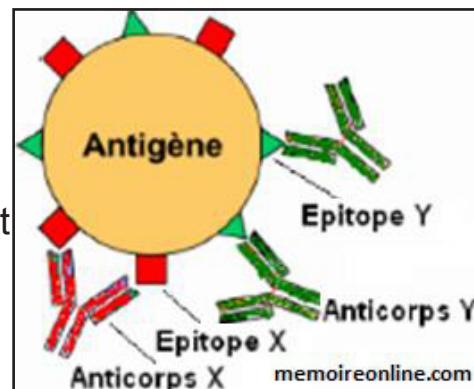
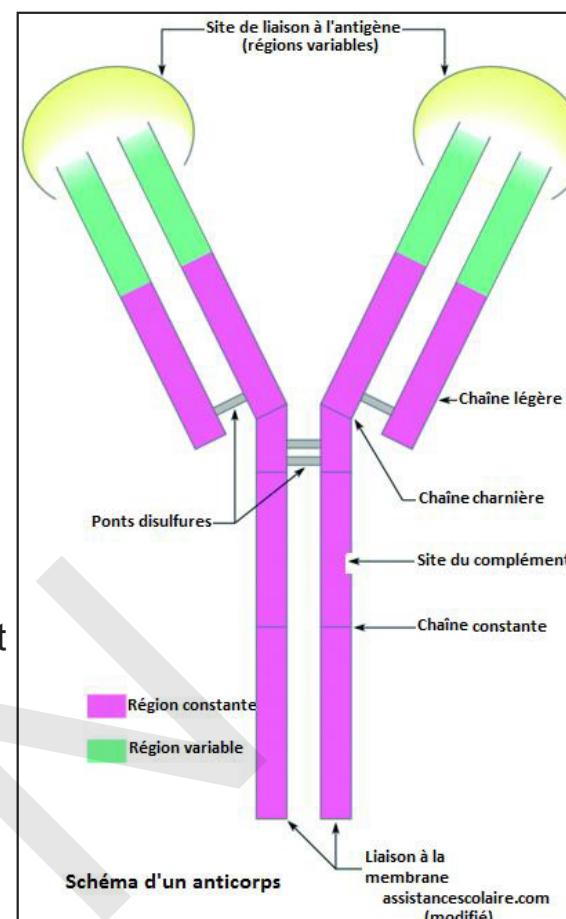
- la neutralisation et l'agglutination d'antigènes : la neutralisation est le fait d'empêcher les microbes de se lier aux cellules de l'hôte ; l'agglutination est le fait de former des agrégats de microbes qui sont facilement phagocytés ;

- l'opsonisation (recouvrement de la cellule cible pour qu'elle soit phagocytée). L'anticorps, après s'être fixé sur un agent pathogène, le présente à un macrophage pour que celui-ci le détruise ;
- l'activation du complément ;
- l'élimination d'agents pathogènes trop gros pour être phagocytés, comme un ver.

Les anticorps sont produits par les plasmocytes, issus de la différenciation terminale d'un clone de lymphocyte B.

On appelle antigène toute molécule ou corps capables de provoquer une réaction immunitaire dans un organisme. Seuls les antigènes qui déclenchent effectivement une réponse immunitaire effectrice sont appelés immunogènes. Seuls les antigènes qui déclenchent une destruction ou une maladie sont dits pathogènes.

L'anticorps est capable de se lier à un antigène comme le montre le schéma ci-contre).

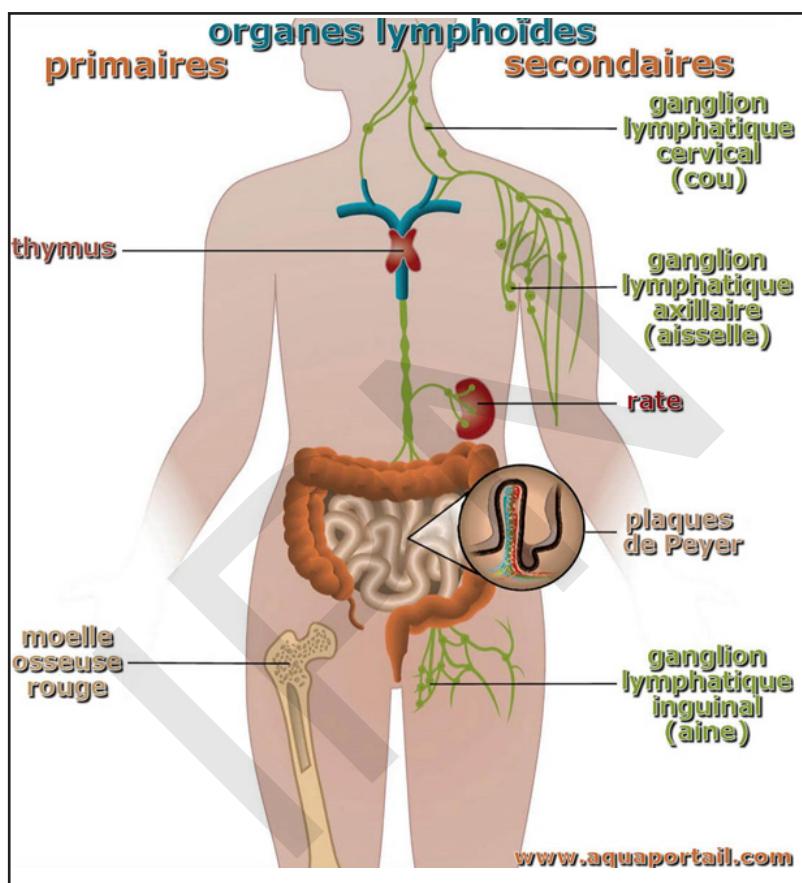


II- Organes lymphoïdes

Activité 2

Distinguer les différents types d'organes lymphoïdes, leur localisation et leurs rôles dans la défense de l'organisme.

Le schéma ci-dessous montre la répartition des organes lymphoïdes dans l'organisme humain.



Exploiter ce schéma pour classer les différentes sortes d'organes lymphoïdes en fonction de leur rôle dans la défense de l'organisme.

Les organes du système immunitaire s'appellent organes lymphoïdes. Ils ont pour rôle de produire les cellules de l'immunité, mais également d'éduquer certaines cellules de l'immunité pour qu'elles soient capables de reconnaître les substances ou molécules qui font partie de notre organisme (appelé le SOI) et les molécules ou organismes étrangers (le NON-SOI). Leur but est de fournir une immunité pour le corps.

Les deux principaux types d'organes lymphoïdes sont :

► **les organes lymphoïdes primaires ou centraux** : C'est là que les cellules du système immunitaire sont produites, par un processus appelé hémato-poïèse. C'est également le lieu de l'acquisition de l'immunocompétence des lymphocytes.

Il s'agit de la moelle osseuse rouge et du thymus.

La moelle osseuse correspond au tissu présent dans la partie centrale des os (présente au niveau des os courts et plats). Lors de la production des lymphocytes B, ces derniers avant de quitter la moelle doivent avoir acquis certaines caractéristiques comme : les chaînes légères et lourdes. Il y a au sein de la moelle osseuse une sélection négative : 90 % des lymphocytes B sont détruits. Les 10 % restant rejoindront la circulation systémique pour poursuivre leur maturation dans les organes lymphoïdes secondaires. La formation des lymphocytes T a lieu dans la moelle rouge des os mais leur sélection et leur maturation se font dans le thymus. Les cellules (futurs lymphocytes) entrent dans le thymus où il y aura apparition de leurs caractéristiques (apparition de récepteurs TCR, CD4 et CD8...) et rejoignent le cortex.

► **les organes lymphoïdes secondaires ou périphériques** : C'est dans ces organes que les cellules du système immunitaire font leur véritable travail de lutte contre les germes et les substances étrangères. Il s'agit entre autres des ganglions (ou nœuds) lymphatiques, de la rate, des amygdales, de l'appendice et certains tissus dans diverses couches de membrane muqueuse du corps (par exemple les plaques de Peyer de l'intestin grêle).

Les organes du système immunitaire comprennent la peau et les muqueuses, ainsi que les organes lymphoïdes du système lymphatique.

La rate est le plus grand organe lymphoïde secondaire. Chez l'humain, elle est située sur le côté gauche sous les côtes et au-dessus de l'estomac. La rate filtre et stocke le sang et produit des globules blancs qui combattent les infections ou les maladies.

Les ganglions lymphatiques sont répartis dans tout l'organisme, le plus souvent groupés en aires ganglionnaires. Ils jouent un rôle principal dans la réponse immunitaire car ils sont le lieu de prolifération et de différenciation des cellules immunitaires jouant le rôle de filtre de la circulation lymphatique.

Le foie est le plus grand organe solide du corps qui a non seulement des fonctions métaboliques et détoxifiantes, mais sert également d'organe lymphoïde unique. Il reçoit en permanence des antigènes de la circulation sanguine, y compris des antigènes alimentaires et du microbiote commensal, ainsi que des produits chimiques toxiques et des cellules apoptotiques.

Chez les jeunes, au cours des premières années de développement, il a été démontré que l'appendice fonctionne comme un organe lymphoïde, aidant à la maturation des lymphocytes B et à la production de la classe d'anticorps connue sous le nom d'IgA.

Les amygdales (ou tonsilles) sont des formations lymphoïdes paires, en forme d'amande, situées dans la gorge et jouant un rôle important dans les défenses immunitaires par leur localisation. En effet, elles sont situées à l'entrée des voies respiratoires sur le pourtour du pharynx. Elles sont constituées de follicules lymphoïdes situés sous un épithélium multi-stratifié non kératinisé, qui va former des invaginations appelées **cryptes**. Les follicules lymphoïdes sont, comme au niveau des ganglions lymphatiques, des zones caractérisées par la présence de lymphocytes B et sont particulièrement présents au niveau des cryptes. Entre ces follicules, on observe des nappes diffuses de lymphocytes T.

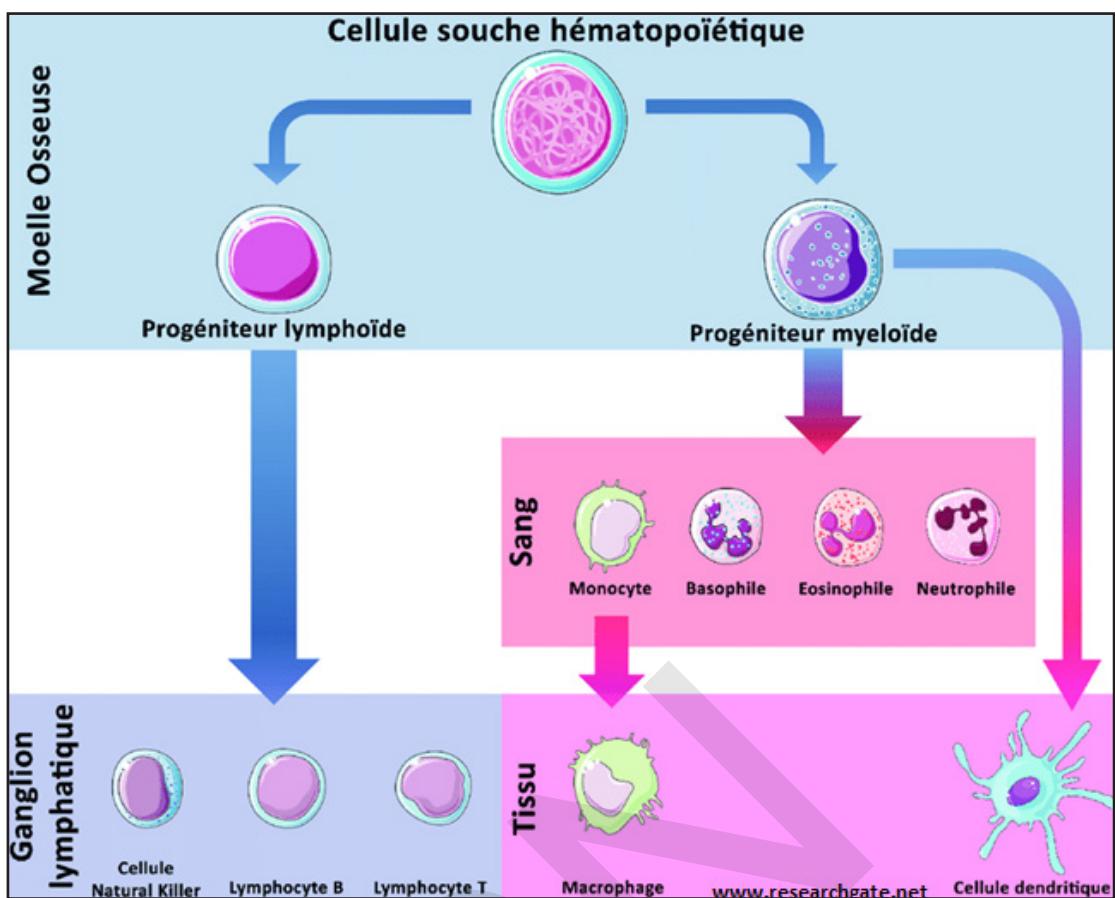
Les plaques de Peyer correspondent à des agrégats de follicules lymphoïdes primaires et follicules lymphoïdes secondaires présents au niveau de la paroi intestinale dans la partie terminale de l'intestin grêle. A la surface de l'intestin, on observe la présence de villosités qui cessent en regard des follicules au niveau des plaques de Peyer. Ces follicules sont caractérisés par la présence de lymphocytes B. Les lymphocytes T sont situés de manière plus diffuse à la périphérie des follicules.

III- Cellules immunitaires

Activité 3

Distinguer les différents types de cellules immunitaires et leurs rôles dans la défense de l'organisme.

Le schéma d'hématopoïèse qui suit, présente les principales lignées de cellules immunitaires et leur filiation (avec la lignée myélocyttaire et lymphocyttaire).



Exploiter ce schéma pour classer les différentes sortes de cellules immunitaires en fonction de leur origine puis dégager leurs rôles dans la défense de l'organisme.

Toutes les cellules du système immunitaire dérivent d'une cellule souche présente dans la moelle osseuse. Cette cellule souche donne deux lignées de cellules : la lignée lymphocytaire et la lignée myélocyttaire.

Les cellules de l'immunité non spécifique sont produites par la lignée myélocyttaire alors que les cellules de l'immunité spécifique sont produites par la lignée lymphocytaire.

Un seul type de cellule est produit par les deux lignées : la cellule dendritique.

La cellule souche multipotente donne :

- le **progéniteur lymphoïde** qui se divise en trois types de cellules :

- le progéniteur cellulaire B : Ces cellules se différencient en cellule à mémoire B et en plasmocyte qui secrète des anticorps. Ces cellules sont un composant majeur du système immunitaire non spécifique ;

- le progéniteur cellulaire T : il donne naissance aux cellules à mémoire T, aux lymphocytes T cytotoxiques et aux lymphocytes T auxiliaires. Les cellules à mémoire T ont les mêmes fonctions que les cellules à mémoire B. Les cellules cytotoxiques reconnaissent les antigènes des agents pathogènes et les détruisent. Les lymphocytes T auxiliaires secrètent des cytokines qui stimulent les cellules de la lignée B ;
- les cellules lymphocytaires tueuses (NK = Natural Killer) sont les cellules tueuses du système immunitaire spécifique. Elles détectent les cellules infectées par les virus et les détruisent. Elles font partie des grands lymphocytes granuleux. La cellule NK peut tuer les cellules cibles de manière spontanée, en faisant intervenir les molécules de classe 1 du CMH est capable de faire la différence entre une cellule saine et une cellule malade.

Elle est donc spontanément une cellule tueuse envers toutes les cellules, mais inhibée par la présence de molécule de classe 1 du CMH, d'où son nom de cellule tueuse naturelle.

NB. Les cellules dendritiques peuvent venir aussi du progéniteur lymphoïde (elles ne sont pas représentées sur le schéma précédent).

- le **progéniteur myéloïde** : cette lignée donne naissance à des cellules impliquées dans le système immunitaire non spécifique et dans le système immunitaire spécifique en produisant des cellules portant les antigènes des agents pathogènes pour les présenter aux cellules du système immunitaire adaptatif :

- Les granulocytes (polynucléaires) : ce sont des leucocytes ayant pour origine la moelle osseuse dont on distingue trois types :

Les neutrophiles sont les plus nombreux dans le sang. Ils ont un rôle principal dans la phagocytose et sont attirés sur le lieu de l'infection par les chimiokines libérées par les macrophages et les autres cellules présentes. Ils passent ainsi par diapédèse du vaisseau sanguin où ils se situent en temps normal, vers les tissus conjonctifs cibles. Contrairement aux autres cellules phagocytaires, les polynucléaires neutrophiles meurent suite à la phagocytose.

Les basophiles sont les moins nombreux et jouent un rôle essentiel dans l'allergie. En effet, lorsqu'ils rentrent en contact d'allergènes, ils déversent

le contenu de leurs granulations, dont de l'histamine qui active la réaction inflammatoire. Dans leurs granulations, on trouvera également de l'héparine qui empêchera la coagulation sanguine et qui augmentera la perméabilité des capillaires, augmentant la réaction inflammatoire et facilitant la diapédèse.

Les acidophiles (ou éosinophiles) ont une action antiparasitaire en déversant le contenu de leurs granules et jouent un rôle mineur dans l'allergie.

- les monocytes, cellules sanguines immatures de la famille des leucocytes, se différencient, une fois dans les tissus où elles résideront et seront ainsi à l'origine des macrophages et des cellules dendritiques. Les macrophages sont des cellules phagocytaires. La cellule dendritique est une cellule immunitaire présentant des expansions cytoplasmiques appelées des dendrites et présente dans l'ensemble des tissus de l'organisme, plus spécifiquement au niveau de l'épiderme et du thymus. La cellule dendritique a différents rôles dans la réponse immunitaire : elle joue le rôle de cellule phagocytaire et de cellule présentatrice d'antigène, permettant d'activer les lymphocytes (B et T) présents au niveau des organes lymphoïdes secondaires. Elle a donc un rôle principal dans l'activation de la réponse immunitaire adaptative. En effet, une fois l'antigène phagocyté et présenté, la cellule dendritique quitte son lieu de résidence et migre vers les organes lymphoïdes secondaires. Au niveau de l'épiderme, elle est capable de s'insérer entre les cellules épithéliales. Au niveau du thymus, elle joue un rôle essentiel dans le maintien de la tolérance au soi et dans la sélection négative des lymphocytes T. Durant son transport et dans le ganglion, elle coupe le microbe en morceaux compris entre 30 et 50 acides aminés. Ces morceaux vont être présentés aux lymphocytes T CD4 auxiliaires grâce au complexe majeur d'histocompatibilité de type II (CMH II). C'est la présentation de l'antigène.
- les mastocytes : c'est une variété de leucocytes jouant un rôle primordial dans les allergies. Ils sont habituellement situés au niveau des tissus conjonctifs, des poumons, des ganglions lymphatiques, de la rate et bien évidemment de la moelle osseuse où ils sont produits. Ils contiennent des granulations contenant de l'histamine, de l'héparine, de la sérotonine et des enzymes diverses. Tout comme le polynucléaire basophile, le mastocyte a donc plusieurs effets: activation et amplification de la réaction inflammatoire, diminution de la coagulation sanguine, augmentation de la perméabilité des capillaires facilitant la diapédèse.

NB. Le progéniteur myéloïde produit aussi les hématies et les plaquettes sanguines.

Les cellules du système immunitaire (globules blancs ou leucocytes) peuvent être :

- Soit des cellules qui ont la capacité de reconnaître de façon non spécifique les intrus. C'est le cas de certains globules blancs, comme les polynucléaires et les macrophages qui ont la capacité d'éliminer instantanément l'intrus en le digérant (ces cellules sont des phagocytes) empêchant la diffusion de l'agression. Les macrophages, ont également la capacité de présenter à leur surface, les produits de la digestion de l'antigène à des globules blancs spécialisés, appelés les lymphocytes.
- soit des lymphocytes spécialisés, qui ont été éduqués au cours des premiers mois de la vie pour reconnaître spécifiquement le « SOI » et le « NON-SOI » ; c'est-à-dire les substances étrangères à notre organisme (= le « NON SOI »), les « intrus », des substances appartenant à notre organisme (= le « SOI »). Il s'agit d'un mécanisme de l'immunité spécifique. Il existe deux types de lymphocytes, les lymphocytes T et les lymphocytes B.

Les cellules de l'immunité non spécifique (innée) sont capables de réagir à un phénomène sans éducation préalable. Elles réagissent à des stimuli présents sur une variété de pathogènes et indépendamment des antigènes. Il s'agit des lymphocytes NK, des granulocytes (anciennement appelés polynucléaires), des macrophages et des cellules dendritiques, qui sont les meilleures cellules présentatrices d'antigènes.

L'immunité spécifique (adaptative) met en jeu des cellules de type lymphocytes. Leur maturation dépend d'un stimulus antigénique et d'une éducation par une cellule présentatrice d'antigène. Leur activation face à une cible dépend de la présentation de l'antigène par la cellule cible. Les lymphocytes T ne sont donc capables de reconnaître que des cellules transformées (c'est-à-dire infectées par un pathogène intracellulaire, ou une cellule tumorale). Il y a deux types principaux de lymphocytes T :

- les lymphocytes TCD8 reconnaissent un antigène porté par une molécule de CMH de classe I. Ils se différencient généralement en lymphocytes cytotoxiques et produisent relativement peu de cytokines ;

- les lymphocytes TCD4 reconnaissent un antigène porté par une molécule de CMH de classe II. Leur action principale est la sécrétion de cytokines (interleukines), qui orientent et amplifient la réponse immunitaire.

On retrouve également les lymphocytes B via la diversité de leurs BCR, qui sont, parfois, capables de reconnaître l'antigène sans présentation.

IV- Réponses immunitaires non spécifiques

Activité 4

Dégager les rôles des barrières naturelles dans la réponse immunitaire non spécifique.

« Immunité passive : la barrière intestinale et les cellules résidentes de l'immunité innée.

- La peau est le premier, le plus grand et le plus important élément du système de défense : elle empêche l'entrée de la plupart des corps étrangers. Les épithéliums cutanés秘ètent des peptides antimicrobiens dès la pénétration d'un agent pathogène. Ils秘ètent aussi des cytokines et des chimiokines.

Les personnes qui perdent trop de peau, par brûlure par exemple, risquent de succomber à des infections. Pour éviter cela, elles sont placées dans des chambres hospitalières maintenues aussi stériles que possible.

- Les muqueuses (ou tissus continus) qui recouvrent les voies oro-pharyngiennes et digestives, ainsi que les voies respiratoires et urogénitales, constituent également une barrière physique. Les cellules très étroitement juxtaposées sont imperméables à la plupart des agents infectieux. En surface de certaines muqueuses, un film de mucus animé par les battements de cils vibratiles permet de fixer, enrober puis évacuer vers l'extérieur la plupart des particules ou êtres vivants intrus.
- Les cellules possèdent divers systèmes « passifs » de défense chimique et biochimique (enzymes, acides gras, acide lactique, pH du corps, etc.).
- La peau et les muqueuses sont recouvertes d'une flore bactérienne dite « normale » qui protège, souvent par concurrence, des microorganismes pathogènes. » fr.wikipedia.org.

Dégager du texte précédent les principales barrières naturelles et leurs rôles dans la défense de l'organisme.

Le système immunitaire inné fournit la première ligne de défense, qui est divisée en deux catégories - matérielles/barrages chimiques et résistance non spécifique.

Les entraves physiques, y compris la peau et les muqueuses du tube digestif et des voies respiratoires, aident à éliminer des agents pathogènes et à éviter le tissu et/ou les infections de sang. D'ailleurs, les composantes qui sont sécrétées par la peau ou des muqueuses, telles que la sueur, salive, déchirures, muqueuses, aident à fournir un barrage fondamental contre les agents pathogènes d'envahissement.

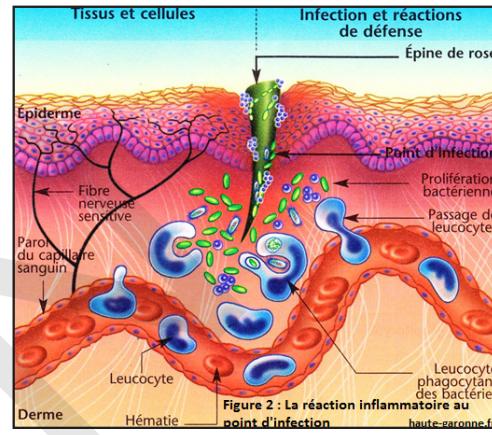
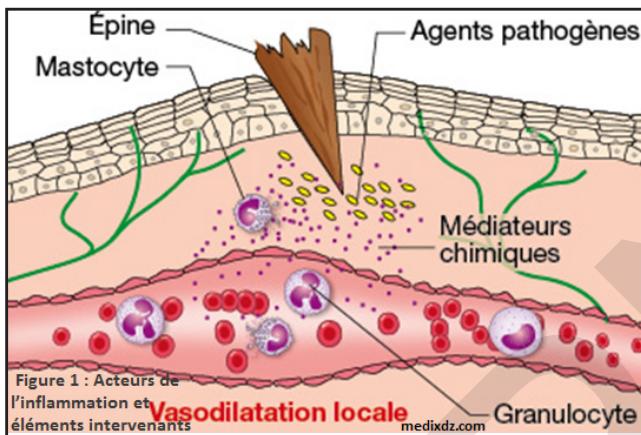
Les différentes barrières sont un obstacle à la pénétration des microorganismes dans le corps humain :

- la peau : c'est un organe qui protège efficacement l'organisme des rayonnements, des micro-organismes et des chocs. Elle est constituée de plusieurs couches kératinisées et est recouverte de sébum à l'action antibactérienne. La barrière constituée par la peau peut être franchie par des agents pathogènes lors de coupures, d'ulcération ou encore escarres.
- les muqueuses : c'est le tissu épithélial qui tapisse les cavités du corps s'ouvrant sur l'extérieur. On distingue la muqueuse buccale, digestive et vaginale. Les cellules épithéliales sécrètent le mucus, substance qui emprisonne les microorganismes et les empêche de pénétrer dans le corps.
- les humeurs : Quelques liquides acides, tels que le suc gastrique, urine, et sécrétions vaginales, détruisent des agents pathogènes en produisant les conditions de pH faible. En outre, le lysozyme trouvé en déchirures, la sueur et la salive qui agit en tant qu'antimicrobien indispensable pour détruire des agents pathogènes. La salive contient une protéine à la fonction protectrice, le lysozyme, elle détruit les bactéries ingérées avec les aliments. Cette protéine se retrouve dans les larmes.

Activité 5

Dégager les rôles de l'inflammation dans la réponse immunitaire non spécifique.

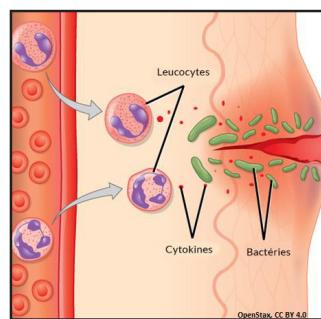
« Diverses circonstances de la vie courante peuvent entraîner une blessure: se couper en épluchant un fruit, tomber, s'introduire une échardé dans la main... En l'absence de soins immédiats, une réaction localisée autour de la plaie peut se développer. Vous ressentez une douleur, le contour de la plaie est rouge et chaud, la zone blessée est gonflée : il s'agit d'une inflammation. Il peut y avoir du pus : c'est une infection. » <http://c.coupin.free.fr>.



En exploitant le document ci-dessus (texte et figures), expliquer l'inflammation comme réaction de défense non spécifique de l'organisme.

Exploitation du document : Si un agent pathogène entre dans le corps, des défenses secondaires non spécifiques entrent en action. Le système immunitaire inné (non spécifique) est déclenché par des récepteurs cellulaires reconnaissant des structures moléculaires uniques aux agents pathogènes ou par des molécules signifiant les dégâts. Cette réaction immunitaire innée concerne en grande partie des cellules immunitaires et des protéines non spécifiques pour identifier et éliminer n'importe quel agent pathogène qui entre dans le fuselage.

Une réponse inflammatoire s'enclenche quand un agent pathogène stimule une augmentation du flux sanguin dans la zone infectée. Les vaisseaux sanguins de cette région s'étendent et les globules blancs quittent les vaisseaux pour envahir le tissu infecté. Ces globules blancs, appelés phagocytes, engloutissent et détruisent les bactéries. La zone peut alors gonfler, devenir rouge et douloureuse.



Lorsqu'un agent pathogène a pénétré dans le corps, le système immunitaire peut également libérer des substances chimiques qui augmentent la température du corps, produisant de la fièvre. Une augmentation de la température du corps peut ralentir ou empêcher les agents pathogènes de croître et accélérer la réponse immunitaire.

L'inflammation est un mécanisme naturel de survie de l'organisme qui indique généralement que le corps combat une maladie ou répare des tissus endommagés. C'est un processus de défense de l'organisme dont le but est de neutraliser, de combattre ou d'éliminer l'agent pathogène en cause et de préparer à la réparation des tissus. C'est une réaction locale. L'inflammation est la barrière première de la réponse immunitaire (réponse immunitaire innée) et qui active par la suite la réponse immunitaire secondaire (réponse immunitaire adaptative).

De nombreuses cellules immunitaires différentes peuvent prendre part à une inflammation. Elles libèrent différentes substances, les médiateurs inflammatoires, dont notamment, les hormones tissulaires bradykinine et l'histamine.

Ces médiateurs inflammatoires provoquent l'expansion des vaisseaux sanguins "étroits" dans le tissu, permettant à plus de sang d'atteindre le tissu blessé. Pour cette raison, la zone enflammée devient rouge et chaude. D'autres cellules de défense sont également transportées avec le sang au niveau du tissu blessé, et ce afin de faciliter le processus de guérison. Les deux hormones peuvent également irriter les nerfs et provoquer des signaux de douleur à envoyer au cerveau. Si l'inflammation fait mal, vous favorisez habituellement la partie affectée du corps.

Les médiateurs inflammatoires ont encore une autre fonction : ils augmentent la perméabilité des vaisseaux étroits, et permettent de transporter davantage de cellules de défense dans le tissu affecté. Les cellules de défense portent également plus de liquides dans le tissu enflammé, c'est pourquoi il se gonfle souvent.

Les muqueuses libèrent également plus de liquide pendant l'inflammation. Cela se produit par exemple lorsque vous avez le nez bouché et que les muqueuses nasales sont enflammées. Les sécrétions nasales peuvent alors aider à éliminer

rapidement les virus hors du corps. Les agents responsables de l'inflammation sont multiples et représentent souvent les agents pathogènes. Ils déterminent des lésions cellulaires ou tissulaires qui vont déclencher l'inflammation : causes physiques (traumatisme, chaleur, froid, rayonnement, courant électrique), trophiques (par défaut de vascularisation), chimiques (acides, bases, corps étrangers exogènes ou endogènes) et infectieuses (germes, bactéries, virus, parasites, champignons)

Les différentes phases de l'inflammation se résument comme suit :

- Phase vasculaire:

- Vasodilatation avec augmentation du débit sanguin dans la microcirculation qui irrigue la région lésée : chaleur, rougeur.
- La perméabilité vasculaire augmente et les liquides plasmatiques se répandent dans les tissus : œdème, douleur, incapacité fonctionnelle.

- Phase cellulaire :

- Cette perméabilité vasculaire facilite l'évacuation des leucocytes hors des vaisseaux sanguins, c'est la diapédèse.
- Les leucocytes vont donc migrer vers le siège de la lésion où ils englobent les agents pathogènes et éliminent les débris cellulaires, c'est la phagocytose.

- Réparation des tissus :

La cicatrisation débute quand les débris cellulaires ont été éliminés et se fait soit par:

- ▶ régénération : prolifération de cellules de même types que les cellules détruites;
- ▶ ou remplacement : le remplacement par des cellules d'un autre type comme les cellules conjonctives ce qui entraîne une cicatrice.

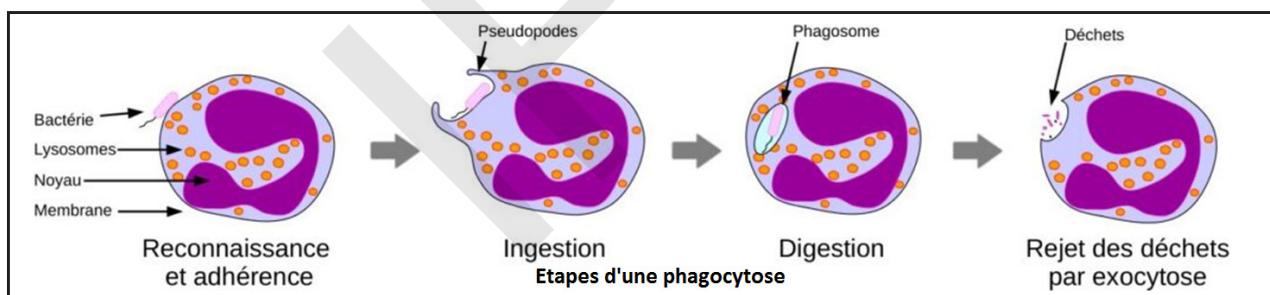
Sur le plan général, l'inflammation se manifeste par la fièvre qui est due à la libération de pyrogène. Les pyrogènes sont des substances qui provoquent de la chaleur.

Activité 6

Dégager les rôles de la phagocytose dans la réponse immunitaire non spécifique.

« Mechnikov et les phagocytes

Il ya Ilyich Mechnikov découvrit le phénomène de phagocytose dans un laboratoire privé à Messine (Sicile, Italie) en poursuivant son travail d'embryologie comparative. Il observait chez des larves d'étoile de mer (Echinodermes) les cellules mobiles, impliquées selon lui dans la défense de l'organisme contre les agents pathogènes. Pour tester son hypothèse, il introduisit des morceaux d'épines prélevées sur un oranger (tangarine) qui avait servi d'arbre de Noël à ses enfants. Le lendemain, il observa que les épines étaient entourées de cellules mobiles. Cela lui rappela que, lors de l'inflammation induite par une infection, chez les animaux à circulation fermée, les globules blancs quittent les vaisseaux. Il postula que ces leucocytes extravasés sont l'équivalent des cellules mobiles chez l'échinoderme et servent donc à détruire les bactéries introduites par l'infection. »



En exploitant le document ci-dessus (texte et figure), expliquer la phagocytose comme réaction de défense non spécifique de l'organisme.

Lorsqu'un microorganisme franchit la peau ou les muqueuses, il attire des cellules phagocytaires sanguines sur les lieux de la contamination. Ces cellules interceptent toutes sortes de particules, y compris les germes pathogènes, les ingèrent puis les détruisent en les digérant. Cette réaction d'élimination des agents infectieux est appelée phagocytose et suffit le plus souvent à prévenir toute infection. Parce qu'elle n'est pas spécialement orientée vers un micro-organisme particulier, elle est qualifiée de réponse immunitaire non spécifique.

Au début, les phagocytes identifient et grippent des agents pathogènes puis utilisent la membrane plasmique pour les entourer et les engloutir à l'intérieur de la cellule (formation de pseudopodes). Comme résultat, un compartiment interne indépendant (phagosome) est produit ainsi qu'un autre type de compartiment cellulaire appelé lysosome. Les lysosomes intérieurs actuels d'enzymes digestives détruisent finalement des agents pathogènes en les divisant en éclats.

La digestion des agents pathogènes à l'intérieur d'un phagosome produit les matériaux non digestibles et les éclats antigéniques. Les matériaux non digestibles sont éliminés par exocytose. Cependant, les éclats antigéniques présents à la surface des phagocytes, qui sont par la suite identifiés et détruits par les cellules T cytotoxiques.

De plus, des protéines du complément sont activées et recrutent à leur tour plus de globules blancs (neutrophiles, éosinophiles et basophiles) au site de l'infection, menant à une réaction inflammatoire (gonflement, inflammation, douleur).

Si le système inné n'arrive pas à contenir l'infection, la cellule dendritique va se diriger vers un ganglion lymphatique par les canaux lymphatiques. Elle va se maturer au cours du voyage. Dans le ganglion, elle présentera à la cellule TCD4 auxiliaire de petits morceaux de 30 à 40 acides aminés de la bactérie phagocytée (déterminants antigéniques). Cette présentation de l'antigène se fait par son CMH de classe II.

Les phagocytes ou cellules phagocytaires sont les macrophages, les cellules dendritiques et les polynucléaires. Ces cellules sont trouvées dans les tissus et le sang.

NB. Autres moyens de défense non spécifique :

- Le système du complément : Le système du complément est un composant du système immunitaire inné qui joue un rôle clé dans l'élimination des pathogènes et dans l'homéostasie. C'est un groupe d'environ 50 protéines connues du sérum, faisant partie de l'immunité innée. Douze (12) de ces protéines sont directement impliquées dans les mécanismes d'élimination des pathogènes, les autres régulent finement l'activité des premières afin d'éviter une réaction auto-immune (réaction contre le soi).

Il correspond donc à une cascade d'enzymes participant à la défense de l'organisme contre l'infection. Le système du complément relie l'immunité innée et acquise :

- ▶ Augmentation de la réponse Anticorps et de la mémoire immunologique ;
- ▶ Lyse des cellules étrangères ;
- ▶ Elimination des complexes immuns.

- Les **interférons** (ou **IFN**) : ce sont des glycoprotéines de la famille des cytokines produites suite à une infection virale, par les cellules du système immunitaire, mais également par d'autres types cellulaires (cellules dendritiques, mononucléées, épithéliales, etc.) en fonction des sous types. En se fixant sur leurs cellules cibles, ces cytokines déclenchent chez celles-ci diverses réactions permettant la mise en place d'un état de résistance aux virus.

Les interférons, ont comme mission de jouer le rôle de messager au sein du système immunitaire, dans le but d'organiser la défense de l'organisme face à une agression.

De manière générale, l'immunité non spécifique (innée ou naturelle) a les caractéristiques suivantes :

- ▶ Elle est non spécifique, donc polyvalent ;
- ▶ Elle existe avant tout contact avec l'agent infectieux : sa mise en œuvre est donc immédiate (immunité innée) ;
- ▶ Quel que soit l'agent infectieux rencontré (bactérie, virus, parasite), le mode d'action est le même : c'est la phagocytose qui est initiée et entretenue par la réaction inflammatoire (elle est stéréotypée).

JE RETIENS

L'immunité est l'ensemble de moyens et de mécanismes utilisés par l'organisme pour se protéger contre des agents environnementaux qui lui sont étrangers.

- L'immunologie est la science qui s'intéresse à l'étude de l'immunité.
- Le soi désigne la somme de tous les constituants (organes, cellules, protéines, etc.) de l'organisme.
- Le non soi est l'ensemble de molécules différentes du soi qui, présentes dans l'organisme, peuvent déclencher des réponses immunitaires.
- Le complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) : ce sont des glycoprotéines, situées sur la membrane plasmique de toutes les cellules sauf les hématies.

On distingue deux sortes de CMH : **CMHI** et **CMHII** :

- CMHI : se situe sur la membrane de toutes les cellules nucléées.
- CMHII : se situe sur la membrane de quelques cellules immunitaires (leucocytes).

HLA (Human Leucocyte Antigen) est le CMH chez l'espèce humaine.

- L'antigène est tout corps étranger qui peut déclencher une réaction immunitaire.
- L'épitope (déterminant antigénique) est une partie d'un antigène reconnue par un récepteur situé sur un lymphocyte.
- Les anticorps sont des protéines spécialisées appelées immunoglobulines (Ig) en forme d'Y qui identifie les antigènes pour la destruction et sont secrétées par les plasmocytes provenant de la différenciation des LB. On distingue 5 classes d'anticorps chez l'espèce humaine : IgA, IgD, IgE, IgG et IgM.

Ils assurent la neutralisation de l'antigène par la formation du complexe immun (Ag-Ac), l'activation du complément et l'aide à la phagocytose.

Les organes immunitaires ou lymphoïdes sont :

- **Les organes primaires ou centraux** : moelle osseuse (lieu de naissance de toutes les cellules immunitaires et des globules rouges) et le thymus (lieu de maturation des LT).

► **Les organes secondaires ou périphériques** : la rate, les ganglions lymphatiques, les amygdales et les plaques de Payer...

La maturation des cellules T et B en lymphocytes reconnaissant les antigènes se déroule dans les organes lymphoïdes primaires ou organes lymphoïdes centraux. Une fois des lymphocytes sont générés dans les organes lymphoïdes principaux, ils migrent vers les organes et tissus lymphoïdes secondaires où ils sont stimulés par les antigènes pour se diviser et se différencier davantage.

Les globules blancs (ou leucocytes) sont les cellules de l'immunité. Certains ont une action non spécifique (comme les macrophages, les granulocytes) et d'autres une action spécifique (comme les lymphocytes).

► **Les granulocytes ou polynucléaires** : dont on distingue les neutrophiles (phagocytose des bactéries), les éosinophiles (destruction des vers parasites) et les basophiles (libération de médiateurs chimiques) ;

► **Les monocytes** : se transforment en macrophages et cellules dendritiques qui assurent la phagocytose et présentent l'antigène aux cellules immunitaires ;

► **Les macrophages** : d'origine sanguine, ils proviennent de la transformation du monocyte. Les macrophages possèdent trois fonctions principales: phagocytose (ingestion de bactéries, levures, débris cellulaires...), activité de sécrétion (cytokines...) et coopération cellulaire (c'est une cellule présentatrice d'antigènes, relation avec les lymphocytes). Ce sont donc des acteurs de l'immunité innée, puisqu'ils phagocytent des éléments non spécifiques. Ils sont attirés vers le lieu d'une inflammation par chimiotactisme.

► **Les cellules dendritiques** : elles dérivent aussi des monocytes et sont des cellules présentatrices d'antigènes. Leur rôle est de capturer un microbe au site d'infection, de migrer vers les tissus lymphoïdes et de présenter les antigènes du microbe aux lymphocytes T à l'aide d'une molécule de CMH. Ce type de molécule joue un rôle très important dans la réaction immunitaire primaire.

► **Les lymphocytes B** : produits dans la moelle osseuse, ils se différencient en plasmocytes, producteurs d'anticorps et en LBm qui mémorisent l'antigène.

► **Les lymphocytes T** : produits dans la moelle osseuse, ils acquièrent leur immunocompétence dans le thymus. On en distingue :

- ◆ Les LT4 qui activent le développement et la différenciation de LB et LT8;
- ◆ Les LT8 qui se différencient en LTm (qui mémorisent l'antigène) et LTc qui produisent les substances toxiques (perforine) effecteurs de la RIMC;

- ◆ Les LTS (LT suppresseurs) qui inhibent la réponse immunitaire en cas de besoin.

Les LT4 expriment le marqueur de surface CD4 alors que les LT8 expriment le marqueur de surface CD8.

► **Les cellules tueuses naturelles** (cellules NK) ou grands lymphocytes granuleux sont capables de reconnaître les cellules tumorales et les cellules infectées par des virus qui ont tendance à afficher des changements sur leurs surfaces cellulaires. Ils sont localisés dans les tissus pouvant être soumis à des infections ou à une accumulation de débris à éliminer (foie, poumons, ganglions lymphatiques, rate...).

► **Les mastocytes** : cellules provenant de la moelle osseuse et présentes dans les tissus conjonctifs et les muqueuses riches en granules contenant des médiateurs. L'inflammation est un ensemble des réactions qui se produisent au point de l'organisme irrité par un agent pathogène. La réaction inflammatoire est déclenchée par des substances chimiques dont l'histamine libérées par les plaquettes, les mastocytes ainsi que par les cellules du tissu lésé. Les quatre symptômes de la réaction inflammatoire sont : la rougeur, la douleur, l'œdème et la chaleur.

La rougeur s'explique par la vasodilatation des capillaires sanguins, l'œdème par le flux de plasma vers les tissus et la chaleur par l'action des phagocytes.

La phagocytose est une réaction non spécifique où un phagocyte va ingérer et digérer une particule (bactérie). Les phagocytes peuvent être des monocytes, des polynucléaires neutrophiles ou des macrophages. Cette réaction se déroule en quatre phases :

- phase d'adhésion : adhésion de la bactérie sur la surface du phagocyte
- phase d'ingestion (englobement) : émission de pseudopodes et formation d'un phagosome (vésicule contenant la particule à détruire).
- phase de digestion : le phagosome fusionne avec un lysosome, la bactérie est détruite par l'action des lysozymes et de H_2O ;
- phase de rejet des débris par exocytose.

L'immunité non spécifique est polyvalente, immédiate, innée et stéréotypée.

JE M'EXRCE

Exercice 1 :

Recopier la (ou les) bonne(s) réponse(s).

1- Une réaction inflammatoire s'accompagne de :

- A- 1 symptôme.
- B- 2 symptômes.
- C- 3 symptômes.
- D- 4 symptômes.

2 -Les cellules de l'immunité sont :

- A- les globules rouges.
- B- les globules blancs.
- C- les médiateurs de l'immunité.
- D- les ganglions lymphatiques.

3- Le système immunitaire est un système :

- A- de défense.
- B- de défense, de reconnaissance et de réactions.
- C- de reconnaissance, de réactions et de défense.
- D- de réactions, de défense et de reconnaissance.

4- L'immunité innée repose sur des mécanismes de reconnaissance et d'action qui :

- A- sont génétiquement héréditaires.
- B- ne sont pas conservés au cours de l'évolution.
- C- n'interviennent pas immédiatement lors d'une infection par exemple.
- D- sont spécifiques des bactéries.

5- La phagocytose :

- A- se déroule uniquement lors de l'immunité innée.
- B- se déroule uniquement lors de l'immunité adaptative.
- C- se déroule lors de l'immunité innée et adaptative.
- D- les trois réponses sont fausses.

6- Le thymus est peuplé de cellules immunocompétentes parmi lesquelles on trouve :

- A- LT CD4- CD8.
- B- Cellules dendritiques.
- C- Eosinophiles.
- D- Mastocytes.

7- Un antigène est :

- A- une molécule étrangère qui provoque une réaction du système immunitaire.
- B- une protéine qui permet la défense de l'organisme.
- C- une cellule de l'organisme contenant un microorganisme.
- D- une bactérie ou un virus.

8- Les leucocytes sécrétateurs d'anticorps sont :

- A- les cellules phagocytaires.
- B- Les plasmocytes.
- C- les lymphocytes T4.
- D- les lymphocytes T cytotoxiques.

9- Un anticorps est une protéine capable de...

- A- se lier à n'importe quel antigène.
- B- se lier à un antigène spécifique.
- C- neutraliser des antigènes dans le milieu extracellulaire.
- D- détruire une cellule infectée par un micro-organisme étranger.

10- La molécule d'anticorps est composée...

- A- d'une chaîne légère et une chaîne lourde.
- B- de deux chaînes légères et deux chaînes lourdes.
- C- uniquement de deux chaînes légères.
- D- uniquement de deux lourdes.

11- Sélectionnez la bonne affirmation :

- A- Les chaînes H et L possèdent toutes deux des zones hypervariables.
- B- Les chaînes H et L possèdent toutes deux des zones invariables.
- C- Les chaînes L d'un anticorps sont toutes constantes.
- D- Les chaînes H d'un anticorps sont toutes constantes.

12- Un Lymphocyte T8 se différencie en:

- A- lymphocyte cytotoxique.
- B- lymphocyte T4.
- C- plasmocyte.
- D- granulocyte.

13- L'immunité innée est assurée par :

- A- les cellules phagocytaires très rapidement mobilisées lors de l'entrée d'un antigène.
- B- des mécanismes qui ne deviennent efficaces qu'après un premier contact avec l'antigène.
- C- des lymphocytes activés.
- D- des anticorps.

Exercice 2

Le texte ci-dessous comprend un certain nombre de vides à remplir. Recopie les chiffres qui correspondent aux vides du texte et après chaque chiffre, écris le mot ou groupe de mots qui convient.

Le système immunitaire comprend :

Les ...(1)... : ce sont les leucocytes ou globules blancs (Lymphocytes et les phagocytes)

Les ...(2)... : thymus, moelle osseuse, ganglions et rate.

Parmi ces derniers on distingue :

- les ...(3)... : thymus moelle osseuse ;
- les ...(4)... : amygdales, ganglions et rate.

Exercice 3

Recopie le mot ou groupe de mots intrus dans chacune des listes a et b.

Liste a: Moelle rouge des os – ganglions lymphatiques – moelle épinière – thymus – rate.

Liste b : Leucocyte -- phagocyte -- lymphocyte -- hématie.

Exercice 4

Chez un malade atteint d'une angine, le médecin constate une inflammation importante de la gorge ainsi qu'un gonflement des ganglions lymphatiques au niveau du cou.

Par ailleurs une analyse de sang montre une augmentation évidente du nombre de leucocytes (voir tableau ci-dessous) :

Evolution du nombre de leucocytes	Lymphocytes	Phagocytes	Total des leucocytes
Nombre de cellules/mm ³ Sujet non malade	1900	5100	7000
Nombre de cellules/mm ³ Sujet atteint d'une angine	2100	13200	15300

1-Décrire l'évolution du nombre de leucocytes.

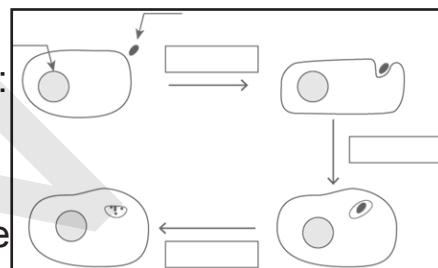
2-Expliquer les résultats obtenus.

Exercice 5

Compléter le schéma de la phagocytose ci-contre :

Exercice 6

Pour maintenir son intégrité, l'organisme développe un ensemble de réactions qui lui permettent de se défendre contre les agressions microbiennes et d'assurer son immunité.

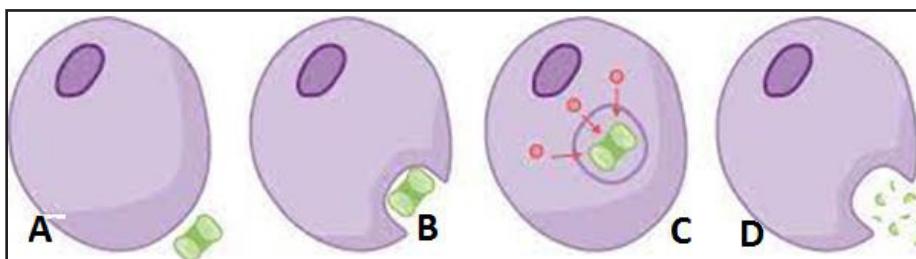


1- Précise le type de réponse immunitaire auquel appartient la phagocytose.

2- Rappelle les différentes étapes de la phagocytose.

3 - « Après une contamination, certains leucocytes du système immunitaire, appelés phagocytes, quittent le sang pour se rendre à l'endroit où les microorganismes ont pénétré et se multiplient. Une fois sur place, ils entrent en contact avec les microorganismes : on parle alors d'adhérence. Puis les phagocytes englobent les microorganismes avec leur membrane, c'est l'ingestion. Une fois les microorganismes piégés, ceux-ci sont digérés par des substances appelées enzymes dans de petites poches. Enfin, le phagocyte expulse les déchets issus de la digestion des microorganismes.»

Repérez dans le texte le vocabulaire qui permet de compléter le schéma ci-contre.



Exercice 7

Dans le déroulement de la réponse immunitaire, participent plusieurs organes, cellules et substances.

- 1- Soit la liste A suivante : rate, ganglions lymphatiques, peau, thymus, moelle osseuse, muqueuse.

Recopie, puis remplis le tableau suivant à partir de cette liste :

Barrières naturelles	Organes Lymphoïdes primaires	Organes lymphoïdes secondaires

- 2- Soit la liste B : lymphocytes, macrophages, polynucléaires.

Indique les rôles essentiels de chacune des cellules dans la réponse immunitaire.

Exercice 8

A la suite d'une blessure au doigt, on observe les faits suivants :

- La région entourant la plaie rougit et devient douloureuse.
- La guérison peut survenir après quelques jours mais parfois il se forme un abcès contenant du pus.

L'observation au microscope d'une goutte de pus montre de très nombreuses bactéries et des polynucléaires.

- 1) Explique la présence de bactéries et leur abondance.
- 2) Les polynucléaires contiennent des bactéries.
 - a) Explique leur présence à l'intérieur des polynucléaires.
 - b) Rappelle le phénomène dont il s'agit.
- 3) A partir de la plaie, les bactéries peuvent envahir tout l'organisme. Rappelle le nom que porte cette infection.
- 4) Le tétanos est une maladie mortelle caractérisée par une contraction permanente de tous les muscles, ce qui entraîne notamment l'arrêt des mouvements respiratoires.

Dans ce cas, on ne trouve les bactéries du tétanos qu'au niveau de la plaie.

Rappelle le nom de ce type d'infection microbienne.

Exercice 9

Les ganglions lymphatiques représentent une « ligne de défense » importante de l'organisme, notamment contre les agressions microbiennes.

En cas d'infection d'une plaie au niveau d'un membre inférieur, on observe un gonflement des ganglions situés dans la région de l'aine.

De même en cas d'infection de membres supérieurs, ce sont les ganglions de l'aisselle qui gonflent et deviennent douloureux.

1- Explique ces gonflements.

2- Rappelle le rôle des ganglions.

Exercice 10

1- Relier chaque cellule de la colonne A à son rôle de la colonne B

Colonne A : Cellules	Colonne B : Rôles
1-Plasmocyte	a- Lyse des antigènes et des cellules infectées
2-Macrophage	b- Phagocytose
3- Lymphocytes T cytotoxique	c- Sécrétion d'anticorps

2- Relever l'intrus avec le mot souligné dans les suites des mots suivants:

• Suite 1 = plasmocyte- neurone- cellule immunitaire – lymphocyte T4 – lymphocyte T8 granulocyte – lymphocyte B.

• Suite 2 = macrophage- phagocytose - globule rouge - granulocyte – réponse non spécifique.

3- Faire correspondre les éléments de la colonne A à ceux de la colonne B.

A : Cellules immunitaires	B : Réponse immunitaire
1- Phagocytes	a- à médiation cellulaire
2- Plasmocytes	b- à médiation humorale
3- Lymphocytes T4	c- non spécifique
4- Lymphocytes T8	

J'approfondis mes connaissances

Document 1 : «Le système du complément

Une épée à double tranchant dans la progression tumorale

Résumé

Le système du complément est un composant du système immunitaire inné qui joue un rôle clé dans l'élimination des pathogènes et dans l'homéostasie. Par ses propriétés, ce système a longtemps été considéré comme participant à la réponse anti-tumorale. Cependant, de récentes études ont permis de repositionner le complément en révélant ses effets pro-tumoraux, plus particulièrement des anaphylatoxines C3a et C5a, dans une grande variété de cancers. Ces protéines agissent en effet à différents niveaux de la progression tumorale, que ce soit au sein des cellules tumorales, sur l'angiogenèse ou sur le microenvironnement immunitaire. [...].

Le système du complément (SC) a été découvert à la fin des années 1890. Il est alors décrit comme un composant thermolabile du sérum, qui possède des propriétés antimicrobiennes, capable de complémenter l'action des anticorps. Depuis, les connaissances ont évolué et il est désormais établi que ce système fait partie intégrante du système immunitaire inné. Le SC fait référence à un ensemble de protéines sériques qui jouent un rôle primordial dans l'immunité innée : elles permettent à l'hôte de se défendre contre les pathogènes ; elles participent à l'élimination de ses propres cellules en condition d'apoptose. A la surface des cellules apoptotiques ou du pathogène, le système du complément peut être activé en cascade selon trois voies : la voie classique, la voie des lectines ou la voie alterne [...]. Ces trois voies convergent pour aboutir à l'activation de la protéine C3 (C pour complément) avec pour résultat la formation du complexe d'attaque membranaire (CAM). Le CAM est à l'origine de la lyse des pathogènes ou de l'activation de certaines cellules de l'hôte. En dehors de leur action directe, chacune de ces voies peut induire des réponses inflammatoires et moduler les réponses immunitaires innée et adaptative conduisant ainsi à l'élimination des pathogènes, des complexes immuns et des cellules apoptotiques. [...].

Conclusion

Les études récentes que nous rapportons ont permis de repositionner le rôle du système du complément dans la progression tumorale et révèlent son importante implication dans de nombreux cancers. Elles pourraient conduire à l'identification de nouveaux biomarqueurs diagnostiques ou pronostiques ainsi qu'à de nouvelles cibles thérapeutiques. Le complément ayant des effets divergents selon les types de cancer, il reste néanmoins essentiel de considérer le type de tumeur afin de développer ces stratégies. ».

Marie Daugan, Remi Noe, Wolf Herman Fridman, Catherine Sautes-Fridman et Lubka T. Roumenina
in Le système du complément-médecine/sciences : www.medecinesciences.org

Document 2 : «Interféron: nouveau médicament du Covid, c'est quoi?

[...].

Médicament, protéines : c'est quoi l'interféron ?

Les interférons sont des protéines naturellement fabriquées par les cellules de l'organisme en réponse à une agression par un agent pathogène (virus, bactérie, parasite, cellule tumorale...). Elles activent les macrophages - des cellules du système immunitaire - et permettent donc d'une part de stimuler les défenses immunitaires et d'autre part d'inhiber la prolifération des cellules infectées ou tumorales. Les personnes qui présentent un déficit d'interférons peuvent se voir administrer des interférons produits industriellement dans le cadre d'un traitement de la sclérose en plaques ou des cancers par exemple. La prise d'interférons sous forme de médicaments permet de compenser le manque d'interférons chez certaines personnes. Il existe deux types d'interférons :

- ▶ interféron de type I (alpha et bêta), qui ont une action antivirale et antitumorale. Dans le cadre de la Covid-19, ce sont principalement les interférons de type I qui sont étudiés.
- ▶ interféron de type II (gamma), qui ont une action immune.

Quelles sont ses indications ?

L'interféron est indiqué dans le traitement de :

- ▶ Certains cancers : cancer du rein, leucémie, lymphome, mélanome, myélome (interféron alpha)

- ▶ Hépatite B (interféron alpha)
- ▶ Hépatite C (interféron alpha)
- ▶ Sarcome de Kaposi associé au Sida (interféron alpha)
- ▶ Tumeurs carcinoïdes (interféron alpha)
- ▶ Sclérose en plaques (interféron bêta)
- ▶ Infections graves en cas de granulomatose septique chronique (interféron gamma)
- ▶ Infections graves en cas d'ostéopétrose maligne sévère (interféron gamma)

Que sait-on de son efficacité contre la Covid-19 ?

[...]. L'interféron fait encore l'objet d'études cliniques. Il est actuellement testé dans le cadre d'un protocole très encadré englobant des personnes à risques de développer une forme grave de la Covid-19. [...]. Les interférons ont une action antivirale, antitumorale et anti-proliférative. Dans le détail, ces protéines sont capables d'activer la synthèse de certaines enzymes capables d'inhiber la réplication d'un virus ou d'une cellule infectée. En parallèle, elles activent l'immunité en augmentant la capacité des antigènes.

Plusieurs études ont montré le lien entre un déficit en interférons et un surrisque de développer une forme grave de la Covid-19. En septembre 2020, des chercheurs de l'Inserm ont tenté de savoir pourquoi la réponse individuelle à l'infection par le virus SARS-CoV2 variait autant d'une personne à l'autre. Selon leurs travaux publiés dans la revue Science le 23 octobre 2020, les chercheurs ont pu identifier les premières causes génétiques et immunologiques expliquant 15 % des formes graves de Covid-19. «Ces malades ont un point commun : un défaut d'activité des interférons de type I, molécules du système immunitaire qui ont normalement une puissante activité antivirale», indiquent les chercheurs qui ont pu montrer que :

Chez 3 à 4% des formes graves, une anomalie génétique diminuerait la production des interférons.

Chez 10 à 11% des formes graves, une maladie auto-immune bloquerait l'action des interférons.

Et «quel que soit leur âge, les personnes porteuses de ces mutations sont plus à risque de développer une forme potentiellement mortelle de Covid-19», précisent les chercheurs. La prise précoce d'interférons de type I chez ces patients pourrait ainsi être une piste thérapeutique. «Ces médicaments sont disponibles depuis plus de 30 ans et sans effets secondaires notables s'ils sont pris pendant une courte période», poursuivent-ils.

L'essai clinique européen DISCOVERY, coordonné par l'Inserm dans le cadre du consortium Reacting, étudie actuellement cinq modalités de traitement dont l'interféron béta, pris en association avec le lopinavir et le ritonavir. L'essai clinique SOLIDARITY de l'Organisation mondiale de la Santé inclut également l'interféron dans ses recherches. Selon les résultats provisoires publiés le 15 octobre 2020, les quatre options de traitement étudiées (remdésivir, hydroxychloroquine, lopinavir/ritonavir et interféron) se sont révélées n'avoir que peu ou pas d'effet sur la mortalité globale, la mise en route de la ventilation et la durée du séjour à l'hôpital chez les malades hospitalisés. De nouvelles combinaisons thérapeutiques vont prochainement être ajoutées à l'essai. Les résultats définitifs n'ont pas encore été publiés. [...].

Quels sont les effets secondaires ?

Les traitements par interférons peuvent engendrer certains effets secondaires comme:

- ▶ Des problèmes cutanés (rougeurs, indurations, nécroses...)
- ▶ Un syndrome «pseudo-grippal» : fièvre, courbatures, fatigue, maux de tête, frissons... Habituellement, ce syndrome pseudo-grippal disparaît en moyenne après trois mois de traitement.

Quelles sont les contre-indications ?

Ces traitements sont contre-indiqués lors de la grossesse et de l'allaitement. En cas de projet de grossesse , il faut en parler à son médecin. ».

Anaïs Thiébaut in Interféron : nouveau médicament du Covid, c'est quoi ? <https://sante.journaldesfemmes.fr>.

J'utilise mes connaissances

Projet de classe :

A la fin du chapitre 3, les élèves en sous-groupes préparent un compte rendu d'une recherche sur le système immunitaire : faire une recherche documentaire ou auprès de personnes ressources, rédiger un compte rendu et le présenter aux élèves de la classe.

S'informer auprès du professeur de Français (pour le langage scientifique adapté), de Chimie (pour la composition des molécules), du biologiste ou du médecin.

- **Groupe 1 :** Compte rendu au sujet : Qu'est-ce qui peut déclencher une maladie du système immunitaire ?
- **Groupe 2 :** Préparer une fiche métier d'immunologue (Activités, compétences, formation, carrière).

CONSTITUANTS FONDAMENTAUX DE LA MATIÈRE VIVANTE

J'ÉDÉCOUVRE

I-Constituants fondamentaux

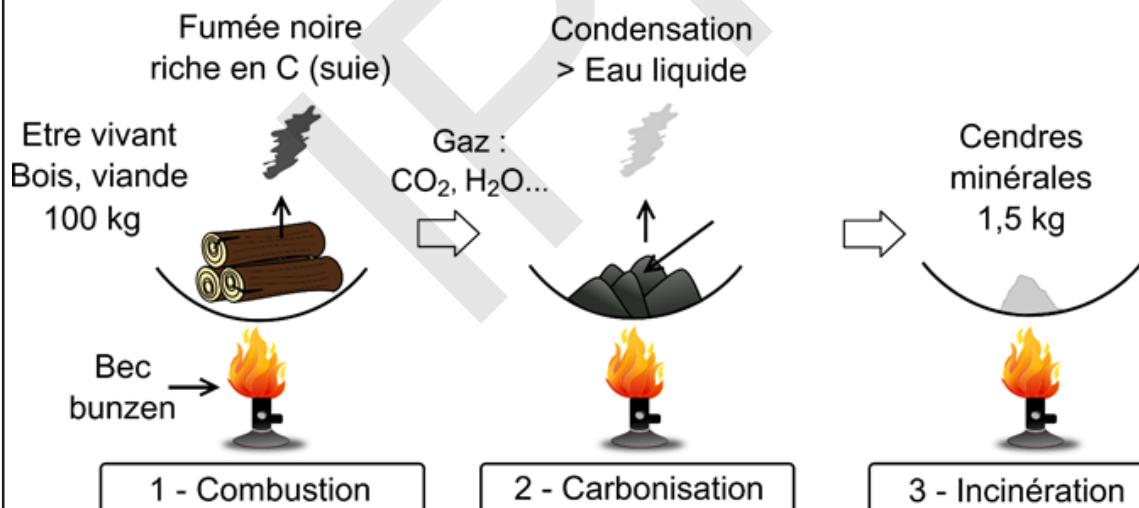
Activité 1

Comment mettre en évidence les éléments chimiques constituant la matière vivante ?

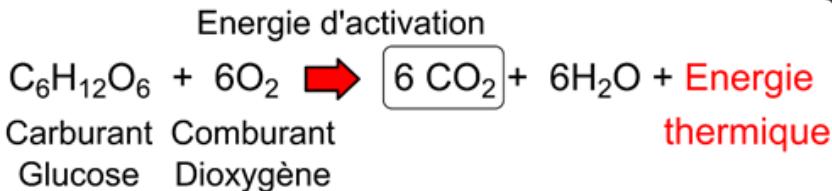
Expérience 1: Mise en évidence de la présence du carbone dans la matière vivante.

- Chauffer à sec un fragment de muscle ou tout autre organe animal ou végétal dans un tube à essais ;
- Continuer à chauffer le fragment d'organe devient noir (voir test ci-dessous).

COMBUSTION - CARBONISATION - INCINERATION



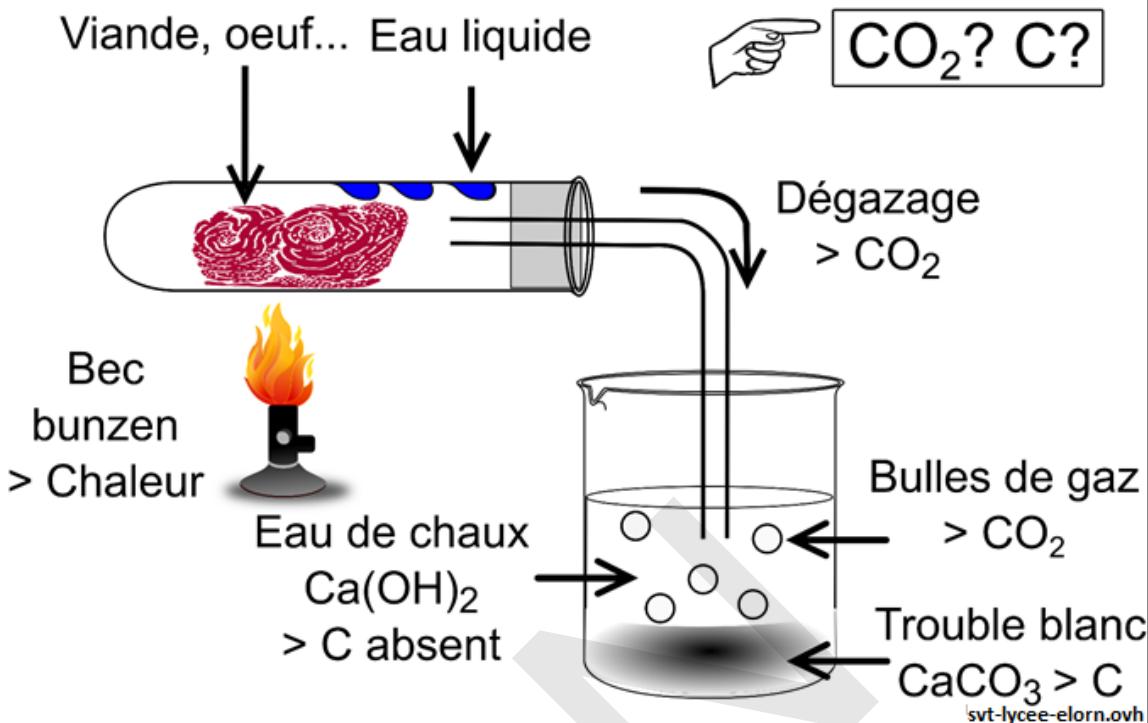
Equation bilan de la combustion complète du glucose



svt-lycee-elorn.ovh

- Le résidu noir, brûlé en présence d'oxygène donne un gaz, que l'on met en évidence par le test à l'eau de chaux (voir test ci-dessous).

TEST A L'EAU DE CHAUX : RECHERCHE CO₂

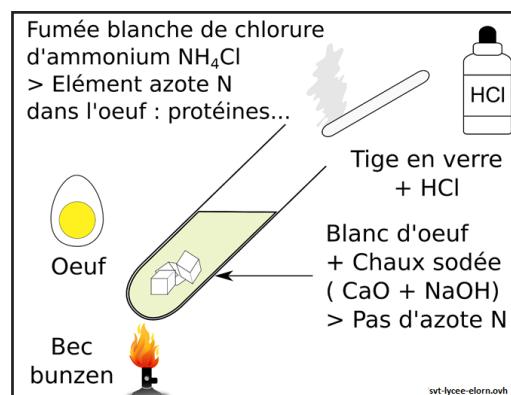


Expérience 2: Mise en évidence de la présence du dihydrogène dans la matière vivante.

- Après un séjour prolongé dans une étuve à 50°, la dessiccation d'un fragment d'organe est totale ;
- Broyer à sec cet organe avec de la poudre d'oxyde cuivreux, CuO et chauffer le mélange dans un tube à essais lui-même parfaitement sec ;
- Constater des gouttelettes d'eau qui apparaissent dans le haut du tube sur la paroi encore froide.

Expérience 3: Mise en évidence de la présence d'azote.

- Chauffer un fragment de muscle, ou du blanc d'œuf, après l'avoir broyé dans de la chaux sodée ;
- Présenter un papier humide imprégné de tournesol rouge à l'ouverture du tube ;
- Constater que les vapeurs qui se dégagent font virer au bleu la couleur du papier ;



- Présenter un agitateur trempé dans le HCl au voisinage de ces vapeurs ;
- Constater la formation de fumée blanche.

A partir de l'analyse des quatre expériences précédentes, dégager les principaux éléments chimiques entrant dans la constitution de la matière vivante.

Analyse des expériences :

Expérience 1:

Le résidu noir, brûlé en présence d'oxygène, donne du CO₂ que l'on met en évidence par le précipité de carbonate de calcium qu'il provoque dans l'eau de chaux.

La matière vivante contient du carbone.

Expérience 2:

Tous les produits mis dans le tube à essais étant totalement déshydratés, cette eau ne peut provenir que de la combinaison d'hydrogène avec de l'oxyde cuivrique.

La matière vivante contient de l'hydrogène.

Expérience 3:

Les vapeurs qui se dégagent font virer au bleu un papier humide imprégné de tournesol rouge, ce qui indique la présence d'une base volatile. Ces mêmes vapeurs produisent une fumée blanche au voisinage de l'acide chlorhydrique. Il s'agit de fines particules de chlorure d'ammonium. Nous sommes donc en présence d'ammoniac, NH₃.

La matière vivante contient de l'azote.

II- Constituants minéraux

Activité 2

Comment mettre en évidence la présence de l'eau dans la matière vivante.

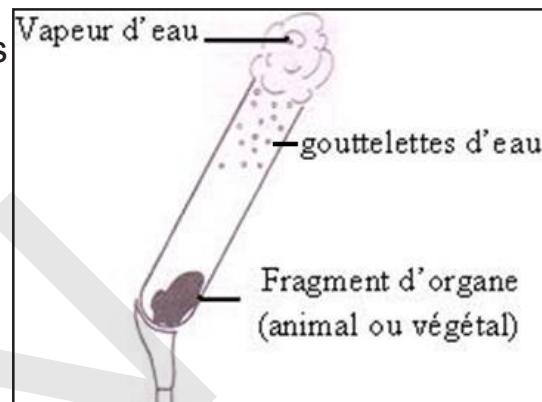
Expérience de mise en évidence de l'eau dans la matière vivante.

- Placer un échantillon de matière au fond d'un tube à essai ;

- Tenir le tube à essai avec une pince en bois et le placer au-dessus d'un bec électrique ;

- Chauffer très doucement le tube à essai et observer les parois du tube à essai vers le haut.

Analyser cette expérience afin de mettre en évidence la présence de l'eau dans la matière vivante.



Analyse de l'expérience :

Les gouttelettes d'eau sur les parois du tube montrent la présence de l'eau dans la matière vivante.

L'eau est un composé vital de l'organisme. Il représente environ 65 % de la masse corporelle. C'est un composé inorganique formé de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. C'est le constituant le plus abondant des êtres vivants. Elle s'y trouve dans des proportions différentes selon les organismes. Par exemple, l'eau constitue environ 75 % environ du poids corporel de l'homme. Dans les fruits charnus, l'eau constitue 80 à 90 % de leur poids. L'eau joue un rôle fonctionnel car elle permet de nombreuses réactions chimiques cellulaires. Elle assure le transport de certaines substances.

L'eau est vitale pour nous à cause des quatre propriétés principales :

- L'eau est un solvant : L'eau permet la dissociation d'éléments (chlorure de sodium...), de molécules (glucose, dioxygène...) que l'on nomme les solutés et facilite la diffusion des ions obtenus. Ainsi, l'eau est un moyen de transport de certains composés (transport des aliments et des déchets) et solubilise les formes ionisées des biomolécules nécessaires à l'activité des enzymes).

- L'eau est un réactif : Elle facilite le contact entre les molécules et donc les réactions chimiques. Elle est utilisée par l'organisme pour de nombreuses réactions chimiques: hydrolyse, oxydoréductions, estérifications.
- L'eau a une forte capacité thermique : Elle amortit les variations de température liées à des facteurs externes (rayons du soleil) ou internes (activité musculaire). Elle évacue la chaleur interne par évaporation de la sueur du corps. Elle fait ça sans que sa propre température ne soit réellement affectée.
- L'eau a une fonction protectrice: Présente en grande quantité dans les liquides extracellulaires, elle joue un rôle d'amortisseur. Par exemple, le liquide céphalo-rachidien protège l'encéphale.

L'eau est répartie dans deux compartiments :

- ♦ intracellulaire : l'eau qu'on trouve dans les cellules ;
- ♦ extracellulaire : l'eau qui se trouve à l'extérieur de la cellule.

Activité 3

Mise en évidence des sels minéraux dans la matière vivante.

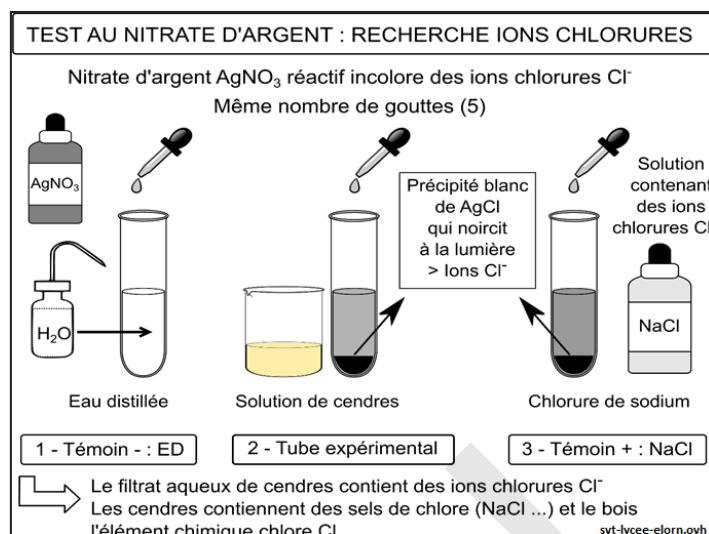
Expérience 1: Préparation d'une solution de sels.

- Calciner une matière vivante (exemple : salade) ;
- Dans un ballon en Pyrex mettre 200 grammes environ de cendres végétales obtenues et y ajouter un litre d'eau distillée, porter à l'ébullition pendant une quinzaine de minutes, puis filtrer. Le filtrat obtenu est un liquide limpide qu'on répartit dans des tubes à essais.
- Des réactifs spécifiques sont ajoutés dans chacun des tubes pour mettre en évidence les sels minéraux correspondants.

Expérience 2:

Mise en évidence des sels de chlorure.

En versant quelques gouttes de nitrate d'argent sur quelques ml de la solution de sels, il se forme un précipité blanc qui noircit à la lumière.

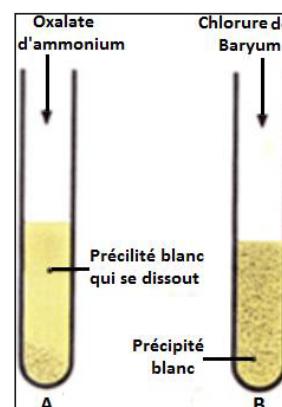


Expérience 3:

Mise en évidence des sels de calcium et de Sulfates.

En versant quelques gouttes d'oxalate d'ammonium dans un tube à essais A et de chlorures de Baryum dans un autre tube B, il se forme respectivement un précipité blanc qui se dissout dans le tube A et un précipité blanc dans le tube B (voir figure ci-contre).

Analyser cette expérience afin de mettre en évidence la présence des sels minéraux dans la matière vivante.



Analyse des expériences :

Expérience 1:

L'abondant précipité blanc obtenu qui noircit lentement à la lumière est un précipité de chlorure d'argent ; ce qui met en évidence la présence de chlorures dans le filtrat.

Expérience 2:

Le précipité blanc qu'on obtient dans le tube A est formé d'oxalate de calcium alors que celui obtenu dans le tube B est constitué de sulfate de baryum ; ce qui met en évidence la présence de sel de calcium et de sulfates dans le filtrat.

Les éléments minéraux sont classés en deux catégories : les macroéléments, présents dans l'organisme en grande quantité et les oligoéléments présents à des taux très faibles.

Les macroéléments sont le calcium, le phosphore, le potassium, le sodium, le soufre, le chlore et le magnésium. Certains font partie de la structure des tissus (os, dents) dont ils renforcent la résistance. Ils sont alors sous forme de sels (sels de calcium). D'autres éléments minéraux entrent dans la composition de molécules structurales ou fonctionnelles (Le phosphore associé aux lipides forme des molécules de la membrane cellulaire, le soufre entre dans la composition d'une hormone, l'insuline).

Sous forme d'ions, ils sont présents dans les liquides de l'organisme (les ions chlorure et les ions sodium régulent l'équilibre acido-basique du sang).

Les oligoéléments sont des éléments présents dans l'organisme en très petite quantité, mais néanmoins indispensables. Ils entrent dans la composition de molécules complexes (Le fer se trouve à 60 % dans la molécule d'hémoglobine). Ils sont aussi indispensables à certaines réactions biochimiques (Par exemple, le zinc entre dans la composition de plusieurs enzymes). Ils peuvent se retrouver à l'état solide (phosphates et carbonates de calcium du squelette) mais aussi en solution sous forme d'ions (chlorures Cl^- , sulfate SO_4^{2-} , phosphate PO_4^{3-} , nitrate NO_3^- , potassium K^+ , magnésium Mg^{2+} , calcium Ca^{2+}).

- Les macroéléments (besoin Journalier > 100mg) ou éléments présents en quantité importante Na, K, Ca, P, S, Cl, Mg : Ce sont des composés structuraux des cellules et des tissus et sont nécessaires dans l'alimentation de l'ordre du gramme.

- Les oligoéléments (besoin journalier < 100 mg) : Ce sont des éléments présents à l'état de trace Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Cr, Mo, Se, I.... Le fluor n'est pas indispensable à la vie, mais un apport quotidien améliore cependant l'état des os et des dents.

La quantité de sels minéraux contenus dans un fragment d'organisme est connue en faisant brûler puis en analysant les cendres.

Le tableau suivant résume les résultats attendus :

Réactifs ajoutés au filtrat	Réactions obtenues	Sels minéraux mis en évidence
Solution de Nitrate d'argent	Précipité blanc de chlorure d'argent qui noircit à la lumière.	Chlorures
Solution de chlorure de baryum	Précipité blanc de sulfate de baryum	Sulfates
Réactif ammoniaco-magnésien Ou Solution nitromolybdique d'ammonium	Précipité blanc de phosphate ammoniaco- magnésien ou précipité jaune serin	Phosphates PO_4^{3-}
Acide picrique à saturation	Précipité en aiguilles jaunes de picrate de potassium	Sels de potassium
Solution d'oxalate d'ammonium	Précipité blanc d'oxalate de calcium	Sels de calcium : Ca^{2+}
Solutions d'acide chlorhydrique	Effervescence ; dégagement de CO_2	Carbonates
Diphénylamine ou Cuivre et acide sulfurique	Coloration bleue ou dégagement de dioxyde d'azote, gaz roux	Nitrates
Solutions de ferrocyanure de potassium	Précipité bleu	Sels de fer
Passage à la flamme	La flamme prend une coloration jaune orangé.	Ion sodium Na^+

III- Constituants organiques

La matière vivante présente une unité chimique. Toutes les molécules organiques la constituant sont formées d'un squelette carboné. Ces molécules vont assurer des fonctions essentielles dépendant de leur structure et de leur localisation au sein de la matière vivante. L'étude de la composition chimique des êtres vivants permet d'identifier trois grands groupes de substances organiques : les glucides, les lipides et les protides.

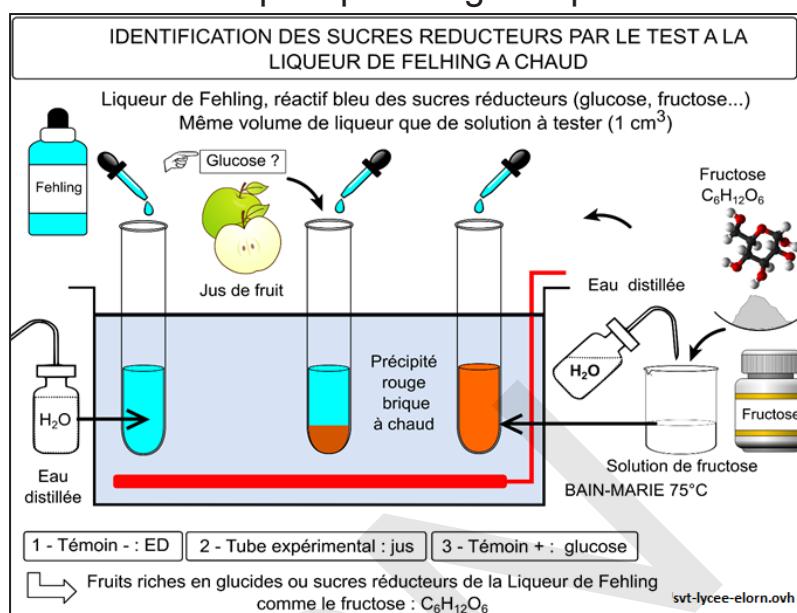
A- Les glucides

Activité 4

Mettre en évidence les oses et décrire leurs structures et les fonctions qu'ils assurent au sein de la matière vivante.

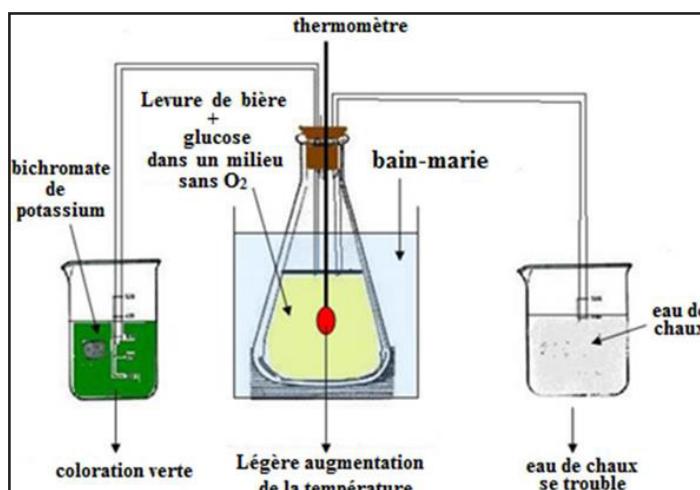
Expérience 1: Mettre en évidence le pouvoir réducteur d'un ose (le glucose).

- Mélanger 5 cm³ d'une solution de glucose et 5 cm³ de liqueur de Fehling. Cette liqueur, bleu limpide, est une solution alcaline d'hydroxyde cuivreux, Cu(OH)₂, où le cuivre est divalent Cu²⁺;
- Porter le mélange à l'ébullition ;
- Constater la formation d'un précipité rouge brique.



Expérience 2: Fermentation alcoolique

- Délayer 5g de levure dans 100 mL d'eau ;
- Rajouter 5g de glucose ;
- Laisser au bain marie à 30°C ;
- Constater l'absence de glucose et le dégagement d'un gaz qui trouble l'eau de chaux et de l'odeur d'alcool (voir dispositif ci-dessous).



Expliquer les résultats de ces expériences pour dégager les principales propriétés du glucose.

Analyse des expériences :

Expérience 1:

Le précipité rouge brique obtenu est formé d'oxyde cuivreux Cu_2O où le cuivre est monovalent, Cu^+ : il y a donc eu réduction. On dit que le glucose réduit la liqueur de Fehling : c'est un glucide réducteur.

La formule brute du glucose est $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Sa molécule contenant six atomes de carbone, le glucose est un hexose.



Expérience 2:

La fermentation alcoolique est un processus biochimique par lequel des sucres (glucides, principalement le glucose) sont transformés en alcool (éthanol) sous l'action de levures en l'absence du dioxygène.

En milieu anaérobie, la levure transforme le glucose en éthanol et dioxyde de carbone selon l'équation : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$

Dans cette équation, la levure n'intervient pas directement mais joue un rôle de catalyseur. La fermentation alcoolique est un processus exothermique qui produit de la chaleur.

Le glucose se présente sous forme d'une poudre blanche, de saveur légèrement sucrée, ce qui lui a valu le nom de sucre au glucose ainsi qu'aux autres hexoses. Le glucose est réducteur et fermentescible.

Les glucides sont des composés renfermant le carbone, le dihydrogène et le dioxygène : ce sont des composés ternaires. Ce sont des hydrates de carbone. Le groupe des glucides est subdivisé en oses (monosaccharides), diosides (di-holosides) et polyosides (polyholosides). Les oses (sucres simples) sont classés selon le nombre d'atomes de carbone présents dans leurs molécules :

– les pentoses ayant cinq atomes de carbone :

- le ribose : $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$: un des composants de l'ARN ;
- le désoxyribose : $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$: un des composants de l'ADN.

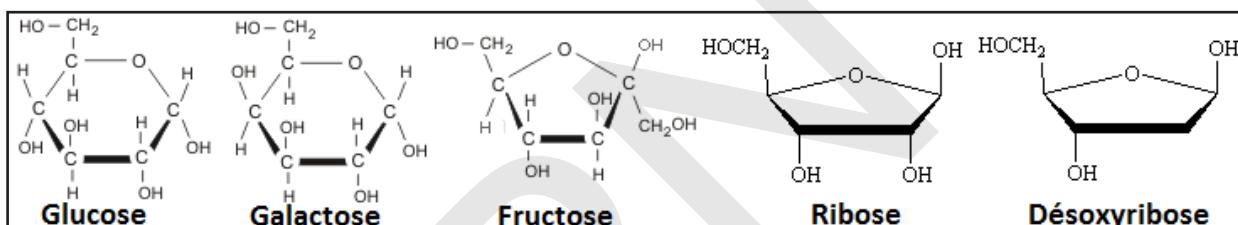
– les hexoses ayant six atomes de carbone :

- le glucose : molécule énergétique, vitale car certaines cellules sont gluco-dépendantes comme les neurones ou les globules rouges ;
- le fructose : présent dans les fruits ;
- le galactose : rarement libre, il est souvent associé à d'autres oses.

Chaque ose contient une seule fonction Carbonyle : soit une fonction Aldéhyde (Aldoses comme le glucose) ou Cétone (cétones comme le fructose).

Les oses contiennent systématiquement des groupements hydroxyle -OH.

La formule brute générale d'un ose est : $C_n(H_2O)_n$. Leurs formules développées sont :



NB.

La fonction carbonyle, $C=O$, où un atome de carbone est relié à un atome d'oxygène par une double liaison, est une fonction de chimie organique. Les composés où le groupe carbonyle est le principal substituant sont : les aldéhydes et les cétones.

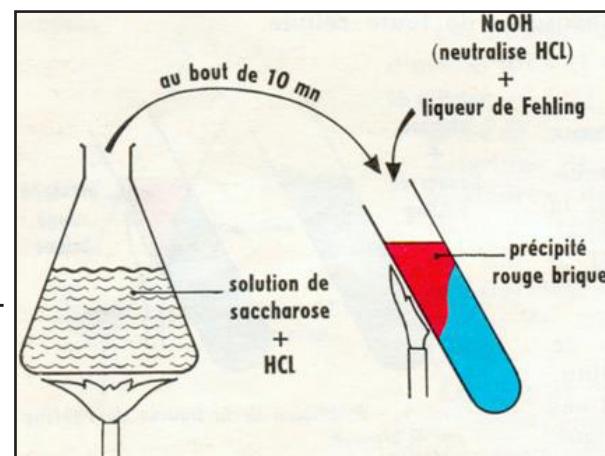
Activité 5

Mettre en évidence quelques propriétés des diosides et décrire leurs structures et les fonctions qu'ils assurent au sein de la matière vivante (exemple du saccharose).

Expérience 3: Hydrolyse acide du saccharose.

- Préparer une solution de saccharose en faisant dissoudre quelques grammes du sucre dans de l'eau distillée ;

- mettre quelques ml de la solution dans un tube à essais ;
- Ajouter quelques gouttes de HCl puis chauffer pendant 10mn au moins ;
- Après refroidissement, neutraliser la solution en y ajoutant de la soude ;
- Mettre le même volume de liqueur de Fehling, puis chauffer à nouveau ;
- Observer l'apparition d'un précipité rouge brique.



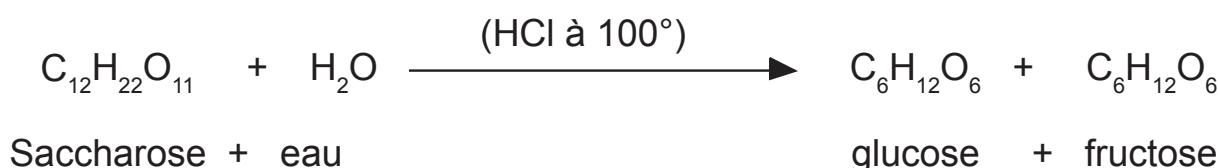
Expliquer les résultats de cette expérience pour dégager l'une des principales propriétés du saccharose.

Explication des résultats de l'expérience :

Sous l'effet de la chaleur et en présence d'un acide (catalyseur), le saccharose non réducteur a été hydrolysé en sucre(s) réducteur(s) d'où formation de précipité rouge brique avec la liqueur de Fehling chauffée (expérience).

Le saccharose (sucre de table ou sucre blanc), est un sucre au goût doux et agréable, très largement utilisé pour l'alimentation. Il est extrait de certaines plantes, principalement de la canne à sucre et de la betterave sucrière et il est produit sous forme de petits cristaux blancs. Il a une saveur sucrée et il est très soluble dans l'eau. L'hydrolyse du saccharose donne une molécule de glucose et une molécule de lévulose ou fructose.

Il est non réducteur.



Les diosides (ou diholosides ou disaccharides) représentent l'association de deux molécules d'hexoses. On distingue trois diosides : saccharose, maltose et lactose. Ce sont des isomères ayant pour formule $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$. Le nombre d'atomes de carbone est donc le double de celui des hexoses, d'où le nom de diholosides ou diosides qu'on donne à ces corps.

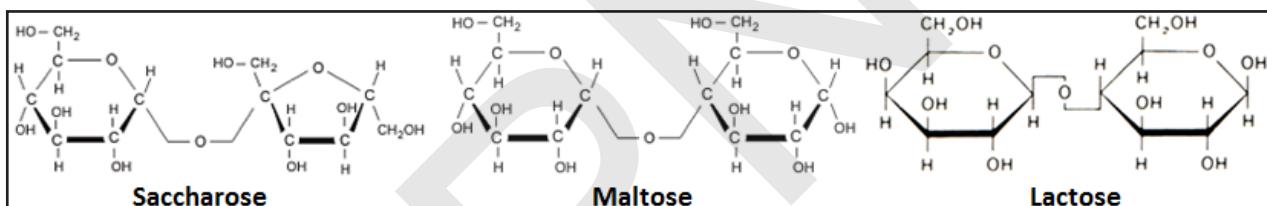
Pour les distinguer, il faut procéder à leur hydrolyse.

- ▶ L'hydrolyse du saccharose donne une molécule de glucose et une molécule de fructose.
- ▶ L'hydrolyse du maltose donne deux molécules de glucose.
- ▶ L'hydrolyse du lactose donne une molécule de glucose et une molécule de galactose.

Le maltose et le lactose sont des sucres réducteurs autant que les hexoses car en présence de la liqueur de Fehling, on obtient un précipité rouge brique. Cependant, le saccharose n'est pas un sucre réducteur. Les diosides forment avec l'eau une solution vraie.

Le maltose est extrait du malt préparé à partir de l'Orge en germination, le lactose est un sucre contenu dans le lait.

Leurs formules développées sont :

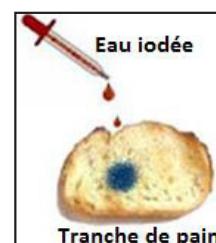


Activité 6

Mettre en évidence quelques propriétés des polyosides et décrire leurs structures et les fonctions qu'ils assurent au sein de la matière vivante (exemple de l'amidon).

Expérience 1: Mise en évidence de l'amidon dans le pain.

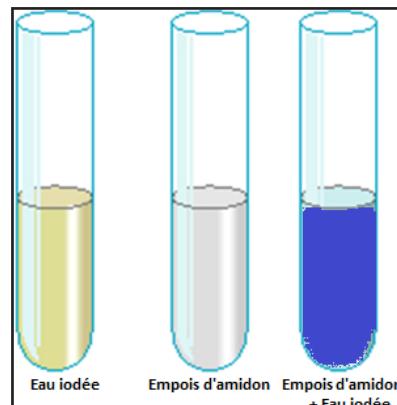
- Déposer une gouttelette d'eau iodée sur un morceau de pain (ou de pomme de terre) ;
- Constater la coloration qui apparait (figure ci-contre).



Expérience 2: Action de l'eau iodée (ou Lugol) sur l'amidon.

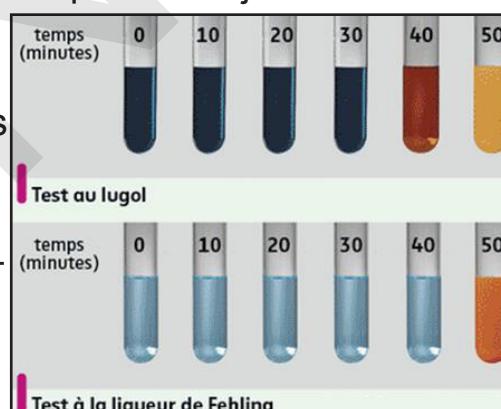
- Peser 10 g d'amidon soluble et verser dans 100 mL d'eau distillée ;
- Faire bouillir en mélangeant ;

- Jeter ensuite ce mélange chaud dans 900 mL d'eau froide en remuant vivement ;
- Remettre le tout à chauffer en remuant lentement jusqu'à éclaircissement ;
- Dès que la solution commence à s'éclaircir, cesser de chauffer et laisser refroidir ;
- Après refroidissement, verser quelques gouttes de réactif iodo-ioduré dans le liquide ;
- Observer la coloration que l'empois d'amidon prend (voir figure ci-contre).



Expérience 3: Hydrolyse acide de l'amidon

- Dans un récipient en Pyrex, porter à l'ébullition (à 100°C), pendant 35 à 50 minutes, de l'empois d'amidon auquel on a ajouté de l'acide chlorhydrique (jusqu'à obtenir un pH de 2) ;
- Constater que l'aspect opalescent de l'empois d'amidon a disparu ;
- Toutes les 10 minutes, prélever deux échantillons dans deux tubes à essai ;
- Refroidir le premier tube sous un filet d'eau et y ajouter du Lugol (série de tubes du haut) ;
- Neutraliser le liquide du deuxième tube avec de la soude et ajouter de la liqueur de Fehling puis porter à l'ébullition (série de tubes du bas).

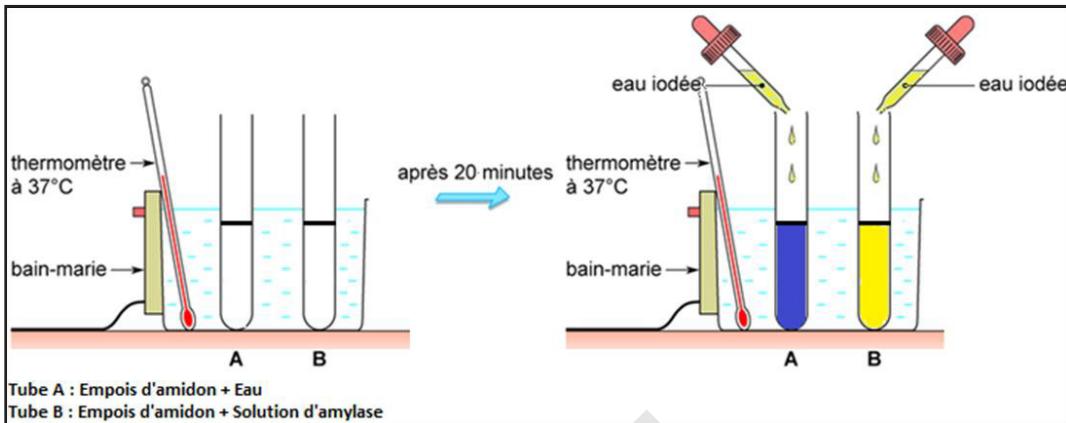


Expérience 4: Hydrolyse enzymatique de l'amidon

- Préparer de l'empois d'amidon : verser l'amidon dans 150 ml d'eau déminéralisée dans un récipient en Pyrex puis porter à ébullition et laisser refroidir ;
- Préparer la solution d'amylase : verser le tube d'amylase dans 100 ml d'eau déminéralisée, agiter ;
- Placer deux tubes à essai au bain-marie, à 37 °C (température corporelle) :

Le tube A contient de l'empois d'amidon et de l'eau, le tube B, de l'empois d'amidon et un volume de la solution d'amylase ;

- Au bout de vingt minutes, on introduit de l'eau iodée dans les deux tubes A et B (voir les résultats (dispositif ci-dessous)).



Expliquer les résultats de ces expériences afin de dégager les principales propriétés de l'amidon.

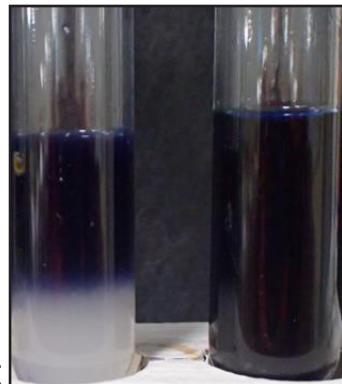
Explication des résultats de l'expérience :

Le polyholoside le plus commun est l'amidon. La féculle de pomme de terre est constituée, presque en totalité, par l'amidon. Les cellules de la pomme de terre sont bourrées de grains d'amidon. Seuls les végétaux produisent de l'amidon. La féculle est une poudre blanche, sans saveur sucrée. Si nous en jetons une pincée dans un récipient contenant de l'eau froide, la poudre ne disparaît pas, même après un séjour prolongé dans l'eau. L'amidon est donc insoluble dans l'eau froide. Par agitation, il se forme une suspension. Mais elle est instable car les grains d'amidon finissent par retomber au fond du récipient. C'est une solution colloïdale appelée lait d'amidon.

Si on porte le contenu du récipient à l'ébullition, la poudre disparaît mais le liquide obtenu n'est pas parfaitement limpide : il a un aspect opalescent. On a réalisé de l'empois d'amidon (suspension translucide plus ou moins visqueuse). Après refroidissement, si on verse quelques gouttes de réactif iodo-iodurée dans le liquide, l'empois d'amidon prend une coloration bleue intense ou bleu violet (expérience 2).

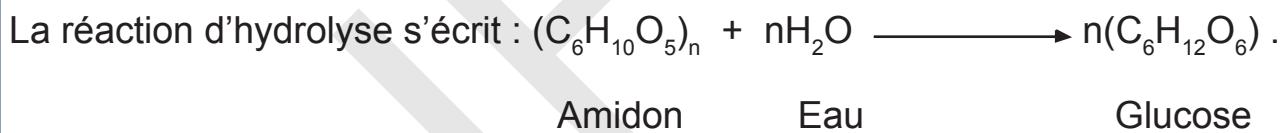
Cette réaction de coloration, qui ne se produit qu'à froid, est caractéristique de l'amidon (expériences 1 et 2).

Si on porte à l'ébullition, pendant 35 à 50 minutes, de l'empois d'amidon auquel on a ajouté du HCl, on constate que l'aspect opalescent de l'empois d'amidon disparait. On répartit ce liquide entre deux tubes à essais. On refroidit l'un des tubes sous un filet d'eau et on lui ajoute quelques gouttes de réactif iodo-ioduré, on constate alors qu'aucune coloration bleue n'apparaît : il n'y a donc plus d'amidon dans le liquide. On neutralise ensuite, le liquide du second tube avec de la soude et on lui ajoute son volume de liqueur de Fehling puis on porte à l'ébullition. On remarque alors la formation d'un abondant précipité rouge brique, prouvant que le milieu contient maintenant un glucide réducteur (expérience 3). L'analyse chimique nous apprendrait qu'il s'agit du glucose.



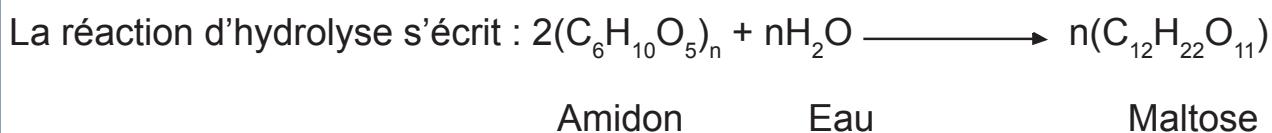
L'empois est utilisé comme un apprêt pour donner de la raideur au linge.

L'amidon est le sucre de réserve chez les végétaux et son hydrolyse complète conduit au glucose. On attribue à l'amidon la formule $(C_6H_{10}O_5)_n$, n étant très grand : de plusieurs centaines à plus de mille suivant l'origine : pomme de terre, maïs, blé, etc.



Là encore, l'acide chlorhydrique a joué le rôle de catalyseur. On voit que la molécule d'amidon est constituée par un très grand nombre de molécules de glucose liées les unes aux autres ; d'où le nom de polyholosides donné à l'amidon et aux corps ayant la même structure chimique. L'hydrolyse acide de l'amidon en glucose par des composés intermédiaires appelés dextrines qui se colorent en rouge en présence de l'eau iodée (voir expérience 3, au bout de 40min). L'absence de la couleur bleue caractéristique de l'amidon avec l'eau iodée dans le tube permet de conclure qu'il n'y a plus d'amidon (expérience 4).

Sous l'action de l'amylase, l'amidon s'est transformé en un autre sucre plus soluble. L'analyse chimique montre qu'il s'agit du maltose.

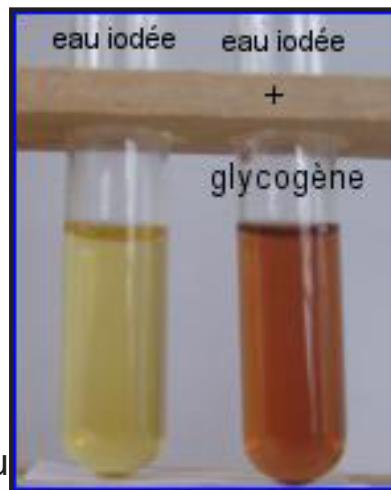


Cette réaction est catalysée par l'amylase (salivaire ou pancréatique).

On distingue parmi les polyosides, l'amidon, le glycogène et la cellulose.

- Le glycogène est l'équivalent animal de l'amidon : c'est le sucre de réserve chez les animaux : c'est une macromolécule glucidique présente chez de nombreux animaux où il constitue une forme de stockage du glucose. Le glycogène ($C_6H_{10}O_5$)_n se rencontre, à la différence de l'amidon, chez les animaux, où l'organe le plus riche est le foie.

Purifié, il a l'aspect d'une poudre blanche. Dans l'eau froide, il est, suivant son origine, soit insoluble, mais donne à l'ébullition une solution colloïdale, soit soluble et il s'agit encore d'une solution colloïdale. Dans les deux cas, ces solutions se colorent, à froid, en brun acajou par l'eau iodée. Dans les cellules, le glycogène se trouve dans le cytosol où il forme des granulations de 10 à 40 nm de diamètre souvent regroupées en rosettes.



- La cellulose ($C_6H_{10}O_5$)_n de masse moléculaire 2 000 000 environ, est le constituant fondamental de la membrane des cellules végétales. Elle ne peut être digérée par l'Homme mais facilite la digestion et le transit des aliments dans le tube digestif. Le chlorure de zinc iodé colore la cellulose en violet.

Les polyholosides sont très abondants dans la matière vivante. Toutefois, ils sont plus abondants dans le monde végétal que dans le monde animal où ils constituent un composant important des parois cellulosiques (cellulose). Ce sont des isomères de formule brute ($C_6H_{10}O_5$)_n. Les polyosides sont des glucides complexes organisés en chaînes carbonées formées par la succession de glucides simples comme le glucose ou le galactose.

Les polymères tels que l'amidon (chez les végétaux) ou le glycogène (chez les animaux) servent de réserve de glucose utilisée comme carburant par les cellules pour produire de l'énergie lors de la respiration.

B- Les lipides

Activité 7

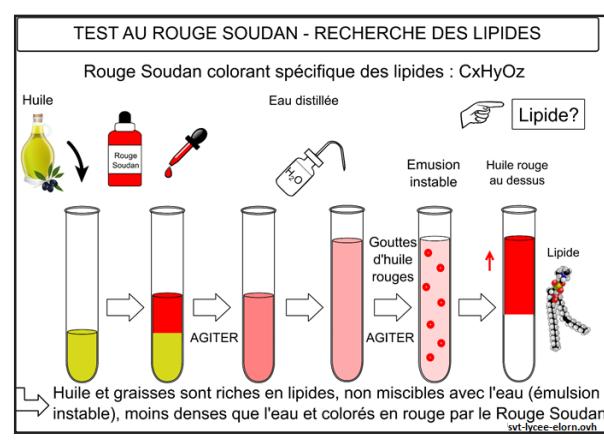
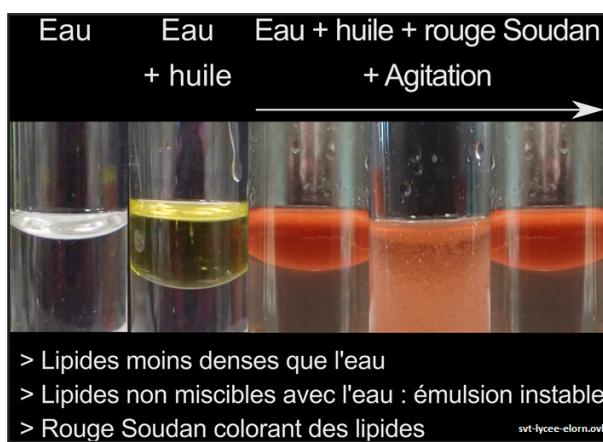
Mettre en évidence les lipides et décrire leurs structures et les fonctions qu'ils assurent au sein de la matière vivante.

Expérience 1: Formation d'une tache sur le papier

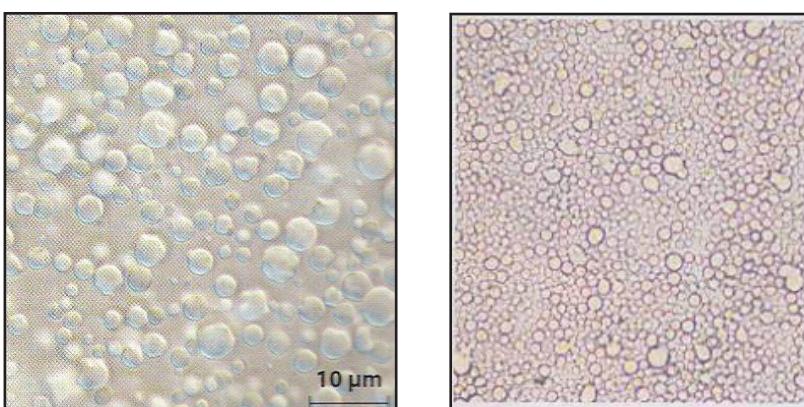
- Imbibir un peu de coton de lait ;
- Frotter énergiquement la (ou les) substance(s) à tester (ici le lait) sur une feuille de papier ;
- Laisser sécher ;
- Constater l'apparition d'une (ou plusieurs) tâche(s) translucide(s) ;
- Mettre un morceau de muscle de bœuf ou un cerneau de noix au contact d'un papier absorbant ;
- Constater l'apparition d'une auréole persistante.

Expérience 2: Test au rouge soudan sur les lipides.

- Mesurer quelques ml d'huile et les verser dans une éprouvette ;
- Mettre quelques gouttes de Rouge Soudan dans l'éprouvette ;
- Fermer l'éprouvette avec un bouchon ;
- Agiter l'éprouvette légèrement ;
- Observer la coloration obtenue (figures ci-dessous).



- Monter entre lame et lamelle pour une observation au microscope (figures ci-dessous).



Expérience 3: Formation des émulsions.

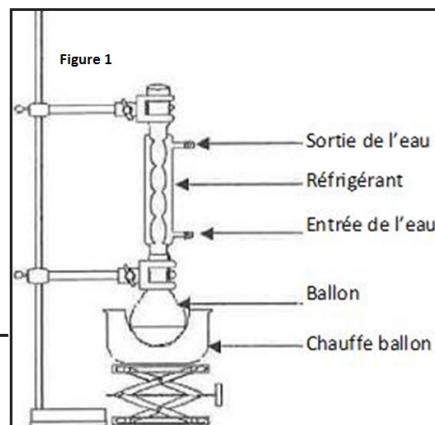
- Mélanger 5 ml d'huile avec 50 ml d'eau distillée dans un bécher ;
- À l'aide de l'agitateur en verre mélanger l'eau et l'huile ;
- Observer :
 - ✓ pendant l'agitation que des gouttelettes d'huile sont mélangées avec l'eau,
 - ✓ une fois l'agitation terminée, les deux phases se forment à nouveau.
- Dans un tube à essais, verser environ 5 ml de vinaigre et 10 ml d'huile ;
- Agiter vigoureusement ;
- Dans un autre tube à essais, verser environ 5 ml de vinaigre, une pointe de spatule de moutarde et agiter vigoureusement ;
- Laisser reposer, puis observer (voir figure ci-contre).



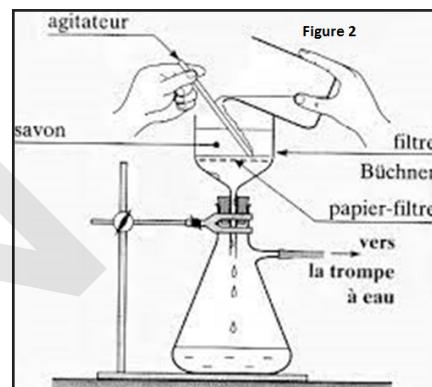
Expérience 4: Saponification.

- Dans un ballon, verser un mélange réactionnel qui se compose de :
 - ▶ 20 ml d'huile alimentaire (huile d'olive, d'arachide),
 - ▶ 20 ml de solution d'hydroxyde de sodium concentrée ($c = 10 \text{ mol.L}^{-1}$),
 - ▶ 20 ml d'éthanol,

- ▶ Introduire quelques grains de pierre ponce ;
- Adapter un réfrigérant à eau ;
- Placer le ballon dans un chauffe-ballon posé sur un support élévateur ;
- Porter le contenu du ballon à ébullition douce pendant 15 minutes (figure 1 ci-contre) ;



- Enlever le chauffe-ballon et laisse refroidir le contenu du ballon à température ambiante pendant quelques minutes ;
- Verser, avec précaution, en agitant, le contenu du ballon dans environ 50 ml d'une solution de chlorure de sodium saturée ;
- Laisser reposer ;
- Filtrer le solide sur Büchner.
- Le rincer à l'eau (figure 2 ci-contre) ;



Expliquer les résultats de ces expériences afin de dégager les principales propriétés des lipides.

Analyse des expériences :

Expérience 1:

L'apparition d'une auréole translucide qui ne disparait pas à la chaleur révèle la présence de substances grasses. Ce sont les lipides.

Expérience 2:

Au microscope, à fort grossissement, on observe des «tâches» de couleur marron.

Les «tâches» marrons observées représentent la formation d'agrégats de lipides (après réaction avec le Rouge Soudan) : le Rouge Soudan se dissout et produit une coloration rouge (marron ou orangée) mettant en évidence la présence des lipides.

Expérience 3:

L'émulsion réalisée au début est une émulsion instable car une fois l'agitation terminée, l'huile ne reste pas sous forme de gouttelettes dans l'eau.

On observe que la vinaigrette sans moutarde forme un mélange hétérogène : on distingue l'huile du vinaigre. Par contre la vinaigrette avec la moutarde forme un mélange homogène, l'émulsion a été stabilisée.

Les cellules de moutarde broyées libèrent des phospholipides.

Ces phospholipides sont des espèces tensioactives.

Une espèce tensioactive est une espèce chimique qui favorise la formation d'une émulsion et la rend plus stable.

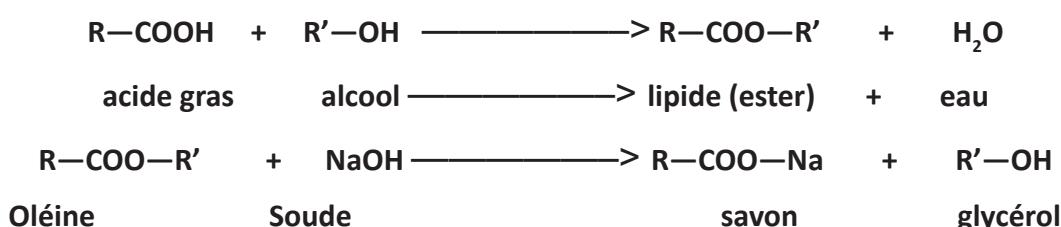
Expérience 4:

Les gouttes issues de la condensation des vapeurs dans le réfrigérant sont constituées d'éthanol. La solution d'hydroxyde de sodium est très concentrée et corrosive ; c'est pourquoi il est indispensable de porter des gants lors de son ajout dans le ballon. Il faut ensuite enlever les gants lorsque le chauffe-ballon est allumé.

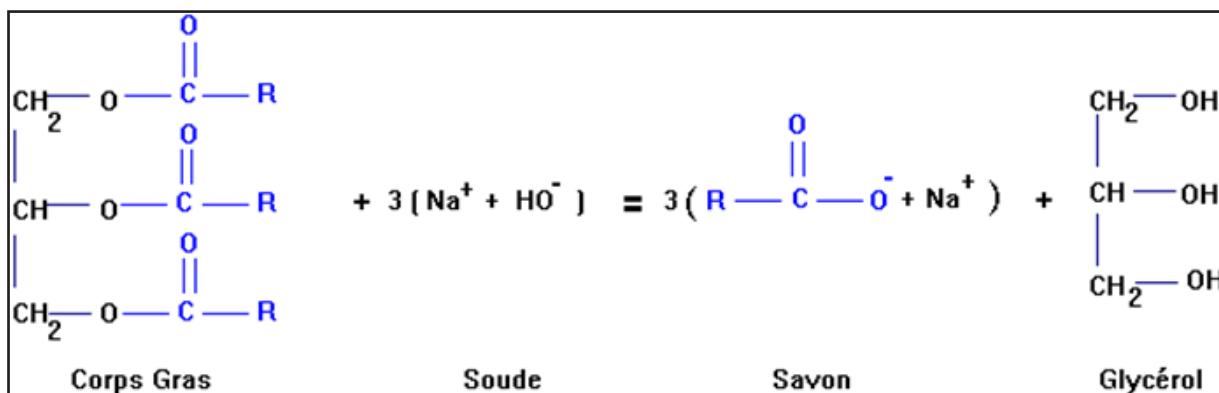
Le savon précipite dans l'eau salée car il n'est pas soluble dans l'eau salée : opération de relargage. Le produit obtenu est solide. On effectue une filtration pour isoler le savon.

Les espèces chimiques présentes dans le bêcher : eau – éthanol – soude en excès.

La réaction de saponification se résume ainsi :



ou



Les lipides sont constitués également de C, H et O : ce sont des corps ternaires.

Ce sont les constituants des corps gras, corps onctueux. Ils laissent une tache translucide indélébile sur le papier. Dans un tube à essais, mettons de l'eau et un peu d'huile d'olive. Les deux liquides ne se mélangent pas : l'huile est insoluble dans l'eau et surnage, sa densité étant plus faible. Agitons le tube contenant l'huile et l'eau : le mélange prend une teinte blanchâtre ; on a réalisé une émulsion, mais au bout de quelques instants l'huile remonte à la surface. Cette émulsion était donc instable. Si l'on ajoute à cette émulsion des savons, des détergents, de la bile, de la moutarde (substances émulsifiantes), elle devient stable. Les lipides sont solubles dans la plupart des solvants organiques tels que l'éther, le chloroforme, l'alcool et l'acétone. Ils sont colorés en rouge par le rouge soudan. Ils forment avec l'eau un mélange hétérogène. Les lipides sont des esters d'acide gras et d'alcool.

La réaction qui aboutit à leur formation est l'estérification :



Il existe une très grande variété de lipides :

- Les acides gras sont des molécules linéaires plus ou moins longues, qui sont mises en réserve par l'organisme sous forme de triglycérides. Ce sont des chaînes hydrogénocarbonées terminées par une fonction acide carboxylique. Si la chaîne hydrogénocarbonée contient une ou plusieurs doubles liaisons, l'acide gras est insaturé (acide oléique, linoléique et érucique) ; s'il n'y a pas de doubles liaisons, l'acide gras est saturé (acide butyrique, stérique, et palmitique).

L'alcool le plus fréquent est le trialcool, le glycérol ($\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$).

- Les glycérides sont les lipides les plus communs : estérification du glycérol par une, deux ou trois molécules d'acides gras. Les triglycérides sont formés de trois molécules d'acide gras combinées à une molécule d'alcool, le glycérol. Ils sont les principales réserves d'énergie stockées dans le tissu adipeux. Ils protègent aussi l'organisme contre le froid et les chocs mécaniques.
- Les phospholipides, dérivés des triglycérides, entrent dans la composition des membranes cellulaires, auxquelles ils apportent leur propriété de perméabilité sélective.
- Les stéroïdes et les vitamines liposolubles sont des macromolécules complexes.

Un stéroïde, le cholestérol, est un composé primordial des membranes cellulaires. Il est un précurseur (l'origine) de certaines hormones et de vitamines. On peut le fabriquer dans notre corps car il nous est indispensable (servant aussi pour les hormones stéroïdiennes).

De manière générale, les lipides simples sont uniquement constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène et leur formation résulte de l'estérification d'un alcool par un ou plusieurs acides gras. On les trouve dans les cellules du tissu adipeux qui portent le nom d'adipocytes. Les lipides complexes sont des lipides simples liés à des molécules de sucre par exemple, à des molécules d'acide aminé, un groupement phosphate, ou encore à un radical qui contient du souffre. Ils libèrent donc, par hydrolyse, non seulement de l'alcool et des acides gras, mais également d'autres molécules.

Principaux groupes		Constitution	Exemples
Lipides simples	Glycérides	Glycérol + acides gras	Palmitine, Stéarine, Oléine
	Stérides	Stérols + acides gras	Cholestérol
Lipides complexes		Alcools + acides gras + azote + phosphore	Myéline Lécithine

C- Les protides

Activité 8

Mettre en évidence les protides et décrire leurs structures et les fonctions qu'ils assurent au sein de la matière vivante.

Expérience 1: Mise en évidence des protides

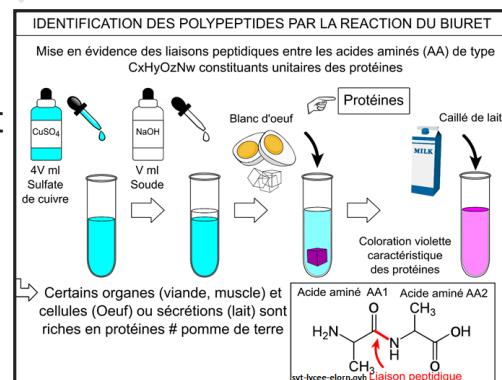
- Placer un œuf dans de l'eau bouillante, l'albumine se prend en une masse blanchâtre (comme dans un œuf dur) ;
- Chauffer le lait (crémé ou non) à 70 °C ; une fine pellicule se forme à la surface : c'est la frangipane.



- Ajouter quelques gouttes d'acide acétique dans le lait, il coagule aussitôt. On peut alors séparer le fromage blanc du petit lait.

Expérience 2: Mise en évidence des protides par le test du biuret :

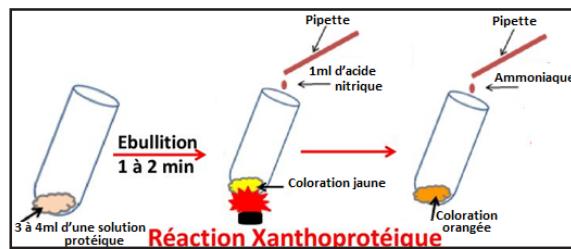
- Casser un œuf et le verser dans un récipient ;
- A l'aide d'une pipette, prélever un échantillon de blanc et le mettre dans un tube à essais ;
- Prélever quelques gouttes de réactif de biuret (sulfate de cuivre + soude) et les ajouter dans le tube à essais pendant une minute ;
- Rejeter le sulfate, rincer à l'eau, puis verser de la soude (ou de la potasse) dans le tube ;
- Observer les résultats (voir figure ci-contre).



Expérience 3:

Mise en évidence des protides par la réaction xanthoprotéique :

- Prendre 3 à 4 ml de solution protéique ;
- Ajouter 1 ml d'acide nitrique concentré ;
- Porter à l'ébullition 1 à 2 minutes ;
- Après rinçage à l'eau, ajouter de l'ammoniaque ;
- Observer les résultats (figure ci-contre).



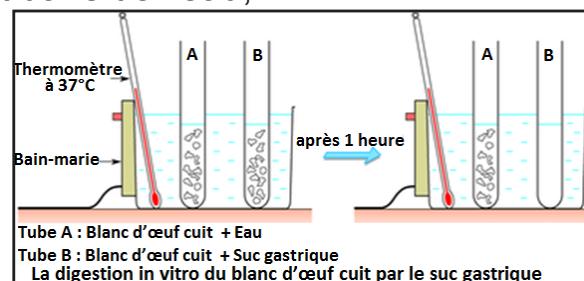
Expérience 4: Hydrolyse enzymatique des protides.

- Placer au bain-marie, à 37 °C :

♦ un tube A contenant du blanc d'œuf cuit dans de l'eau,

♦ un tube B contenant du blanc d'œuf mêlé au suc gastrique ;

- Après une heure, observer le contenu des tubes (figure ci-contre).



Expliquer les résultats de ces expériences afin de dégager les principales propriétés des protides.

Analyse des expériences :

Expérience 1:

- Quand on chauffe le blanc et le jaune d'un œuf, on peut observer que le liquide devient solide. On dit que l'œuf a coagulé, ou bien encore qu'il a cuit. Les protéines de l'œuf (jaune et blanc) sont à l'origine de cette coagulation.

Les protéines coagulent sous l'action de divers agents physiques (chaleur et action mécanique) et agents chimiques (ions inorganiques et métaux lourds).

- La frangipane est formée d'une protéine : l'albumine.

- Le fromage contient une protéine : la caséine

- La coagulation peut être obtenue en ajoutant un acide fort (de l'acide acétique ou chlorhydrique par exemple) ou de l'alcool à 90°.

Il s'agit d'un changement d'état physique et non d'une modification chimique.

Expérience 2:

Nous observons que le blanc d'œuf se teinte en bleu-violet. La réaction est donc positive et nous permet d'affirmer la présence de protéines dans l'œuf.

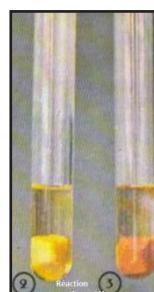


On aurait obtenu le même résultat en testant le jaune de l'œuf de la même manière. Cependant, on remarquera également que le blanc est plus riche en protéines car la coloration est plus marquée.

Le test Biuret met en évidence la liaison peptidique CO-NH-

Expérience 3:

Si on verse de l'acide nitrique sur la solution protéique, elle prend petit à petit une coloration jaune serin. Cette coloration s'effectue beaucoup plus rapidement si on chauffe le tube sur un béc Bunsen. Si, après rinçage à l'eau, on ajoute de l'ammoniaque, le cube prend une teinte orangée.



Expérience 4:

Après une heure, le contenu du tube A n'a pas changé d'aspect alors que celui du tube B s'est éclairci. Le blanc d'œuf, aliment d'origine protidique, a été transformé par le suc gastrique en un autre protide qui s'est solubilisé. La digestion assure donc, par le brassage avec les sucs digestifs, le passage d'aliments insolubles à des nutriments solubles, nécessaires au fonctionnement de l'organisme.

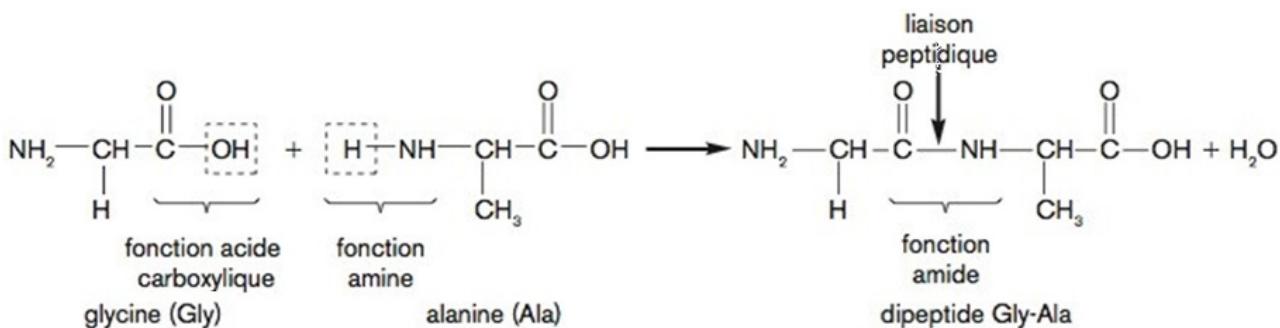
Les protides sont les composants les plus abondants de la matière vivante. Ils sont formés par la polymérisation d'acides aminés. Ils sont constitués de 4 éléments fondamentaux : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Ce sont des composés quaternaires. Les protéines représentent environ 18 % de la masse totale de l'organisme. Ce sont des molécules organiques essentielles à toutes les cellules vivantes. Elles contiennent parfois d'autres atomes, comme le soufre ou le phosphore. Ce sont les seuls fournisseurs d'azote de l'organisme. Quelquefois, certaines protéines renferment du soufre et du phosphore. Les protides sont des acides aminés ou des polymères d'acides aminés.

- Les acides aminés : Ils sont au nombre de 20 dans la matière vivante ; Ce sont les molécules protidiques les plus simples. Ils ont pour formule:

$\text{NH}_2 - \text{CHR} - \text{COOH}$ où $-\text{COOH}$ est le groupement fonctionnel acide,

NH_2 – le groupement fonctionnel amine et R un radical variable qui dépend de l'acide aminé considéré. Il existe 20 radicaux différents correspondant aux 20 acides aminés.

- Les peptides : Les acides aminés s'unissent les uns aux autres à travers des liaisons peptiques. Ces liaisons s'établissent à travers le groupement carboxylique du premier acide aminé et le groupement amine du second acide aminé.



Ce sont des polymères d'acides aminés :

$\text{AA}_1 + \text{AA}_2 = \text{dipeptide} ;$

$\text{AA}_1 + \text{AA}_2 + \text{AA}_3 = \text{tripeptide} ;$

$\text{AA}_1 + \dots + \text{AA}_{10+n} < \text{AA}_{100} = \text{polypeptide}.$

- Les protéines : Ce sont des polypeptides renfermant plus d'une cinquantaine d'acides aminés. Les protéines sont des macromolécules qui constituent plus de la moitié du poids sec de l'organisme. Elles sont mises en évidence par la réaction Xanthoprotéique et la réaction de Biuret.

Le test du BIURET met en évidence les liaisons peptidiques et ne marchera que si le composé contient au minimum deux liaisons peptidiques ; il faut donc que ce soit au minimum un tripeptide. La fonction d'une protéine est dépendante de sa forme. Il y a un moyen de faire perdre sa forme à la protéine, c'est la dénaturation. Les agents dénaturants sont : l'augmentation de la température : exemple : un œuf au plat, le blanc d'œuf, le pH acide, l'alcool, les détergents... Il existe deux sortes de protéines : les protéines structurales, qui sont le matériau essentiel de chaque cellule, et les protéines fonctionnelles, qui participent aux processus biologiques. Les protéines sont impliquées dans toutes les fonctions de l'organisme. Elles assurent :

- Un rôle structural et mécanique : maintien de la forme des cellules, contraction musculaire, ...
- Une fonction de défense de l'organisme : anticorps, récepteurs des cellules T, ...
- Un rôle de messager : hormones, insuline, neurotransmetteurs, ...
- Un rôle régulateur : expression des gènes, contrôle de la division cellulaire, ...

La classification des protides est résumée par le tableau suivant :

Principaux groupes		Constitution	Type	Masse moléculaire	Réactions colorées
ACIDES AMINES			Alanine	100	Négatives
POLYPEPTIDES		Quelques dizaines d'acides aminés	Sécrétine	100 x n (5000 pour la sécrétine)	+ ou - suivant les polypeptides
P R O T E I N E S	HOLO-PROTEINES	Nombreux acides aminés	Ovalbumine	De quelques dizaines à quelques centaines de milliers (44 000 pour l'ovalbumine)	Positives
	HETERO-PROTEINES	Nombreux acides aminés + groupement non protidique	Hémoglobine Nucléoprotéines	68 000 Plusieurs millions	Positives

JE RETIENS

La matière vivante est constituée d'éléments minéraux (eau et sels minéraux) et d'éléments organiques.

Les substances minérales sont :

- l'**eau** est, en poids, le constituant le plus important des êtres vivants. Elle facilite de nombreuses réactions.
- les **sels minéraux** ne dépassent pas 5 % du poids frais d'un être vivant. Cependant, ils restent importants et même indispensables.

Les constituants minéraux sont les sels et les ions minéraux. Ils entrent, sous forme de sels, dans la composition des organes (os et dents). Les ions interviennent dans des processus biologiques comme l'activité nerveuse.

Les substances organiques appartiennent à trois grandes familles :

- les **glucides** : ce sont des corps organiques composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène : ce sont des corps ternaires. Ils jouent un rôle important dans le métabolisme énergétique. Ils comprennent les oses (glucose, fructose, galactose) qui sont solubles dans l'eau, fermentescibles et réducteurs; les diholosides (saccharose, maltose, lactose) formés de deux oses et les polyholosides (amidon, glycogène, cellulose) dont l'hydrolyse donne plusieurs glucoses.

Les polymères tels que l'amidon (chez les végétaux) ou le glycogène (chez les animaux) servent de réserve de glucose utilisée comme carburant par les cellules pour produire de l'énergie lors de la respiration.

- les **lipides** : ils constituent la matière grasse des êtres vivants. Ce sont de petites molécules formées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène : ce sont des corps ternaires. Leur densité est inférieure à celle de l'eau. Ils peuvent être à l'état solide (cire) ou liquide (huile). Ils sont insolubles dans l'eau avec laquelle ils forment une émulsion instable pouvant être stabilisée grâce à des substances émulsifiantes (savon, détergents, bile...).

Ils laissent une tâche translucide sur le papier qui ne disparaît pas à chaud.

Les acides gras sont des molécules linéaires plus ou moins longues, qui sont mises en réserve par l'organisme sous forme de triglycérides. Ce sont des chaînes hydrogénocarbonées terminées par une fonction acide carboxylique. Si la chaîne hydrogénocarbonée contient une ou plusieurs doubles liaisons, l'acide gras est insaturé (acide oléique, linoléique et érucique) ; s'il n'y a pas de doubles liaisons, l'acide gras est saturé (acide butyrique, stérique, et palmitique). L'alcool le plus fréquent est le triolalcool, le glycérol ($\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$). Les triglycérides sont les graisses qui forment une réserve énergétique aussi bien chez les animaux que chez les végétaux. Les phospholipides entrent dans la composition de la membrane cellulaire. Les stéroïdes, dérivés du cholestérol, sont souvent des molécules fonctionnelles (hormones...).

- les **protides** : sont composés fondamentalement de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote : ce sont des corps quaternaires. Les protides peuvent être mis en évidence par la coagulation (effet de la chaleur et des acides) et les réactions de coloration (réactions xanthoprotéique et du biuret).
 - Réaction xanthoprotéique utilisant de l'acide nitrique, puis après rinçage à l'eau, de l'ammoniaque comme réactifs spécifiques : Coloration jaune serin puis teinte orangée ;
 - Réaction de biuret utilisant le sulfate de cuivre, après rinçage à l'eau, de la soude ou de la potasse : teinte violette très intense.

Les acides aminés sont de petites molécules azotées présentant une fonction acide et une fonction amine. Ces acides aminés se lient entre eux par des liaisons peptidiques (-CO-NH-) pour donner de longues chaînes appelées polypeptides. Les protéines sont formées d'un enchaînement d'acides aminés. Elles sont le principal matériau de construction de l'organisme. Elles ont aussi un rôle fonctionnel : ce sont des hormones, des enzymes... Les protéines sont des macromolécules dont l'hydrolyse montre qu'elles sont formées essentiellement d'acides aminés (holoprotéines) auxquels s'ajoutent parfois d'autres groupements chimiques (hétéroprotéines). Le soufre S et le phosphore P sont le plus souvent présents dans les molécules de protide.

Ils participent à toutes les fonctions de l'organisme : structure, défense immunitaire, communication hormonale et nerveuse, expression génique.

JE M'EXRCE

Exercice 1 :

1- Les êtres vivants se caractérisent par :

- A- leur richesse en sels minéraux et leur richesse en eau.
- B- leur matière vivante et leur richesse en eau.
- C- leur matière carbonée et leur richesse en sels minéraux.
- D- leur matière carbonée et leur richesse en eau.

2- La proportion de carbone est :

- A- plus importante dans le monde vivant que dans le monde inerte.
- B- infime dans le monde vivant.
- C- identique dans le monde inerte et entre le monde vivant.
- D- plus importante dans le monde inerte que dans le monde vivant.

3- Les éléments chimiques principaux des êtres vivants sont :

- A- C, H, Na.
- B- C, Na, N.
- C- C, Na, O.
- D- C, H, O.

4- Les atomes représentant le plus grand % de la masse dans une cellule vivante sont:

- A- le carbone.
- B- l'oxygène.
- C- l'hydrogène.
- D- l'azote.

5- Les molécules les plus abondantes dans les cellules vivantes sont :

- A- l'eau.
- B- les glucides.
- C- les protéines.
- D- les lipides.

6- Une liaison peptidique est une liaison forte entre :

- A- deux acides aminés.
- B- un ose et un acide aminé.
- C- deux nucléotides de deux brins d'ADN.
- D- deux oses.

7- Quelles sont les deux sortes de substances chimiques constituant tout organisme vivant ?

- A- Minérales et organiques.
- B- Végétales et mécaniques.
- C- Organiques et végétales.
- D- Végétales et minérales.

8- Quel est le pourcentage d'eau dans notre corps ?

- A- 65 % à 70 %.
- B- 60 % à 65 %.
- C- 75 % à 80 %.
- D- 55 % à 60 %.

9- Combien y a-t-il de sortes de sucres ?

- A- 2.
- B- 3.
- C- 4.
- D- 5.

10- Le glucose est un...

- A- Ose.
- B- Dioside.
- C- Polyoside.
- D- sucre simple.

11- Le saccharose est un...

- A- Ose.
- B- Dioside.
- C- Polyoside.
- D- sucre simple.

12- Le cellulose est un...

- A- Ose.
- B- Dioside.
- C- Polyoside.
- D- sucre complexe.

13- Quel est le rôle des glucides ?

- A- Support de l'information génétique.
- B- Source d'énergie importante.
- C- Structure et réserve.
- D- Constitution des tissus.

14-De quoi sont constitués les protides

- A- d'acides amminés.
- B- d'acides haminés.
- C- d'acydes aminés.
- D- d'acides aminés.

15- Combien y a-t-il d'acides aminés dans la nature ?

- A- 10.
- B- 15.
- C- 20.
- D- 5.

16- L'union de deux acides aminés est la définition des...

- A- Protéines.
- B- Polypeptides.
- C- Dipeptides.
- D- Tripeptides.

17- Une chaîne d'acides aminés inférieure à 60 est un...

- A- Protéine.
- B- Polypeptide.
- C- Dipeptide.
- D- Tripeptide.

18- Quel est le rôle des protides ?

- A- Structure et réserve.
- B- Support information génétique.
- C- Source d'énergie importante
- D- Constitution des tissus.

19- Les protéines sont d'origine...

- A- Végétale et minérale.
- B- Organique et cellulaire.
- C- Végétale et animale.
- D- Minérale et robotique.

20- Trois acides gras + un glycérol = ...

A- un triglycéride.

B- un glycéride.

C- un diglycéride.

D- un triglycérol.

Exercice 2

Parmi les propositions qui suivent, indiquez celles qui vous semblent appartenir à la catégorie des molécules organiques et à la catégorie minérale :

l'eau : H_2O .

le dioxygène : O_2

l'éthanol : $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

le paracétamol : $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$

la cordiérite : $\text{Al}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_5\text{O}_{18}$

l'ammoniac : NH_3

le dioxyde de carbone : CO_2

la diopside : $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$

l'oléine : $\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$

la sérine : $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_3$

Glucose : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Amidon : $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$

Exercice 3

Lisez les deux listes de noms ci-dessous. Associez un nom de la liste 1 à un nom de la liste 2. Précisez le lien qui unit les deux noms associés.

2- Indiquez la composition du glycogène.

Liste 1 : lipide, glucide, protéine, élément minéral.

Liste 2 : glycogène, acide aminé, calcium, triglycéride.

Exercice 4

1-Quels composés contiennent de l'Azote ?

2- La formule CHO-CHOH-CHOH-CHOH-CHOH-CH₂OH est celle :

a) du saccharose ; b) du glucose ; c) de l'amidon ; d) d'un lipide ; e) d'une protéine ?

3- Un lipide est formé de:

a) alcool+ ester ; b) alcool+ acide gras ; c) acides gras seulement ;d) alcool+glycérol ?

Exercice 5

1- Répondez par : vrai ou faux :

a- Un acide aminé est la molécule élémentaire constitutive d'une protéine.

b- Les graisses sont des protéines.

2- Choisir l'information fausse relative aux lipides, parmi les propositions suivantes (un seul choix).

a- Les lipides rentrent dans la structure des hormones et des vitamines.

b- Il est possible d'extraire les lipides à partir des tissus par des solvants polaires comme les alcools

c- La présence ou absence de liaisons doubles dans les acides gras influence l'apparition des formes solides ou liquides des lipides

3- Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) exacte(s)?

a- Les oses simples sont des molécules qui comprennent de trois à neuf atomes de carbone.

b- Les oses simples ne comprennent que des atomes d'hydrogène, de carbone et d'oxygène.

c- On peut définir les oses simples par un rapport précis entre leur nombre de carbones et d'oxygène.

Exercice 6

Trouvez la définition de chacun des mots suivants :

Monoglycéride, Triglycéride, Acide gras insaturé et Acide gras saturé :

- 1- Obtenu à partir du glycérol et trois acides gras.
- 2- Acide organique à chaîne linéaire pouvant comporter 1 ou plusieurs doubles liaisons.
- 3- Le résultat de la réaction de l'hydrolyse des triglycérides, catalysée par une lipase.
- 4- Un acide organique à chaîne linéaire dans laquelle il n'y a aucune double liaison.

Exercice 7

A l'aide des différents réactifs spécifiques, on cherche à déterminer la composition chimique d'un jus de fruit quelconque. Les résultats sont mentionnés sur le tableau ci-après :

Réactifs utilisés	Résultats
Oxalate d'ammonium	+
AgNO_3	-
Liqueur de Fehling	+
BaCl_2	+
Diphénylamine	-

1- Décrire la technique expérimentale correspondant à chaque réactif.

- donner la réaction obtenue et le cas échéant pour chaque expérience

2- Interpréter les réactions obtenues et déduire la composition chimique de ce jus de fruit.

Exercice 8

A) Questions à réponse unique et courte.

- 1- Citer deux exemples d'oses et en donner la formule brute.
- 2- Quels sont les monomères (molécules constitutives) des protéines.
- 3- Citer une réaction caractéristique des « sucres réducteurs ».
- 4- Citer une réaction de coloration caractéristique de liaison peptidique.
- 5- Comment appelle-t-on la liaison qui s'établit entre deux acides aminés soufrés dans une chaîne polypeptidique

B) Corriger les affirmations inexactes :

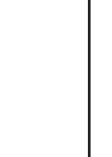
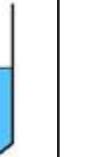
- 1-L'amidon est une réserve glucidique présente dans des nombreuses cellules animales et végétales.
- 2-Une protéine est une chaîne d'oses liés entre eux par des liaisons peptidiques.
- 3- Le glucide est une molécule qui laisse une tache translucide indélébile sur le papier.
- 4- L'eau représente une masse très faible dans toutes les matières vivantes.

Exercice 9

Expérience

On met dans un ballon de l'empois d'amidon et quelques gouttes d'acide chlorhydrique. Le mélange est porté à 100°C pendant une heure. Deux prélèvements sont réalisés toutes les vingt minutes : l'un est soumis, après refroidissement au test de l'eau iodée ; l'autre au test à la liqueur de Fehling bouillante.

- Résultats : les résultats se trouvent consignés dans le tableau suivant :

	Temps en minutes			
	0	20	40	60
Eau iodée				
Liqueur de Fehling				

- a) Justifier l'utilisation de l'eau iodée et de la liqueur de Fehling.
- b) Analyser et interpréter les résultats obtenus. Conclure.
- c) Déterminer l'action du HCl pour ces réactions chimiques et ses conditions d'action.

Quel nom peut-on attribuer à l'HCl dans ce cas ?

J'approfondis mes connaissances

Document :

L'organisation fonctionnelle du vivant.

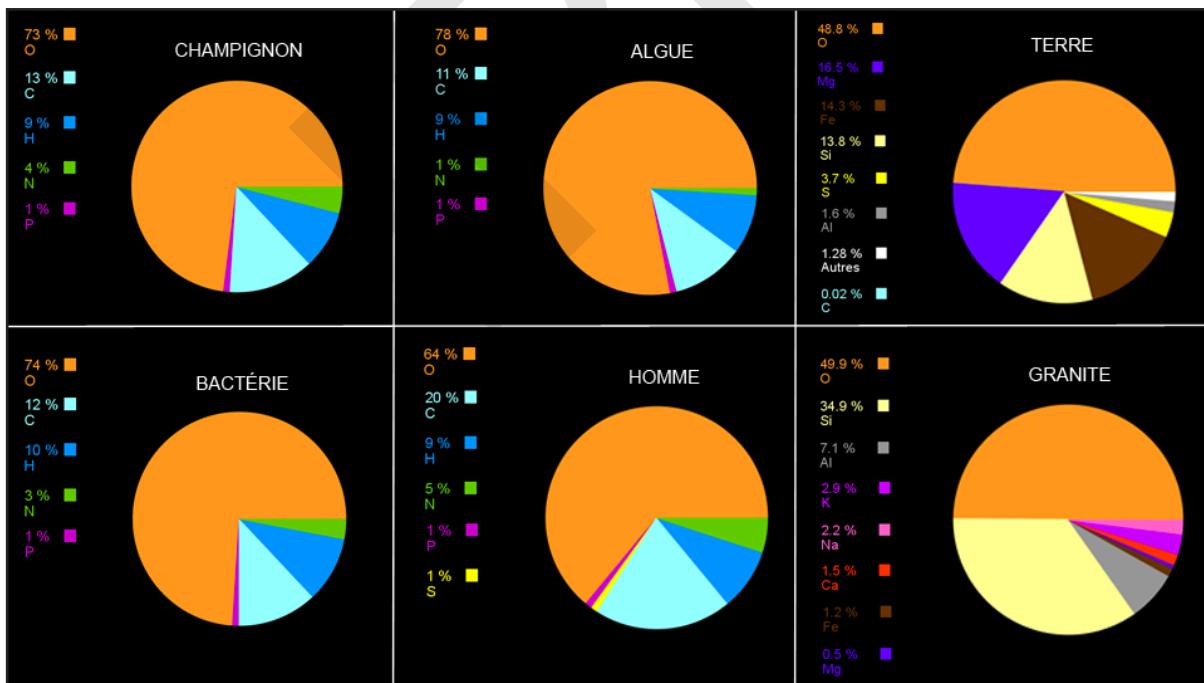
«La Terre est la seule planète du système solaire réunissant toutes les caractéristiques pour que la vie s'y développe. De ce fait, depuis plus de 3 milliards d'années, des êtres vivants sont apparus sur Terre et se sont construits à partir des éléments chimiques disponibles à la surface de notre planète.

On distingue donc la matière vivante qui constitue les êtres vivants et la matière inerte ou matière non vivante qu'on retrouve dans l'atmosphère, dans les roches de la lithosphère et dans les milieux liquides principalement constitués d'eau. Toute la couche d'eau à la surface de la terre s'appelle l'hydrosphère.

I. Proportions en éléments chimiques

La matière vivante et la matière inerte sont composées d'éléments chimiques (= atomes) comparables mais dans des proportions variables.

Les six graphiques représentés ci-dessous sont appelés graphiques circulaires ou camembert.



Ces graphiques représentent quatre êtres vivants : un champignon, une bactérie, une algue et un homme. Les deux autres représentent de la matière inerte : du granite et la planète Terre dans son ensemble.

On constate que dans les six graphiques, l'élément chimique principal est l'oxygène (O).

Dans les êtres vivants, il y a aussi beaucoup de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'azote (N). Dans les éléments de la matière inerte on note la présence de beaucoup de silicium (Si), de magnésium (Mg), d'aluminium et de fer.

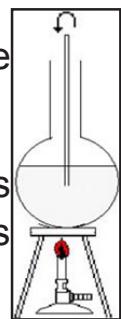
Ces atomes, qui composent la matière, sont réunis au sein de molécules. Une molécule est un assemblage d'atomes plus ou moins importants.

II. Composition moléculaire de la matière vivante et de la matière inerte

A. Monde inerte

Les molécules constitutives de la matière inerte sont toutes minérales. Elles peuvent être :

- des éléments isolés (atomes isolés) : du fer, du calcium,
- des petites molécules : l'eau (H_2O : 2 atomes d'hydrogène et 1 atome d'oxygène), le dioxyde de carbone (CO_2),
- des minéraux des roches : les silicates (SiO_4 , les planètes rocheuses comme la Terre sont constituées en grande partie de roches silicatées comme le quartz).



B. Monde vivant

Contrairement au monde inerte, dans le monde vivant il y a à la fois des molécules minérales et des molécules organiques.

Les molécules minérales qu'on trouve dans les êtres vivants sont à 80 % des molécules d'eau. On trouve aussi, en petite quantité, des oligoéléments comme le calcium (Ca) ou le phosphore (P) qui constituent par exemple en grande partie les os de notre squelette.

Quant aux molécules organiques, elles regroupent quatre familles principales :

- les glucides (les sucres)
- les lipides (les corps gras ou graisses)
- les protides (les protéines)
- les acides nucléiques (regroupant notamment les molécules d'ADN se trouvant dans le programme génétique de nos cellules).» www.lesbonsprofs.com

J'utilise mes connaissances

Projet de classe :

A la fin du chapitre 4, les élèves en sous-groupes préparent un compte rendu d'une recherche sur les constituants fondamentaux de la matière vivante : faire une recherche documentaire auprès de personnes ressources, rédiger un compte rendu et le présenter aux élèves de la classe.

S'informer auprès du professeur de Français (pour le langage scientifique adapté), de SVT, d'EPS ou de biologiste et de médecin.

Groupe 1 : Compte rendu au sujet de la biochimie en tant que spécialité d'étude.

Groupe 2 : Préparer une fiche métier d'un biochimiste (Activités, compétences, formation, carrière).

Etude de quelques aliments de ta région ou de ta localité :

En t'inspirant du document suivant, établis avec tes amis de classe ou du quartier une étude des aliments les plus consommés dans ta localité (ou ta région) pour mettre à la disposition des populations, des informations les aidant à améliorer leurs régimes alimentaires.

A la lumière de cette étude, vous ferez l'inventaire des constituants de ces aliments.

Le document ci-dessous, en plus de tes propres recherches documentaires et sur internet, pourra t'orienter dans ce sens..

« Des réactions spécifiques permettent de mettre en évidence ces constituants :

Test de mise en évidence	Constituant mis en évidence	Protocole.
Test à la Liqueur de Fehling	Glucose (C'est un glucide)	Ajouter environ 1mL de liqueur de Fehling au liquide à tester. Faites chauffer jusqu'à ébullition. Un précipité rouge brique se forme.
Test du BIURET	Protides	Ajouter environ 1 mL de soude au liquide à tester Ajouter quelques gouttes d'une solution de sulfate de cuivre, Une coloration violet pâle apparaît
Test de Carbonisation	Substances carbonées (glucides, lipides, protides)	Faire chauffer un petit fragment dans un tube à essai, Les substances carbonées deviennent noires.
Test à l'eau iodée	Amidon (C'est un glucide)	Au contact de quelques goutte d'eau iodée, une coloration violet noir apparaît
Test de reconnaissance de l'eau	Eau	Déposer quelques cristaux de sulfate de cuivre anhydre sur un fragment à tester, le sulfate de cuivre devient bleu en présence d'eau.
Test Trace sur le papier	Lipides	Si une substance laisse une trace translucide qui ne disparaît pas lorsqu'on la frotte sur une feuille de papier, c'est qu'elle contient des lipides

1°) Tu effectueras chaque test sur un seul aliment, et tu changeras d'aliment à chaque test.

Si tu termines en avance, tu pourras effectuer ces tests sur d'autres aliments.

2°) Tu recopieras et tu compléteras les cases du tableau suivant au fur et à mesure de tes expériences.

Test réalisé	Aliment testé	Résultat	Conclusion.

3°) Pour deux tests différents (un positif et un négatif), tu recopieras et complèteras les phrases ci-dessous:

Mon but est de rechercher.....(substance).....dans.....(Aliment).....

Mon hypothèse est que(Aliment)..... contient(substance).....

Si je fais.....(test réalisé), alors je dois avoir(résultat attendu).....

or J'ai (je n'ai pas)(résultat observé).....

donc mon hypothèse est(validée ou rejetée)..... le(Aliment).....

(ne) contient (pas).....(substance).....

4°) A partir des résultats obtenus par l'ensemble de la classe, indique sur ta feuille les constituants de chaque aliment. Tes phrases seront scientifiquement et grammaticalement correctes. »

Jacques FLORIMONT in Mise en évidence des constituants de la matière vivante. <http://florimont.info> ' seconde ' tpsubstances.

IPN

UTILISATION DES NUTRIMENTS POUR LA PRODUCTION D'ENERGIE : cas des muscles striés

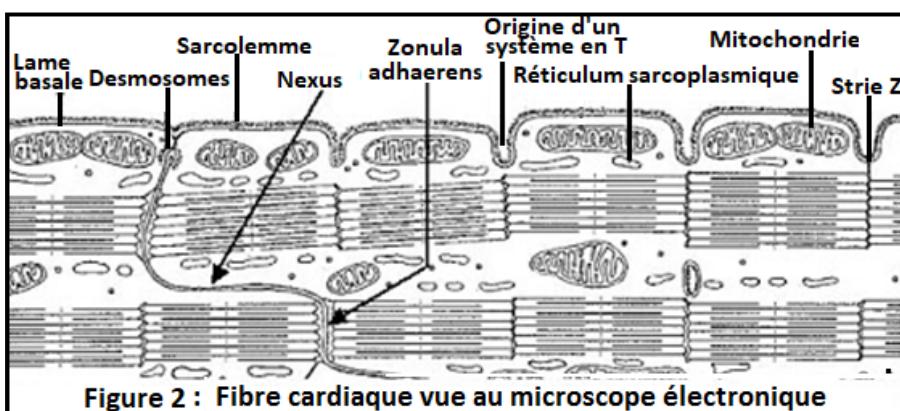
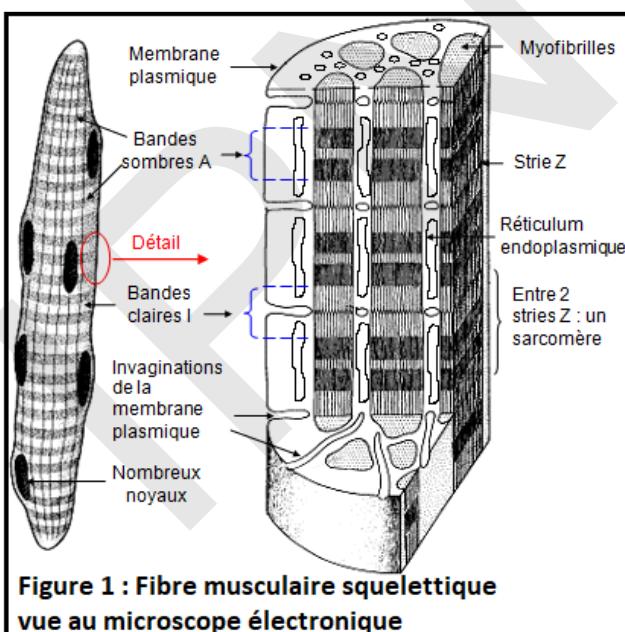
JEDÉCOUVRE

I-Ultrastructure de la cellule musculaire

Activité 1

Comparer l'ultrastructure des cellules musculaires squelettiques et cardiaques.

Les figures du document suivant représentent des cellules musculaires squelettiques (fig.1) et cardiaque (fig. 2) vues au microscope électronique.



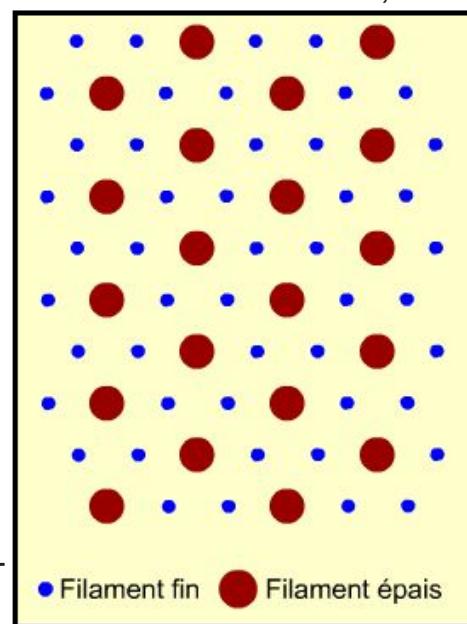
Comparer, sous forme de tableau, les deux figures afin de dégager l'ultrastructure de base de la cellule musculaire striée.

Comparaison :	Fibre musculaire squelettique	Fibre musculaire cardiaque
Striation	Groupées, - alternance, dans le sens longitudinal, de disques sombres et clairs ; - alternance, dans le sens transversal, de myofilaments épais de myosine et de myofilaments fins d'actine.	Groupées, - alternance, dans le sens longitudinal, de disques sombres et clairs ; - alternance, dans le sens transversal, de myofilaments épais de myosine et de myofilaments fins d'actine. - stries scalariformes
Noyaux	Cellule pluriplastique (syncytium), noyaux périphériques.	Un seul noyau central.
Réticulum sarcoplasmique	Très développé.	Très développé.
Mitochondries	Nombreuses.	Plus nombreuses.
Myoglobine	Présente.	Présente.
Lame basale	Présente.	Présente.
Sarcolemme	Présente.	Présente.
Grains de glycogène	Abondants.	Plus abondants.

Les cellules musculaires (fibres musculaires) possèdent un certain nombre de caractéristiques communes.

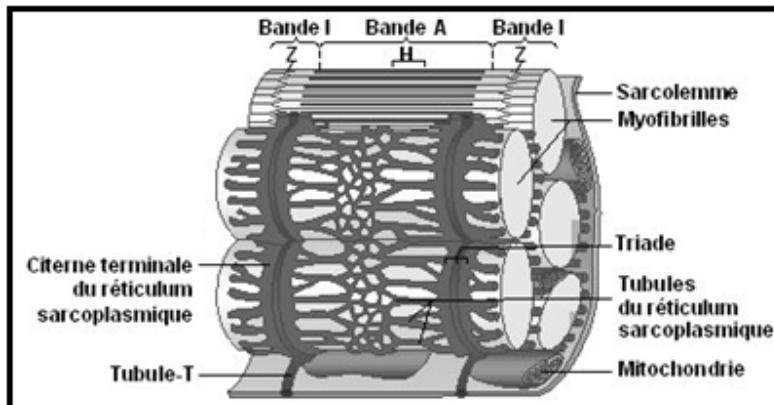
- Elles sont spécialisées dans la production d'un travail mécanique, la contraction musculaire.
- Leur cytoplasme contient un matériel protéique filamentaire contractile, les myofilaments d'actine et de myosine.
- Leur membrane plasmique contient de nombreux récepteurs à des molécules variées ainsi que des transporteurs (notamment de glucose).
- Elles sont revêtues par une membrane basale.

L'élément fondamental du tissu musculaire strié est la cellule musculaire squelettique (rhabdomysocytes), responsable des mouvements volontaires et du maintien de la posture. Elle se caractérise par une striation transversale résultant de



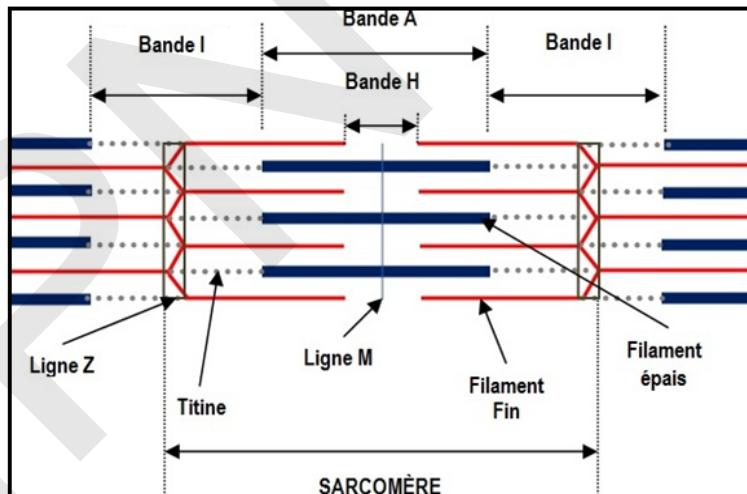
l'organisation des myofilaments composés de filaments épais de myosine et de filaments fins d'actine.

Les myofibrilles occupent la majeure partie du cytoplasme et se groupent en faisceaux. Entre les myofibrilles, des bandes étroites de sarcoplasme contiennent les organites de la cellule. La striation apparaît comme une alternance de bandes claires et de bandes sombres.



La membrane plasmique des fibres musculaires, également appelée sarcolemme, présente des invaginations appelées tubules T qui entrent en contact avec le réticulum sarcoplasmique de la cellule pour former des structures appelées triades.

Le cytoplasme (appelé sarcoplasme dans les cellules musculaires) présente une striation avec alternance de bandes A et de bandes I.



L'unité contractile du myocyte correspondant à l'espace compris entre deux stries Z. Il est composé de deux demi-disques clairs entourant un disque sombre.

Chaque disque clair (bande I) est formé de myofilaments d'actine alors que chaque disque sombre (bande A) est composé de myofilaments d'actine et de myosine sauf au niveau de la bande H où il n'y a que la myosine.

Un myofilament de myosine contient environ 200 molécules de myosine constituées chacune d'une « tige » et de deux têtes globuleuses. Les têtes servent de sites de liaison pour les filaments d'actine. Chaque myofilament d'actine est composé de deux filaments d'actine enroulés l'un autour de l'autre (la tropomyosine sert à consolider l'ensemble) : ils portent des sites de liaison pour la myosine.

Les myocytes cardiaques (cardiomyocytes) sont des cellules contractiles composant le muscle cardiaque. Ce sont des cellules musculaires particulières en raison des disques de jonctions (ou disques intercalaires) qui les relient. Ces disques intercalaires contiennent des desmosomes et des jonctions communicantes (jonctions gap). Les desmosomes permettent de lier les cellules musculaires ensemble, alors que les jonctions communicantes permettent le transfert des potentiels d'action.

Le cardiomyocyte est uninucléé ayant le même aspect strié que les fibres musculaires squelettiques, mais celui-ci est beaucoup moins bien organisé. En effet, du fait de la présence du noyau au centre de la fibre musculaire cardiaque l'appareil de contraction apparaît séparé. Les myofibrilles sont disposées selon le grand axe de la cellule, la strie Z se liant à la membrane. Une caractéristique histologique de ce tissu est la présence de stries dites scalariformes, stries séparant la cellule sur toute sa largeur, très marquées, en forme de marches d'escalier. Par le biais de ces stries scalariformes, il existe un contact étroit entre les extrémités distales des cellules pour permettre une diffusion rapide de la contraction à travers tout le myocarde.

II- Production d'énergie

Toutes les cellules du corps humain sont capables d'utiliser le glucose pour produire un intermédiaire énergétique : la molécule d'ATP (adénosine triphosphate). Cette molécule est utilisée dans de nombreux processus cellulaires. Certaines cellules ont un besoin impératif de glucose comme source d'énergie: c'est le cas en particulier des cellules musculaires.

Activité 2

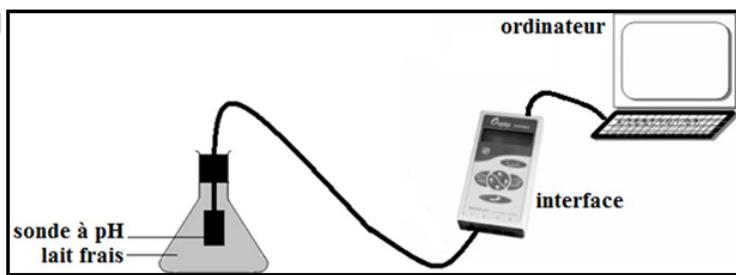
Qu'est-ce la glycolyse ?

Expérience : Production d'énergie par *Lactobacillus* à partir du lactose.

Dans le lait frais, vivent plusieurs espèces de bactéries parmi lesquelles on trouve *Lactobacillus* qui se caractérise par sa capacité à utiliser le lactose comme métabolite pour produire l'énergie nécessaire à sa vie.

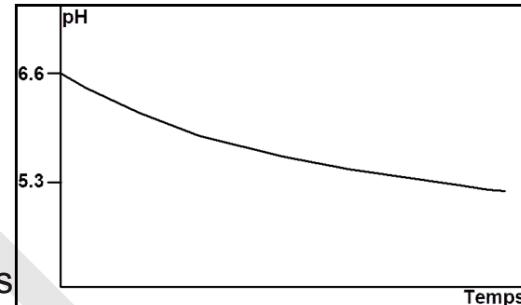
Pour étudier les phénomènes qui produisent l'énergie par *Lactobacillus* à partir du lactose, on réalise l'expérience suivante :

- Remplir complètement avec du lait frais un récipient de 250 mL (le récipient ne doit pas contenir de l'air) ;



- Introduire dans le lait une sonde à pH reliée à un dispositif d'EXAO (expérience assistée par ordinateur) ;

- Laisser la préparation pendant 15 jours à une température de 40 °C. Pendant toute cette période, suivre l'évolution du pH du milieu (voir dispositif ci-contre) ;



- Le graphique ci-contre résume les résultats obtenus.

- L'analyse du lait à la fin de l'expérience montre la présence d'une grande quantité d'acide lactique ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$), un peu d'acide pyruvique et absence de CO_2 .

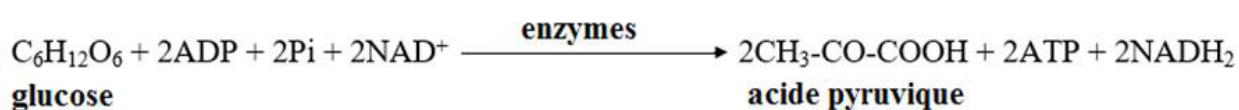
Exploiter ces résultats, en vue d'expliquer la glycolyse.

Le pH diminue de 6,6 à 5,3 (graphe).

L'absence de CO₂ indique que *Lactobacillus* n'utilise pas la respiration pour dégrader le lactose, donc il utilise la fermentation.

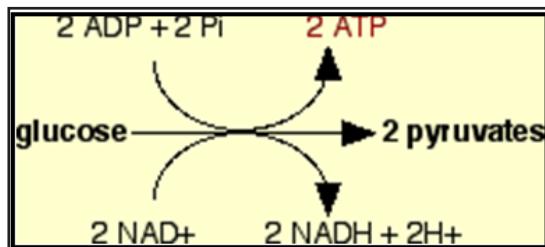
La présence d'acide pyruvique prouve que la fermentation commence comme la respiration par la glycolyse. En absence d' O_2 , l'acide pyruvique est transformé en acide lactique, c'est pour cette raison qu'on appelle ce phénomène fermentation lactique.

La glycolyse se déroule dans le hyaloplasme où chaque molécule de glucose donne deux molécules d'acide pyruvique grâce à une chaîne de réactions chimiques. On peut résumer cette étape comme suit :



Elle peut aussi être représentée ainsi :

De manière très schématique, la glycolyse permet la dégradation de glucose en pyruvate.

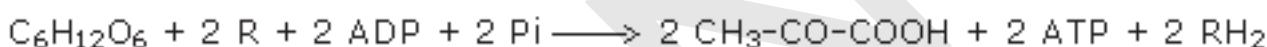


Cette dégradation permet la production de deux ATP et de deux NADH, H⁺.

La première étape commune à tous les modes de fermentation est la glycolyse, convertissant le glucose en pyruvate avec phosphorylation de deux molécules d'ADP en ATP et réduction de deux molécules de NAD⁺ en NADH:

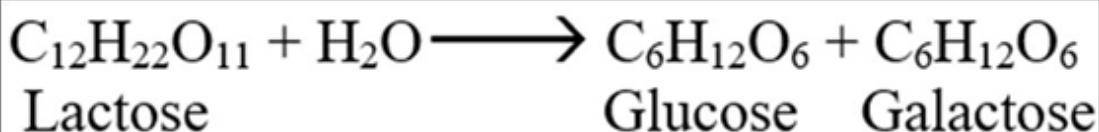
La première étape correspond à la glycolyse comme pour la respiration : le glucose est oxydé en pyruvate, de l'ATP est directement formé et deux molécules d'accepteurs R sont réduites en RH₂.

Le bilan de la glycolyse est rappelé ici :



NB.

- La fermentation lactique s'observe dans les muscles lors un effort physique long et intense.
- NAD = nicotinamide adénine dinucléotide.
- Le lactose est un disaccharide qui donne par hydrolyse, une molécule de glucose et une molécule de galactose suivant la réaction suivante :



- Hyaloplasme : Substance visqueuse dans laquelle baignent les organites cellulaires. Il comprend le cytosol et le cytosquelette. Avec les organites cellulaires, ils forment le cytoplasme).

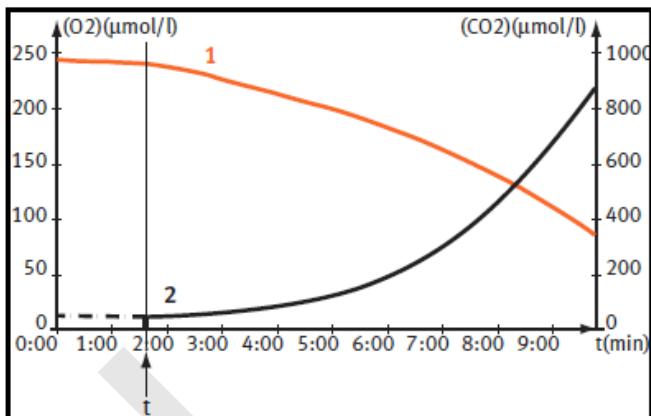
Activité 3

Comment se déroule l'oxydation ?

On se propose d'étudier des relations qui existent entre la respiration et la consommation du glucose chez la levure de bière.

Expérience : Relation entre la respiration et la consommation de la matière organique.

- Prépare une suspension de levure de bière riche en O_2 ;
- Laisser cette suspension sans nutriments pendant deux jours ;



- Grace à un équipement d'EXAO (expérience assistée par ordinateur), mesurer la concentration d' O_2 et de CO_2 ;
- Au temps t , ajouter au milieu 0.1 ml d'une solution de glucose à 5%.
- Le graphique ci-contre représente les résultats obtenus.
- On remarque aussi que la température était constante avant le temps t alors qu'elle s'élève après l'ajout du glucose.

Analyser ces résultats en vue d'expliquer le phénomène de respiration.

Analyse des résultats

En l'absence de matière organique, les échanges gazeux sont presque stables, avec une quantité d' O_2 élevée et une faible quantité de CO_2 . L'ajout du glucose est immédiatement suivi d'une diminution de la concentration d' O_2 (de 250 $\mu\text{mol/L}$ à 90 $\mu\text{mol/L}$) alors que celle du CO_2 augmente (de 50 $\mu\text{mol/L}$ à 900 $\mu\text{mol/L}$).

- Explication des résultats : Au cours de la respiration, les cellules consomment la matière organique et l' O_2 , rejettent le CO_2 et libèrent de l'énergie (augmentation de la température).

La respiration permet de transformer l'énergie chimique contenue dans les matières organiques en énergie chimique sous forme de molécules d'ATP (Adénosine Triphosphate).

L'ATP est la seule source d'énergie que les cellules peuvent utiliser directement.

Conclusion : Dans un milieu aérobie, les métabolites sont dégradés grâce à la respiration où l'O₂ absorbé entre dans des réactions chimiques qui libèrent du CO₂ et de l'énergie sous forme d'ATP. On peut résumer ces réactions sous la forme suivante :



Activité 4

Quelles sont les étapes de la respiration cellulaire et où se déroulent-elles ?

Expérience : Etude de quelques aspects de la respiration cellulaire.

- Cultiver des cellules animales dans un milieu riche en O₂ et contenant du glucose (G) marqué avec du ¹⁴C ;
- Analyser des échantillons de ces cellules à des temps réguliers (t₀, t₁, t₂, t₃ et t₄) pour suivre la radioactivité dans plusieurs substances : l'acide pyruvique (P), des acides issus d'une série de réactions (AK) et le CO₂.
- Le tableau suivant donne les lieux et les quantités des mesures.

Temps	Milieux extracellulaire	Cytoplasme	
		Hyaloplasme	(Mitochondrie (organite
t ₀	++++G		
t ₁	++G	++G	
t ₂		+++AP	++AP
t ₃			CO ₂ + et +++AP , +AK
t ₄	CO ₂ ++	CO ₂ ++	+++AK

Le nombre de signe + est proportionnel au taux de radioactivité.

- Cultiver des cellules dans un milieu riche en O₂ et contenant du glucose marqué avec de l'¹⁸O. Constater que le CO₂ rejeté est radioactif.
- Cultiver des cellules dans un milieu riche en ¹⁸O₂ et contenant du glucose normal (C₆H₁₂O₆). Constater que le milieu s'enrichit progressivement en eau radioactive.

A partir de l'étude de ces données, expliquer :

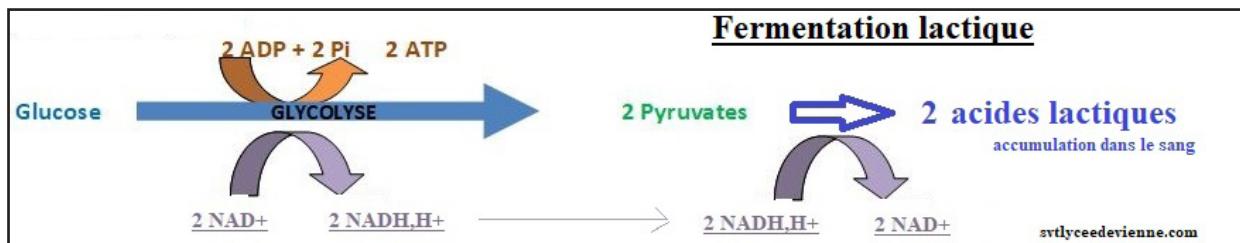
- les étapes de la dégradation du glucose dans la cellule et leur lieu de déroulement ;
- l'origine du carbone du CO₂ ;
- l'origine de l'oxygène du CO₂ ;
- l'origine du CO₂ ;
- l'apparition d'eau radioactive.

Analyse des données :

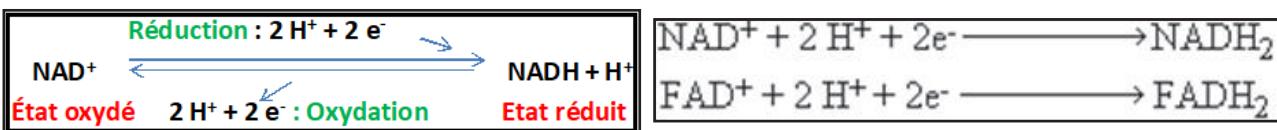
- * Dans le hyaloplasme, le glucose se transforme en acide pyruvique ou pyruvate (AP), ce dernier passe dans les mitochondries où il entre dans une série de réactions (cycle de Krebs) qui aboutit à la formation de plusieurs acides (AK) et le rejet de CO₂.
- * L'origine du carbone du CO₂ est la matière organique dégradée.
- * L'origine de l'oxygène du CO₂ est la matière organique dégradée.
- * Le CO₂ résulte de la décarboxylation (Réaction au cours de laquelle une molécule de CO₂ est éliminée d'une molécule organique) de la matière organique dégradée.
- * L'apparition d'eau radioactive indique que des atomes d'hydrogène sont perdus par la matière organique dégradée (déshydrogénéation). Cet hydrogène réagit avec l'O₂ absorbé par les cellules et donne de l'eau. Donc l'O₂ joue le rôle de récepteur final de l'hydrogène.

Récapitulation : Mécanisme de la respiration :

- Première étape :** La première étape de la respiration est appelée glycolyse. Cette étape a lieu dans le cytoplasme. Elle correspond à l'oxydation du glucose en pyruvate (acide pyruvique). Cette réaction est associée à la production de 2 moles d'acide pyruvique, 2 moles d'ATP et 2 moles de transporteurs réduits (NADH + H⁺) suivant les réactions :



NB. NAD (nicotinamide adénine dinucléotide) et FAD (flavine adénine dinucléotide) = Transporteurs de protons et d'électrons.



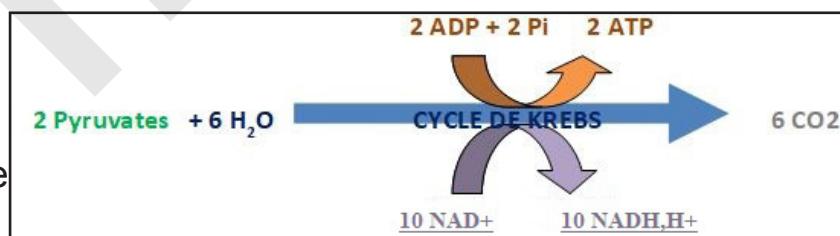
- Deuxième étape : La seconde étape correspond à la dégradation du pyruvate. Elle a lieu dans la matrice mitochondriale. Cette étape appelée cycle de Krebs est une suite de décarboxylations oxydatives où l'acide pyruvique (composé à 3 atomes de carbone)

- ◆ perd un CO_2 (= décarboxylation) ;
- ◆ perd un atome d'hydrogène (déshydrogénéation) ;
- ◆ s'associe au coenzyme A et forme l'acétylCoA (composé à 2 atomes de carbone).

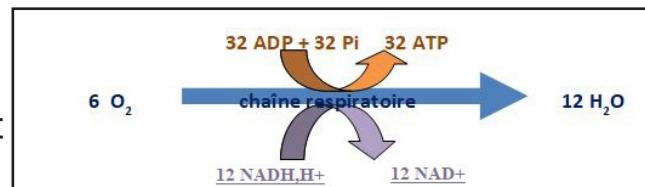
L'acétyl CoA entre dans le cycle de Krebs en se fixant sur un composé à 4 atomes de carbone

Cycle de Krebs :

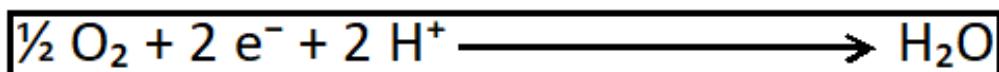
- ◆ Décarboxylation = perte de CO_2 ;
- ◆ Déshydrogénéation = libération de H^+ et e^- pris en charge par des transporteurs à l'état oxydé NAD^+ et FAD^+ qui passent à l'état réduit : NADH_2 et FADH_2 ;
- ◆ Formation de 2 moles d'ATP.



-Troisième étape : La phosphorylation oxydative. Cette étape se déroule dans les crêtes de la membrane interne des mitochondries. Les composés réduits formés au cours des étapes précédentes sont oxydés par le dioxygène, accepteur final des électrons et protons dans la chaîne d'oxydoréduction. Ces oxydations sont couplées à une production importante d'ATP.



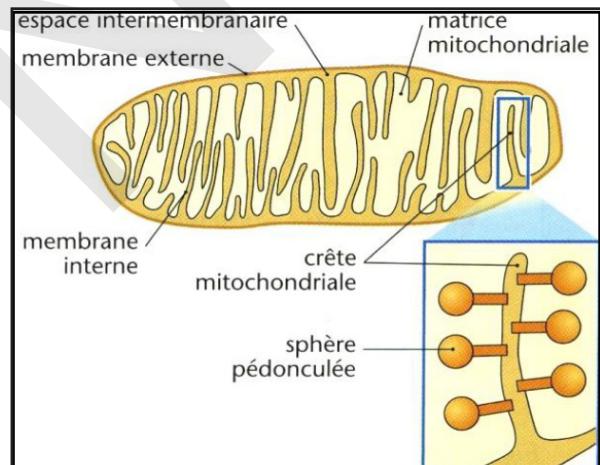
La chaîne respiratoire prend en charge les e^- et les conduit jusqu'à l'accepteur final = O_2



L'énergie perdue par les e^- lors de leur passage dans la chaîne respiratoire est utilisée pour stocker des H^+ dans l'espace intermembranaire ; ce qui crée un gradient de H^+ .

Le transfert de H^+ de l'espace intermembranaire vers la matrice mitochondriale se fait par les sphères pédonculées ce qui permet l'activation de l'ATP synthétase et donc la formation d'ATP.

A l'issue des différentes étapes, une molécule de glucose est totalement oxydée et fournit donc 38 molécules d'ATP.



La mitochondrie est un organite cellulaire indispensable à la respiration. C'est un petit bâtonnet creux à double paroi.

Les mitochondries des muscles rouges, utilisent l'oxygène pour transformer le glucose en une molécule énergétique, l'ATP (l'Adénosine Triphosphate).

Tableau-bilan : Etapes de la dégradation complète du glucose en aérobiose : respiration cellulaire.

Nom des étapes	Localisation cellulaire	Bilan énergétique
Glycolyse :	Cytoplasme	2 ATP
<ul style="list-style-type: none"> • Glucose (C6) → 2 ac. Pyruvique (C3) • $T^+(transporteur oxydé) + 2H^+ + e^- \rightarrow TH, H^+$ (transporteur réduit) ; T = transporteur de protons et d'électrons ex : NAD • $2 ADP + Pi \rightarrow ATP$ 		
Cycle de Krebs :	Matrice mitochondriale	
<ul style="list-style-type: none"> • Ac. Pyruvique(C3) + CoA → acétyl CoA (C2) + CO₂ • Acétyl CoA entre dans le cycle de Krebs: C2 + C4 → C6 <p>ce qui aboutit à la formation : 1 ATP, CO₂ et de TH,H⁺</p>	Membrane interne des mitochondries (chaîne respiratoire)	36 ATP
Phosphorylation oxydative :		
<ul style="list-style-type: none"> • $TH, H^+ \rightarrow T^+ + 2H^+ + 2 e^-$ (permet de régénérer les T à l'état oxydé) • $O_2 + 4 H^+ + 4 e^- \rightarrow 2H_2O$ • ATP 		

Activité 5

Dégager les principales caractéristiques de la fermentation à travers l'étude d'exemples.

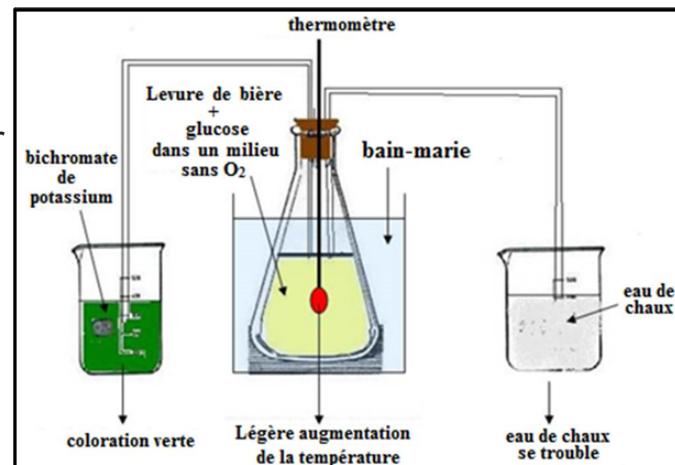
Expérience

La fermentation alcoolique.

Les levures sont des champignons microscopiques unicellulaires (voir figure ci-contre).



- Dans un flacon fermé (sans dioxygène), verser 5 cm³ d'une suspension de levure de boulanger à 35 g par litre.
- Remplir complètement ce flacon d'une solution de glucose à 10 g par litre dans de l'eau bouillie (qui ne contient plus de gaz) ;
- Bien agiter le mélange ;
- Installer un dispositif à dégagement (figure ci-contre).



- Placer le flacon au bain-marie à 40°C ;
- Vingt-quatre heures plus tard, observer les résultats (voir figure).

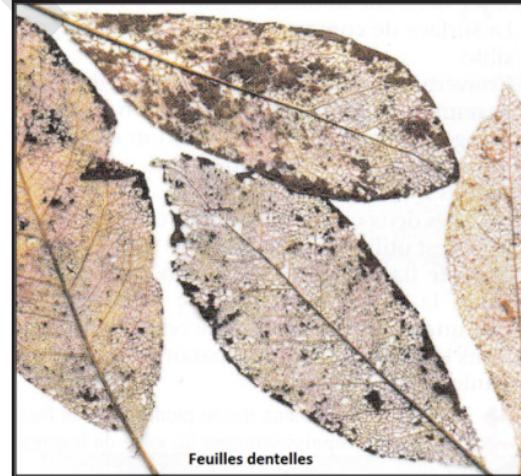
Observations : La fermentation butyrique.

Les « feuilles dentelles ».

- Dans la litière, la décomposition de la matière organique des feuilles est en partie réalisée par les bactéries de la fermentation butyrique. Le limbe est détruit plus rapidement que les nervures.

On rencontre souvent dans des fossés humides, des feuilles réduites à leurs nervures (photographie ci-contre).

- Pour illustrer la fermentation butyrique, citons un exemple avec le Clostridium.



Analyser ces données pour expliquer la fermentation.

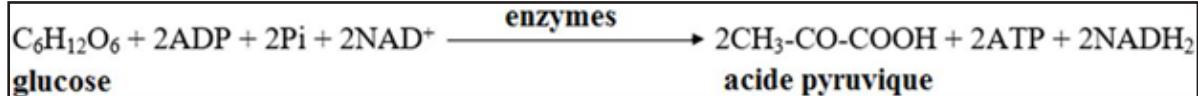
Analyse des données :

Expérience :

L'eau de chaux qui se trouble montre le rejet de CO₂ par la levure. Malgré le rejet de CO₂, on ne peut pas conclure que la levure respire car le milieu est anaérobie. Donc la levure dégrade le glucose par fermentation.

La coloration verte du bichromate de potassium indique la présence d'éthanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), c'est pourquoi on parle de fermentation éthylique.

La fermentation éthylique commence par la glycolyse (comme pour la respiration et la fermentation lactique) :



Etapes de la fermentation alcoolique :

- La première étape correspond à la glycolyse comme pour la respiration : le glucose est oxydé en pyruvate, de l'ATP est directement formé et deux molécules d'accepteurs R sont réduites en RH_2 .

Le bilan de la glycolyse est rappelé ici :

- Le glucose est oxydé en pyruvate et l'accepteur R est réduit.
- En absence d'oxygène, le pyruvate ne pénètre pas dans la mitochondrie et continue à être oxydé dans le hyaloplasme. Le but est de restaurer les accepteurs R dans le hyaloplasme, étant donné que la chaîne respiratoire ne fonctionne pas.
- Le passage du pyruvate à l'éthanol se fait en 2 étapes. Le pyruvate est tout d'abord décarboxylé en éthanal: $\text{CH}_3\text{-CO-COOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{-CHO} + \text{CO}_2$

Puis l'éthanal est réduit en éthanol ; ce qui permet de réoxyder le RH_2 en R ; cette réaction d'oxydoréduction est la suivante :



La synthèse d'ATP par couplage ne peut pas se faire ici, seuls les accepteurs sont régénérés afin que glycolyse et fermentation puissent se poursuivre.

Bilan global

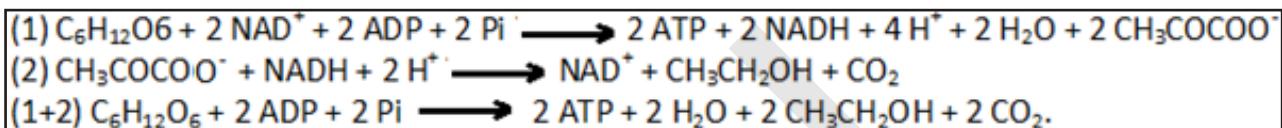
Le bilan global est :



Finalement, le bilan en termes d'ATP formé se limite aux **2 ATP** issus de la **glycolyse**.

La fermentation alcoolique correspond à une oxydation très incomplète du glucose, avec une production de molécules encore riches en énergie.

Elle est réalisée notamment par les levures et convertit des glucides tels que le glucose, le fructose et le saccharose — diholoside formé des deux précédents — en éthanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ et dioxyde de carbone CO_2 avec production d'une faible quantité d'énergie métabolique sous forme d'ATP. Lors de la formation de l'éthanol (réaction 2 ci-dessous), le pyruvate $\text{CH}_3\text{COCOO}^-$ issu de la glycolyse (réaction 1) est d'abord décarboxylé en acétaldéhyde CH_3CHO avec libération d'une molécule de dioxyde de carbone CO_2 , puis réduit en éthanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ par l'alcool déshydrogénase avec oxydation d'une molécule de NADH en NAD⁺ :



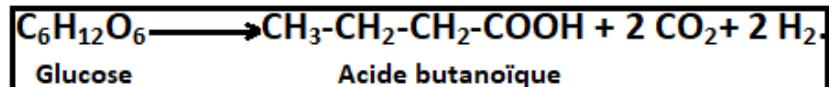
La fermentation alcoolique ou fermentation éthylique est réalisée par de nombreux organismes vivants (bactéries, levures) de manière permanente ou occasionnelle dans des milieux dépourvus d'oxygène. La température idéale de fermentation est de 35 °C à 40 °C.

Observation : Dans la fermentation butyrique, les nervures sont essentiellement constituées de lignine, substance plus résistante que le reste du limbe de la feuille, formé lui-même de cellulose, d'amidon et d'autres glucides : il s'agit d'une décomposition des matières organiques présentes dans les déchets végétaux.

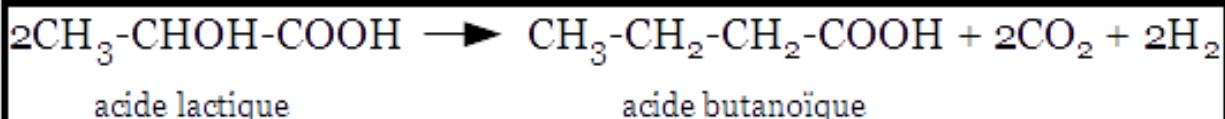
En effet, en l'absence d'oxygène, divers glucides présents dans les végétaux (celluloses, amidon...) subissent la fermentation butyrique : celle-ci se traduit par un dégagement de dioxyde de carbone et d'hydrogène et de nombreux composés organiques parmi lesquels l'acide butyrique, responsable du goût piquant de certains fromages à pâte cuite et de l'odeur fétide (toujours présent). Les agents responsables sont des microorganismes appelés *Clostridium butyricum*.

Le pyruvate issu de la glycolyse est décarboxylé en acétaldéhyde. Deux acétaldehydes donnent un acétylacétate qui est réduit en acide butyrique. Au cours de la fermentation butyrique, il se forme de l'acide butanoïque, du CO_2 et du dihydrogène à partir de l'acide lactique déjà formé par fermentation lactique.

La réaction chimique de cette fermentation alimentaire est :



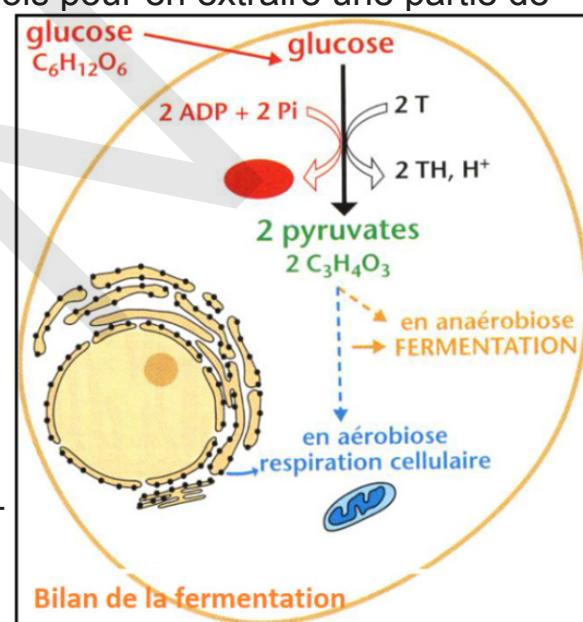
Au cours de fermentation butyrique, le glucose est transformé en acide éthanoïque (acétique), acide butanoïque (butyrique), dioxyde de carbone et hydrogène :



L'acide butanoïque est présent dans le beurre et la sueur.

La fermentation est un processus métabolique convertissant généralement des glucides en acides, en gaz ou en alcools pour en extraire une partie de l'énergie chimique tout en ré-oxydant les coenzymes réduites par ces réactions. Il s'agit d'une voie métabolique d'oxydoréduction dans laquelle l'accepteur ultime d'électrons est souvent confondu avec le produit final des réactions. Elle se réalise dans le cytoplasme de la cellule.

Il est à noter qu'il existe d'autres types de fermentation non décrites ici : la fermentation lactique chez l'homme par exemple, ou bien la fermentation acétique...



Les fermentations diffèrent de la respiration essentiellement par le fait que la dégradation des métabolites est incomplète : en effet, au cours des fermentations, les déchets organiques sont encore riches en énergie (éthanol, acide butyrique...).

Ainsi, à masse égale de métabolite utilisé, la cellule libère beaucoup plus d'énergie par la respiration que par la fermentation.

La première étape commune à tous les modes de fermentation est la glycolyse, convertissant le glucose en pyruvate avec phosphorylation de deux molécules d'ADP en ATP et réduction de deux molécules de NAD^+ en NADH :



Quel que soit le type de fermentation, la production d'énergie (2 ATP) est bien moindre que lors de l'utilisation de la filière aérobie (36 ATP). En conditions aérobies, les cellules qui sont capables des deux modes métaboliques, comme les cellules musculaires, privilégieront donc la respiration à la fermentation.

Tableau-bilan : Etapes de la dégradation incomplète du glucose en anaérobiose : fermentation

Noms des étapes	Localisation cellulaire	Bilan énergétique
<ul style="list-style-type: none"> • Glucose (C6) → 2 ac. Pyruvique (C3) • $T^+ (\text{transporteur oxydé}) + 2 H^+ + e^- \rightarrow TH, H^+ (\text{transporteur}) \text{ réduit.}$ T = transporteur de protons et d'électrons ex : NAD • $2 ADP + 2 Pi \rightarrow 2 ATP$ Fermentation lactique • ac. pyruvique(C3) → ac. lactique (C3) • $TH, H^+ \rightarrow T^+ + 2 H^+ + 2 e^-$ 	Cytoplasme Cytoplasme	ATP 2

III- Utilisation de l'énergie par la cellule musculaire

Activité 6

Comment les cellules musculaires utilisent-elles l'ATP ?

On se propose de connaître la source d'énergie à l'origine de la contraction musculaire et le fonctionnement des structures permettant l'utilisation de cette énergie. On dose le glycogène, l'ATP et la phosphocréatine dans des muscles isolés de grenouille, soumis à une série d'excitations électriques rapprochées. Les dosages (exprimés en milligrammes par gramme de muscle frais) sont réalisés avant et après les excitations, les muscles étant placés dans différentes conditions :

Expérience 1:

Résultats pour un muscle intact qui se contracte pendant toute la durée des excitations :

	Avant contraction	Après contraction
Glycogène	1,62	1,21
ATP	2	2
Phosphocréatine	1,5	1,5

Expérience 2:

Résultats pour un muscle traité par l'acide iode-acétique bloquant la glycolyse, le muscle se contracte également pendant la durée des excitations :

	Avant contraction	Après contraction
Glycogène	1,62	1,62
ATP	2	2
Phosphocréatine	1,5	0,4

Expérience 3:

Résultats pour un muscle traité par l'acide iode-acétique et une substance inhibant l'utilisation de la phosphocréatine. La contraction du muscle est rapidement interrompue malgré les excitations :

	Avant contraction	Après contraction
Glycogène	1,62	1,62
ATP	2	0
Phosphocréatine	1,5	1,5

Analysez les résultats obtenus afin de :

- dégager les molécules utilisées dans le muscle pour produire l'énergie nécessaire à sa contraction ;
- préciser l'ordre d'utilisation de ces trois substances.

Analyse des résultats :

L'énergie mécanique de la contraction musculaire provient directement de l'énergie chimique (ATP). Elle est stockée dans le muscle, surtout sous forme de glycogène (environ 100 μ mol d'unité glucose/g de muscle). L'hydrolyse du glucose (glycolyse) entraîne la formation d'adénosine triphosphate (ATP),

molécule riche en énergie. Par suite du glissement des filaments, l'ATP se transforme en ADP (molécule moins riche en énergie). Cette hydrolyse de l'ATP ne nécessitant pas d'oxygène, la contraction musculaire peut se poursuivre en anaérobiose suivant la réaction suivante :



ATPase ou Myosine ADP

Les cellules dépensent de l'énergie pour accomplir différentes fonctions biologiques : le renouvellement de leurs molécules, leur croissance, l'activité cellulaire, etc.

Certaines réalisent de nombreuses synthèses chimiques et effectuent un travail chimique, d'autres se déplacent (les mouvements cellulaires ou cyclose), se contractent, se déforment et accomplissent un travail mécanique, tandis que d'autres effectuent des travaux plus complexes. Parmi les activités cellulaires consommatrices d'énergie, on peut citer la synthèse du glycogène. Ce dernier est un polymère de glucose ($(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$). C'est une forme de réserve du glucose chez les animaux. Il est stocké au niveau hépatique et musculaire.

La synthèse de glycogène correspond à des réactions de polymérisation du glucose ; c'est une réaction qui consomme de l'ATP. Cependant, son hydrolyse libère du glucose en fonction des besoins de l'organisme.

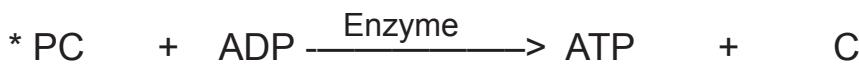
L'ATP, molécule source d'énergie, est principalement produite lors de la respiration des cellules eucaryotes. Elle permet par exemple la contraction musculaire.

La respiration cellulaire concerne la plupart des cellules eucaryotes. Il s'agit de l'oxydation de matière organique en matière minérale grâce au dioxygène afin de produire de l'ATP.

La contraction entraîne donc une dépense d'énergie au niveau du muscle. Cette énergie est fournie par des réactions chimiques complexes (dégradation des glucides et des acides gras). Ces réactions se déroulent en 2 phases : une phase de contraction suivie d'une phase de restauration au cours de laquelle se reconstituent les réserves du muscle.

L'ATP utilisé est presque aussitôt régénéré. Trois processus peuvent être utilisés :

♦ régénération rapide de l'ATP :



Phosphagène ou

Créatine

Phosphocréatine (créatine phosphate)

♦ régénération lente : permettant la régénération du phosphagène :



Au cours de l'activité musculaire modérée, il y a surtout la glycolyse aérobie:



Glycolyse

Respiration

- Au cours d'un exercice musculaire intense, il y a insuffisance de l'O₂ et la glycolyse anaérobie l'emporte :



IV- Mécanisme de la contraction musculaire

Activité 7

Comprendre le mécanisme de la contraction

L'arrivée d'un message nerveux au niveau de la synapse neuromusculaire déclenche la naissance de potentiels d'action sur la membrane de la fibre musculaire.

Ces perturbations électriques se propagent à l'ensemble du réseau membranaire interne et engendrent la contraction.

Pour comprendre ces phénomènes, on fait les observations et expériences suivantes:

- On cultive des fibres musculaires dans un milieu contenant du calcium radioactif. Par autoradiographie, on observe que la radioactivité est localisée dans le réticulum quand les fibres sont relâchées et dispersée dans le hyaloplasme quand les fibres sont contractées.
- L'injection de calcium dans le hyaloplasme d'une cellule musculaire entraîne la contraction des myofibrilles.
- Sur une autre cellule on injecte cette fois de l'équorine, protéine qui devient luminescente en présence de calcium libre. Si la cellule est stimulée, l'émission de lumière, brève, se manifeste dans le hyaloplasme au tout début de la contraction.
- Des molécules A et M visibles sur le document suivant sont extraites de cellules musculaires et placées dans différents milieux de cultures. Les observations faites sont regroupées dans le tableau ci-après :

Cultures	Substances présentes dans le milieu	Observations
a	A + M + ATP	Pas de contraction
b	A + M + ATP + Ca ²⁺	Contraction avec diminution de la teneur en ATP
c	A + ATP + Ca ²⁺	Pas de contraction
d	M + ATP + Ca ²⁺	Pas de contraction
e	*A + M + ATP + Ca ²⁺ + Salyrgan Inhibiteur de l'hydrolyse d'ATP *	Pas de contraction

A partir de l'analyse des différents résultats, donner la succession des événements expliquant la contraction musculaire.

Analyse des résultats :

Un myocyte ou fibre musculaire est spécialisée dans la contraction musculaire. Au niveau de l'organisme, la contraction musculaire permet le mouvement volontaire (marche, course...), ainsi que des mouvements involontaires (battements du cœur,...).

La contraction des fibres musculaires se fait grâce au glissement des protéines contenues dans les myofibrilles : l'actine et la myosine. La myosine effectue un cycle de détachement/rattachement accompagné d'un mouvement transversal le long de l'actine. Ce cycle aboutit à un raccourcissement de la fibre, qui est à la base de la contraction générale de la cellule. Le glissement explique les

changements de la myofibrille en fonction de l'état de contraction ou d'étirement de la cellule musculaire.

Au cours de la contraction, les filaments d'actine sont profondément enfouis dans la bande A. La bande I et la bande H sont alors très étroites.

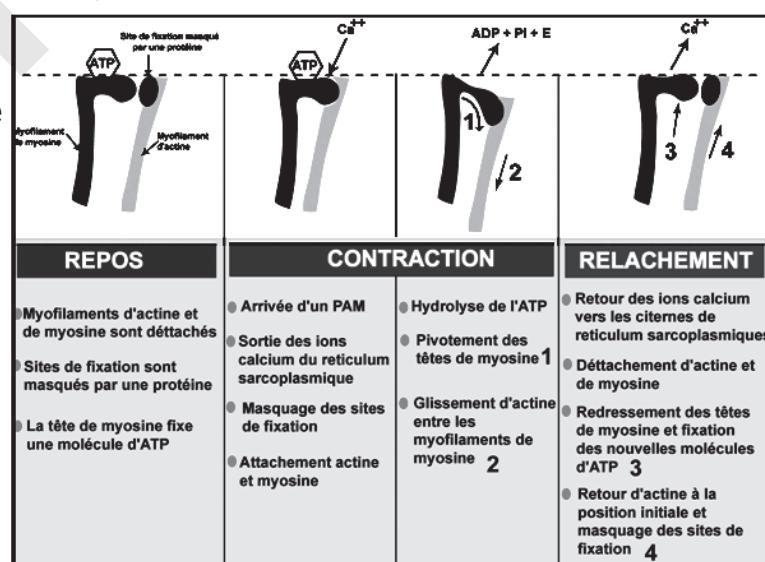
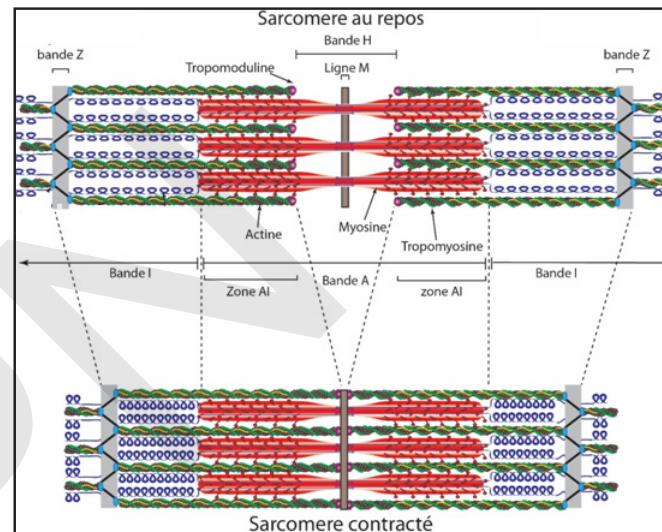
Au cours de l'étirement, les filaments d'actine sont presque exclus de la bande A. La bande I et la bande H sont alors très larges.

Au repos, les dimensions de la bande I et de la bande H sont intermédiaires. Quel que soit l'état du muscle, la longueur de la bande A est toujours la même.

La liaison de l'actine à la myosine, au cours de la contraction et du relâchement, subit plusieurs modifications successives. Dans une première étape, la tête de la myosine, à laquelle sont liés un ADP et un phosphate, entre en contact avec l'actine. Dans une deuxième étape, l'ADP et le phosphate quittent la tête de la myosine qui change d'orientation ; dès lors, la molécule de myosine tire le filament d'actine et le déplace dans le sens indiqué par la flèche, vers le centre du sarcomère qui se raccourcit. Dans une troisième étape, une molécule d'ATP se lie à la tête de la myosine qui se détache de l'actine.

La quatrième étape clôture le cycle : la molécule d'ATP est hydrolysée et la tête de la myosine reprend son orientation initiale.

La réception du stimulus nerveux induit un potentiel d'action qui se propage le long de la membrane plasmique, pénètre dans les tubes transverses du



réticulum sarcoplasmique (réticulum endoplasmique lisse du myocyte) et y déclenche la libération d'ions calcium. Ce calcium va, pour finir, se lier à une protéine particulière, la troponine-C (qui en temps normal inhibe l'interaction entre filaments d'actine et de myosine) et induire un changement de conformation de cette dernière (pivotement des têtes de myosine) pour permettre aux têtes de myosine de se lier aux filaments d'actine. Une fois l'interaction possible entre l'actine et la myosine et en présence bien sûr des nutriments nécessaires (ex. ATP) le sarcomère se raccourcit par l'action des myosines. Cela conduit à une contraction du muscle.

Lors de la disparition du potentiel d'action (cas de décontraction), le calcium est transporté activement dans les citernes du réticulum sarcoplasmique. Quand il n'y a plus suffisamment de calcium, les troponine-C se fixent sur l'actine.

Ce cycle est accompagné d'une hydrolyse d'ATP qui fournit l'énergie nécessaire à la force mécanique développée et est régulé par le calcium. Ce glissement consomme de l'ATP qui doit être renouvelé en permanence.

L'ATP peut être fournie, selon le type d'effort par respiration ou par fermentation lactique.

V- Phénomènes thermiques de la contraction musculaire

Activité 8

Connaitre les phénomènes thermiques de la contraction musculaire.

La thermopile (dispositif qui convertit l'énergie thermique en énergie électrique) génère une tension proportionnelle à une différence de température. C'est un instrument qui comporte deux aiguilles thermoélectriques, formées chacune de deux métaux différents (cuivre ou or et nickel). L'une des aiguilles est introduite dans le muscle, l'autre est maintenue à une température de référence. Lorsque le muscle se contracte, une différence de température apparaît entre les deux aiguilles et engendre un courant électrique dont l'intensité est proportionnelle à la température du muscle. Ce courant est traduit sous forme de courbes qui apparaissent sur l'écran d'un oscilloscop (Voir la figure 1). Elle a permis de mesurer la chaleur dégagée par un muscle gastrocnémien de grenouille au cours d'une secousse élémentaire. Les résultats obtenus sont résumés sur les figures 2 et 3.

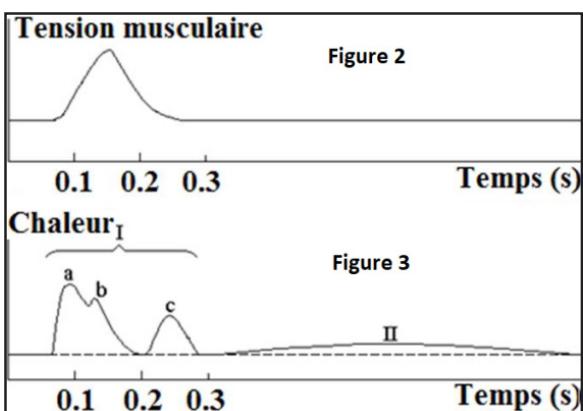


Figure 2

Figure 3

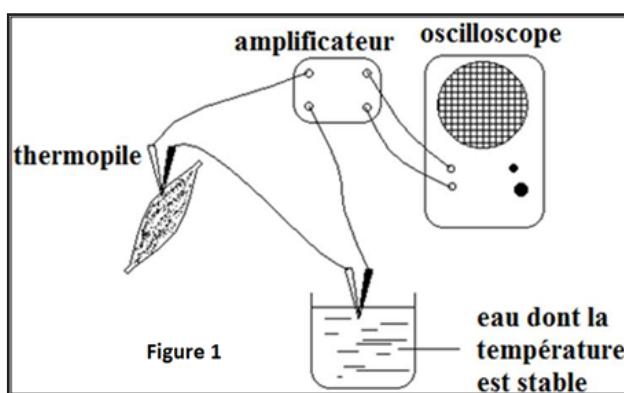


Figure 1

Analyser ces résultats pour dégager les phénomènes énergétiques qui accompagnent les contractions musculaires.

Analyse des résultats :

Toute contraction musculaire s'accompagne d'un dégagement de la chaleur qui se divise en deux parties : la chaleur initiale et la chaleur retardée (voir figure 3).

- Au cours de la secousse musculaire (I) : c'est la chaleur initiale (primaire) libérée pendant un temps très court (quelques fractions de seconde) et de grande amplitude. Elle se divise en 3 parties : la chaleur de contraction (a), la chaleur de maintien (b) et la chaleur de relâchement (c).

La chaleur initiale de contraction provient de l'hydrolyse de l'ATP au moment de la contraction. La chaleur de relâchement est issue de la réaction de resynthèse de l'ATP à partir de la créatine-phosphate.

- Après la secousse (II) : c'est la chaleur retardée dégagée après la phase de relâchement, quand le muscle est au repos, pendant une durée importante (quelques minutes). Elle est de faible amplitude.

La chaleur retardée a pour origine, les réactions de resynthèse d'ATP lors de la respiration.

La libération de la chaleur en plusieurs phases indique l'intervention de plusieurs phénomènes énergétiques au cours d'une contraction musculaire.

Tout muscle qui se contracte produit de la chaleur. Mais même au repos le muscle produit une petite quantité de chaleur (chaleur de repos). Cette production de chaleur augmente rapidement lors de la contraction, ce qui

explique l'échauffement observé lors du travail musculaire.

Lorsqu'un muscle travaille il fournit une énergie :

- 20% de cette énergie est sous la forme d'énergie mécanique pour développer la contraction musculaire, donc le déplacement du corps.
- 80% de l'énergie est libérée sous forme d'énergie thermique donc de chaleur. Un surplus de chaleur sera éliminé par les glandes sudoripares au moyen de la sueur.

JE RETIENS

Les fibres ou cellules musculaires (myocytes), sont des cellules allongées qui ont la particularité d'être contractiles. C'est le principal constituant du tissu musculaire.

- Le tissu musculaire strié squelettique se compose de cellules polynucléées (rhabdomyocytes) à noyaux périphériques. Il est à contraction volontaire.
- Le tissu musculaire cardiaque est composé de cardiomycocytes, cellules mononucléées, à noyau central. Il est très semblable au tissu musculaire strié et on ne le trouve chez l'Homme qu'au niveau du myocarde. Il se caractérise par son aptitude à se contracter rythmiquement et harmonieusement de façon spontanée.

Dans leur cytoplasme, les myocytes possèdent :

- de grosses mitochondries, en raison des besoins énergétiques importants ;
- de la myoglobine ;
- un réticulum sarcoplasmique très développé ;
- des myofibrilles plus courtes dans des cellules cardiaques.

Les myofibrilles sont composées de filaments épais (composés de myosine) et de filaments fins (composés d'actine, de troponine et de tropomyosine). Un sarcomère est composé d'une demi-bande claire, d'une bande sombre et d'une deuxième demi-bande claire. Chaque bande I est divisée en 2 parties par une strie Z. Chaque bande A comprend une partie centrale plus claire, la bande H, au centre de laquelle apparaît la bande M plus dense. Chaque myofibrille est ainsi formée d'une succession d'unités répétitives (sarcomères) qui sont les unités contractiles de la fibre.

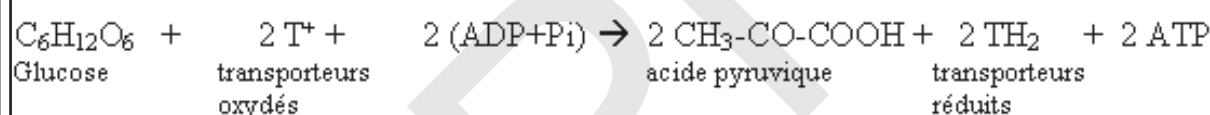
L'alternance des disques sombres (bandes sombres ou bandes A) et clairs (bandes claires ou bandes I) est la même pour toutes les myofibrilles d'une même fibre musculaire : ceci donne une striation transversale caractéristique et une striation longitudinale due à la disposition des myofibrilles les unes à côté des autres.

Chaque fibre est une cellule géante de plusieurs centimètres de long (avec un diamètre de 10 à 100 nm) présentant une membrane (ou sarcolemme).

Fémentation et respiration débutent par la glycolyse : oxydation partielle du glucose dans le cytoplasme des cellules. Elle aboutit à la synthèse de 2ATP et de composés réduits $R'H_2$. L'oxydation incomplète/partielle dans le cytoplasme du glucose (C6) en 2 acides pyruviques (2xC3) est appelée glycolyse et nécessite ADP et accepteurs d'électrons R'.

Le transfert de l'énergie chimique du glucose en énergie chimique sous forme d'ATP se réalise en plusieurs étapes : la glycolyse, puis le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire au sein des mitochondries.

La première étape de la respiration est appelée glycolyse. Elle consiste en une série de réactions anaérobies se déroulant dans le cytoplasme. Elle se résume en l'oxydation du glucose qui donne finalement deux molécules d'acide pyruvique, ainsi que deux molécules d'ATP et deux molécules de transporteurs réduits suivant la réaction :



La seconde étape (cycle de Krebs) a lieu dans la matrice mitochondriale (petits organites à double membrane dispersés dans le cytoplasme). L'acide pyruvique pénètre dans la mitochondrie, où il subit une série de décarboxylations (= réactions conduisant à la libération de CO_2) et de déshydrogénations. Les six molécules de carbone initialement présentes dans le glucose se retrouvent finalement dans des molécules de CO_2 : il y a minéralisation du carbone organique. Le mécanisme est le suivant :

- L'acide pyruvique subit une première décarboxylation / déshydrogénéation ;
 - Le groupement à deux carbone restant se fixe sur un composé en C4 (= à 4 atomes de carbone) ;
 - Ce corps en C6 formé subit une série de réactions (2 décarboxylations et 4 déshydrogénations) à la fin desquelles est régénéré le corps en C4 initial : c'est le cycle de Krebs ;
 - Ensuite les transporteurs réduits produits pendant le cycle de Krebs mais

aussi pendant la glycolyse sont réoxydés au niveau de la membrane interne de la mitochondrie: c'est la chaîne respiratoire.

La dernière étape (chaîne respiratoire) se déroule dans les crêtes de la membrane interne des mitochondries. Elle provient de la réoxydation des transporteurs réduits : les électrons libérés sont transportés par divers composés inclus dans la membrane interne de la mitochondrie. Pendant leur transport, ils favorisent le passage de protons (= ions H⁺) depuis la matrice (intérieur de la mitochondrie) vers l'espace intermembranaire. Il en résulte un gradient de protons (= une différence de concentration). Le retour des protons vers la matrice peut libérer de l'énergie (car un gradient de protons implique l'existence d'une énergie potentielle) : le flux de protons est canalisé par une molécule particulière qui exploite cette énergie potentielle pour la synthèse d'ATP.

Ainsi, les électrons parcourrent la chaîne respiratoire jusqu'à un accepteur final: le dioxygène.



Au cours de la respiration, la dégradation d'une molécule de glucose en CO₂ conduit à la formation de 38 ATP : 2 proviennent de la glycolyse et 36 proviennent de la réoxydation des transporteurs dans la mitochondrie.

La contraction musculaire s'effectue par glissement des filaments fins entre les filaments épais aboutissant au raccourcissement du sarcomère.

Au niveau cellulaire, la contraction est possible grâce au glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine. C'est l'excitation nerveuse qui provoque ces changements

Au repos, la tropomyosine masque les sites de fixation de la myosine. La tête de la myosine contient ADP + P_i provenant de l'hydrolyse de l'ATP.

On peut diviser schématiquement le mécanisme de la contraction musculaire en cinq étapes, qui s'enchaînent dans le temps :

- L'arrivée d'un Potentiel d'Action musculaire (PAM) qui se propage le long du sarcolemme et au niveau des tubules transverses. La dépolarisation des tubules transverses va provoquer la libération de Ca²⁺ vers les myofibrilles.

- le Ca^{2+} va venir se fixer sur son site spécifique de la troponine et va provoquer la rotation de la double hélice de tropomyosine, libérant ainsi les sites d'actine sur lesquels vont venir se fixer les têtes de myosine ;
- il y a hydrolyse de l'ATP : $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P} + \text{énergie}$;
l'énergie chimique du pont actine-myosine est transformée en énergie mécanique pour permettre le pivotement des têtes de myosine ;
- glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine.

Pour se relâcher, il y a :

- la fixation d'une nouvelle molécule d'ATP qui va provoquer la rupture du pont actine-myosine ;
- la tête de myosine reprend sa position initiale et va se retrouver en face d'un autre site d'actine ; un autre pont pourra ainsi être créé.
- Le Ca^{2+} quitte la troponine. La tropomyosine retrouve sa place initiale et bloque les sites d'actine.

La contraction musculaire s'accompagne d'un dégagement de la chaleur qui se divise en deux parties :

- Au cours de la secousse musculaire : c'est la chaleur initiale (primaire) libérée pendant un temps très court (quelques fractions de seconde) et de grande amplitude. Elle se divise en : chaleur de contraction et chaleur de relâchement.

La chaleur initiale de contraction provient de l'hydrolyse de l'ATP au moment de la contraction. La chaleur de relâchement est issue de la réaction de resynthèse de l'ATP à partir de la créatine-phosphate.

- Après la secousse : c'est la chaleur retardée dégagée après la phase de relâchement, quand le muscle est au repos, pendant une durée importante (quelques minutes). Elle est de faible amplitude. Elle a pour origine, les réactions de resynthèse d'ATP lors de la respiration.

JE M'EXRCE

Exercice 1

Choisir, pour chaque item, la lettre correspondant à la bonne suggestion.

1- La fermentation lactique :

- a. libère 4 molécules d'ATP à partir d'une seule molécule de glucose.
- b. comporte une phase commune avec la respiration qui est la glycolyse.
- c. produit un résidu organique sous forme de CO_2 .
- d. produit 2 ATP à partir d'un gradient H^+ dans la matrice mitochondriale.

2- Au cours de la contraction musculaire, on constate un raccourcissement :

- a- de la bande sombre et de la zone H.
- b- de la bande claire et de la zone H.
- c- des bandes sombres et claires sans changement de la zone H.
- d- des bandes sombres, des bandes claires et de la zone H.

3- Les réactions du cycle de Krebs :

- a- ne produisent pas d'énergie.
- b- libèrent le dioxyde de carbone.
- c- se déroulent au niveau de la membrane interne de la mitochondrie.
- d- sont communes entre la respiration et la fermentation.

4 - La fermentation lactique produit :

- a- l'acide pyruvique, le CO_2 et l'ATP ;
- b- l'acide pyruvique et le CO_2 ;
- c- l'acide lactique, le CO_2 et l'ATP ;

d- l'acide lactique et l'ATP.

5 - Le cycle de Krebs produit :

- a- NADH,H⁺, FADH₂, ATP et l'acide pyruvique ;
- b- NADH,H⁺,FADH₂, CO₂ et l'acétyle coenzyme A;
- c- NADH,H⁺,ATP , CO₂ et l'acide pyruvique;
- d- NADH,H⁺, FADH₂, ATP et CO₂.

6- Les filaments fins de la myofibrille sont formés de :

- a- l'actine, la myosine et la troponine ;
- b- l'actine, la myosine et la tropomyosine ;
- c- l'actine, la troponine et la tropomyosine ;
- d- La myosine, la troponine et la tropomyosine.

7- La contraction musculaire :

- a- Se produit en absence de l'ATP, et de l'O₂ ;
- b- nécessite toujours la présence des ions calcium et de l'ATP ;
- c- se produit en absence des ions calcium et de l'ATP ;
- d- se produit en absence des ions calcium et de l'O₂.

8- Lors de la contraction musculaire, on assiste à un :

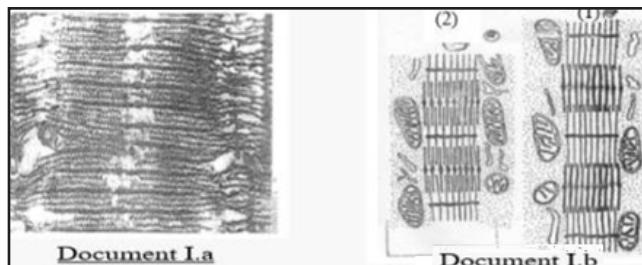
- a- raccourcissement des bandes A sans changement de la longueur des bande I ;
- b- raccourcissement des bandes I sans changement de la longueur des bandes A ;
- c- rapprochement des deux stries Z avec raccourcissement de la zone A, du sarcomère ;
- d- raccourcissement des bandes claires sans changement de la longueur de la bande H.

Exercice 2

Le document I.a représente une coupe de tissus musculaires striés, photographiée au microscope électronique.

1- Réalisez le schéma d'interprétation.

H.E. Huxley s'est servi du microscope électronique pour examiner le muscle préalablement fixé. Le document I.b montre à la même échelle, des portions de fibres en relâchement (1) et en contraction (2).



2- Analysez ces différents résultats.

3- Concluez (l'aspect moléculaire de la contraction n'est pas demandé).

4- a) A partir du document 1.b, indiquez les voies de régénération de l'énergie utilisée au cours du raccourcissement du muscle.

b) Ecrivez les équations des réactions correspondantes.

Exercice 3

Afin de comprendre les réactions chimiques se produisant durant l'activité musculaire, on réalise une série d'expériences et observations présentée en a, b et c :

a) Les fibres musculaires qui se contractent et se relâchent très rapidement, ont un réticulum endoplasmique (RE) très développé ; celles qui se contractent et se relâchent lentement ont un RE moins développé.

b) L'injection d'ions calciums dans le hyaloplasme d'une fibre musculaire entraîne la contraction des myofibrilles.

c) On cultive des fibres musculaires dans un milieu contenant du calcium radioactif. Par autoradiographie, on observe le calcium radioactif dans le RE quand les fibres sont relâchées, et dispersées dans le hyaloplasme quand les fibres sont contractées.

1) Interprétez ces différentes expériences et observations en montrant la rela-

tion qui existe entre la structure cellulaire et la fonction mise en jeu.

2) On modifie le contenu d'un sarcomère en ajoutant selon les cas, de l'actine, de la myosine, du Ca^{2+} ou de l'ATP, puis on l'observe en contraction. Les modifications observées sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

Expériences	Conditions expérimentales	Pont actomyosine	Production de chaleur	Evolution de la concentration d'ATP
a	Actine + myosine + ATP	Absents	Faible	Diminution faible
b	Actine + myosine + ATP + Ca^{2+}	Présents	Importante	Diminution importante
c	Actine + ATP + Ca^{2+}	Absents	Nulle	Aucune évolution
d	Myosine + ATP + Ca^{2+}	Absents	Faible	Diminution faible

Avec les expériences a et b, précisez le rôle du calcium pendant la contraction.

3) a- A partir des expériences b ; c et d, expliquez les rapports existants entre Actine, Myosine, ATP et Ca^{2+} .

b- Donnez l'origine de la chaleur produite.

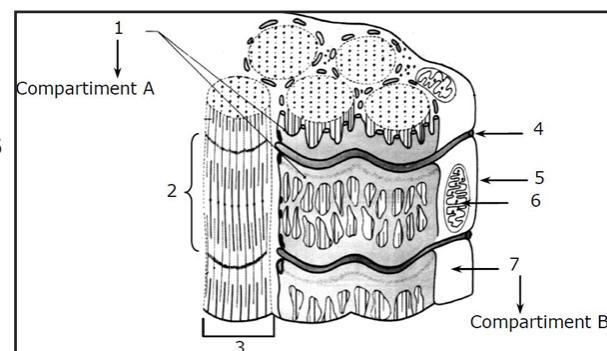
4) A partir de ces expériences ; expliquez la contraction du muscle à l'étape moléculaire.

Exercice 4

On se propose d'étudier comment les ions calcium interviennent dans la contraction des fibres musculaires.

Le document ci-contre présente l'ultrastructure d'une portion de l'une de ces fibres.

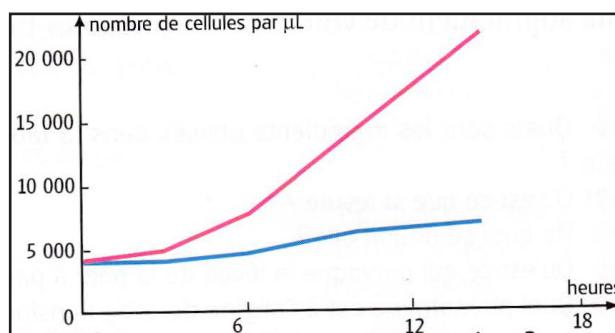
Légendez ce document.



Exercice 5

Une culture de levure a été réalisée dans deux flacons sur un liquide sucré.

Le flacon A était ouvert et le flacon B fermé d'un bouchon. On compte, à intervalles réguliers, les cellules de levure dans chaque flacon. Le graphe ci-contre résume les résultats obtenus.



a. Comment a-t-on réalisé ces deux courbes ?

b. Que montrent-elles ?

c. Indique, en justifiant ta réponse, à quel flacon correspond chacune de ces courbes.

Exercice 6

La levure de bière est un champignon unicellulaire capable de vivre et de se multiplier dans des milieux aérobies et anaérobies.

Louis Pasteur a cultivé de la levure de bière dans des milieux contenant du glucose et dont la quantité d' O_2 diminue progressivement du milieu 1 au milieu 3.

Conditions expérimentales		Quantité d'éthanol	Rendement mg de levure/g de glucose (consommé)
Milieu 1	Milieu riche en O_2	Traces	250
Milieu 2	Milieu pauvre en O_2	Petite	40
Milieu 3	Milieu sans O_2	Grande	5.7

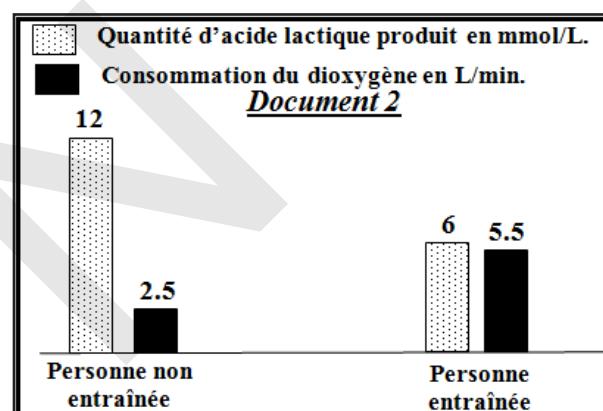
Que peut-on conclure à partir de l'analyse de ces résultats ?

Exercice 7

Afin d'étudier l'effet du manque d'exercices sportifs et du tabagisme (usage du tabac) sur les réactions responsables de la libération de l'énergie au niveau du muscle squelettique strié, on propose l'étude des données suivantes : Le manque d'exercices sportifs chez l'Homme augmente sa fatigabilité. Pour expliquer l'origine de cette fatigabilité, une comparaison de certaines caractéristiques des mitochondries a été effectuée chez deux personnes, l'une entraînée pour un exercice physique de puissance donnée et l'autre non entraînée.

Le document 1 résume les résultats obtenus, alors que le document 2 donne les résultats de la comparaison de la production d'acide lactique et la consommation du dioxygène chez ces deux personnes.

<u>Document 1</u>	Personne entraînée	Personne non entraînée
Volume total des mitochondries par rapport au volume de la cellule musculaire	11%	5%
Activité des enzymes mitochondrielles	importante	faible



Remarque : Le phénomène de la fatigue musculaire est lié à la baisse des réserves d'ATP au niveau des fibres musculaires.

En exploitant les données des documents 1 et 2, expliquez l'augmentation de la fatigabilité observée chez la personne non entraînée.

Exercice 8

On dose certains constituants dans un muscle en repos et dans le même muscle en activité afin de déterminer l'origine de l'énergie nécessaire pour la contraction musculaire. Les résultats de plusieurs mesures ont été rassemblés dans le tableau ci-dessous. Au cours de chaque expérience, le muscle est stimulé directement de façon intense et pour une même durée.

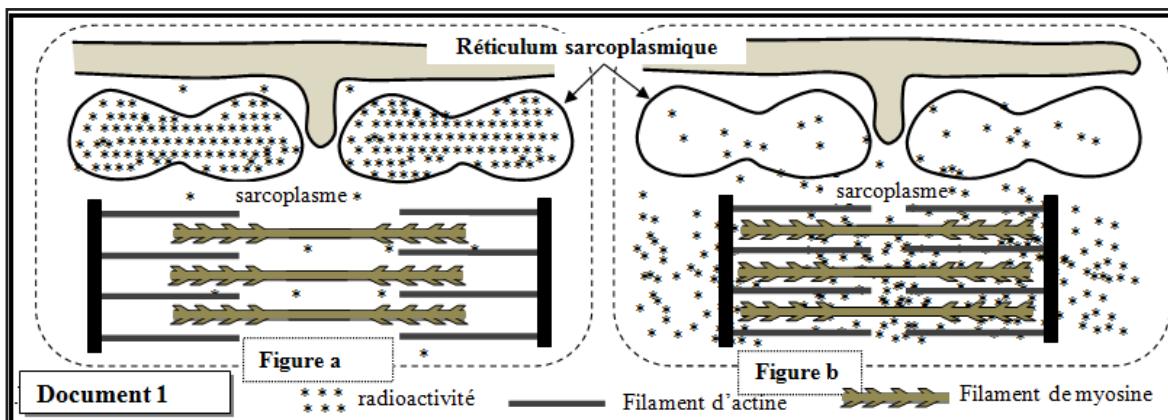
	Constituants musculaires			
	Glycogène (g./Kg)	Acide lactique (g./Kg)	ATP (m. moles/Kg)	Phosphocréatine (m. moles/Kg)
Muscle en repos	1,08	1	4 à 6	15 à 17
Expérience 1 : Excitations sur le muscle non traité	0,8	1,30	4 à 6	15 à 17
Expérience 2 : Excitations sur le muscle traité par une substance qui bloque la glycolyse	1,08	1	4 à 6	3 à 4
Expérience 3 : Excitations sur le muscle traité de façon à bloquer à la fois l'utilisation de la phosphocréatine et la glycolyse.	1,08	1	0	15 à 17

- a) Indiquez, dans chaque cas, la source d'énergie utilisée par le muscle.
- b) Pourquoi dit-on que l'ATP représente la forme d'énergie directement utilisable par la cellule ?

Exercice 9

On cherche à étudier quelques aspects du mécanisme de la contraction musculaire et à montrer le rôle des ions Ca^{2+} dans ce mécanisme. Dans ce cadre, on propose les données suivantes :

- Donnée 1 : Des fibres musculaires striées sont isolées et cultivées dans un milieu physiologique contenant des ions calcium radioactifs ($^{45}\text{Ca}^{2+}$) puis elles sont réparties en deux lots 1 et 2. Les fibres du lot 1 sont fixées en état de relâchement alors que les fibres du lot 2 sont fixées en état de contraction. Par autoradiographie, on détecte la localisation de la radioactivité au niveau des fibres de chaque lot. Les figures du document 1 présentent des schémas explicatifs des résultats de cette détection (la figure a pour les fibres du lot 1, la figure b pour les fibres du lot 2).

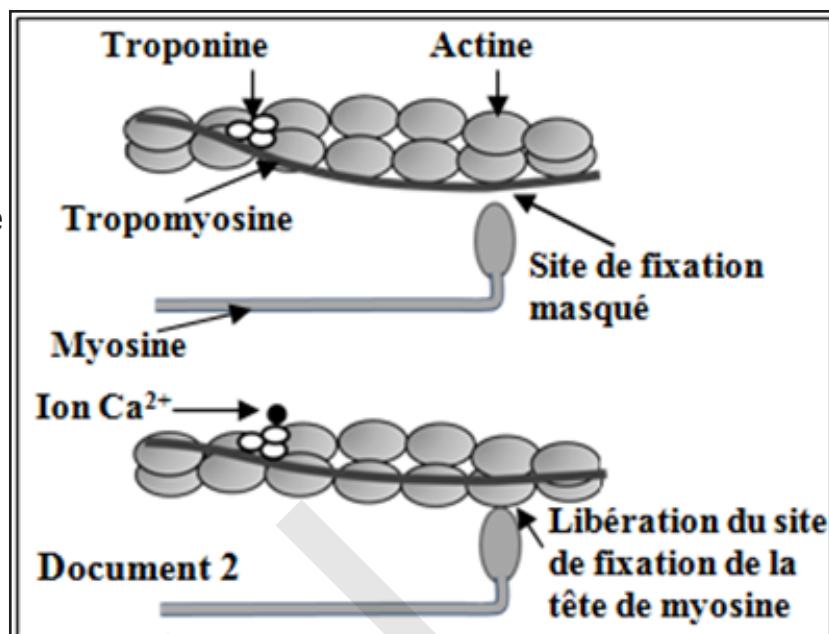


1. Comparez la répartition de la radioactivité dans les fibres des lots 1 et 2, puis dégagiez le sens de déplacement des ions calcium lorsque la fibre musculaire passe de l'état de relâchement à l'état de contraction.

- Donnée 2: L'étude biochimique et l'observation électronographique des myofilaments d'actine et de myosine, dans des fibres musculaires en présence et en absence d'ions Ca^{2+} , ont permis de construire le modèle explicatif présenté dans le document 2.

2. En vous basant sur les résultats présentés dans le document 1, montrez comment interviennent les ions Ca^{2+} dans la contraction de la fibre musculaire.

- Donnée 3 : Pour extraire l'énergie nécessaire à sa contraction, la fibre musculaire hydrolyse de grandes quantités d'ATP. Afin de déterminer certaines conditions nécessaires à l'hydrolyse de ces molécules, on présente les données expérimentales du document 3.



	Composition des milieux	
	Début de l'expérience	Fin de l'expérience
Milieu 1	Filaments de myosine + filaments d'actine + ATP + Ca^{2+}	Complexes acto-myosine + Ca^{2+} + une grande quantité d'ADP et de Pi.
Milieu 2	Filaments d'actine + ATP + Ca^{2+}	Filaments d'actine + ATP + Ca^{2+}
Milieu 3	Filaments de myosine + ATP + Ca^{2+}	Filaments de myosine + ATP + Ca^{2+} + une faible quantité d'ADP et de Pi.

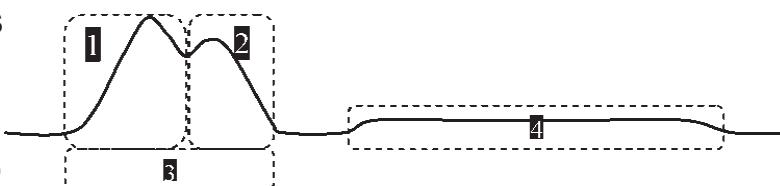
3. En exploitant les données du document 3, expliquez la différence d'hydrolyse de l'ATP observée dans les différents milieux.

4. En vous basant sur les données précédentes et sur vos connaissances, résumez l'enchaînement des évènements conduisant à la contraction du muscle suite à une excitation.

Exercice 10

Le document suivant montre la libération de chaleur au cours et après une secousse musculaire d'un muscle placé dans un milieu convenable.

1-Reconnaissez les différentes phases de cette courbe.



2- Indiquez pour les phases 1, 2 et 4, le phénomène métabolique correspondant et précisez s'il est dépendant de l'oxygène ou non.

Écrire l'équation correspondant à chaque phase.

3- Représentez les courbes de chaleurs libérées par un muscle (pendant et après une seule secousse) dans les situations suivantes et justifiez votre réponse :

a- dans un milieu anaérobie.

b- utilisation d'un inhibiteur d'hydrolyse d'ATP.

c- blocage d'utilisation de phosphocréatine.

4- Représentez sur le même document :

- le phénomène électrique à l'origine de la contraction musculaire.

- la courbe d'évolution du taux des ions Ca^{2+} dans le sarcoplasme.

- le myogramme d'une secousse musculaire isolée.

Exercice 11 : Mots croisés

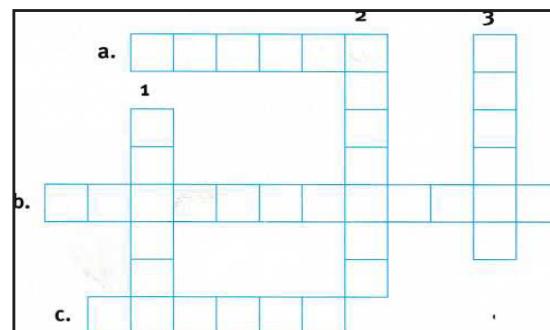
Horizontalement :

À l'origine d'un plant de blé.

Transformation de la pâte à pain par des levures.

Micro-organisme qui fait gonfler la pâte.

Verticalement :



Elle est obtenue par le broyage des grains de blé.

Ils augmentent la croissance du blé.

Il est abondant dans la graine du blé.

Exercice 12

Des expériences réalisées avec des réactifs caractéristiques permettent de trouver les constituants de la farine et du pain.

Les résultats sont consignés dans les tableaux ci-contre.

Pendant la cuisson, les produits de la fermentation quittent le pain par évaporation.

Poudre de farine pour 100 g	
Glucides : amidon	80
Protides : gluten	9
Lipides	1
Sels minéraux	traces
Eau	10

Pain frais pour 100 g	
Glucides : amidon	56
Protides : gluten	7,2
Lipides	0,8
Sels minéraux	0,5
Eau	35,5

Cuit, le pain est plus riche en eau, plus léger, il est aussi plus digeste que la farine.

- 1- Rappelle les tests mettant en évidence les constituants du pain.
- 2- Dans quel type d'aliments, classes-tu le pain ?
- 3- Compare la composition de la farine et du pain.
- 4- Quel est le composant de la farine qui a été essentiellement utilisé par les levures ?
- 5- Quel est le mécanisme biologique réalisé par les levures dans la fabrication de la pâte à pain ?
- 6- Quels produits résultant de ce phénomène, se sont évaporés pendant la cuisson du pain ?

J'approfondis mes connaissances

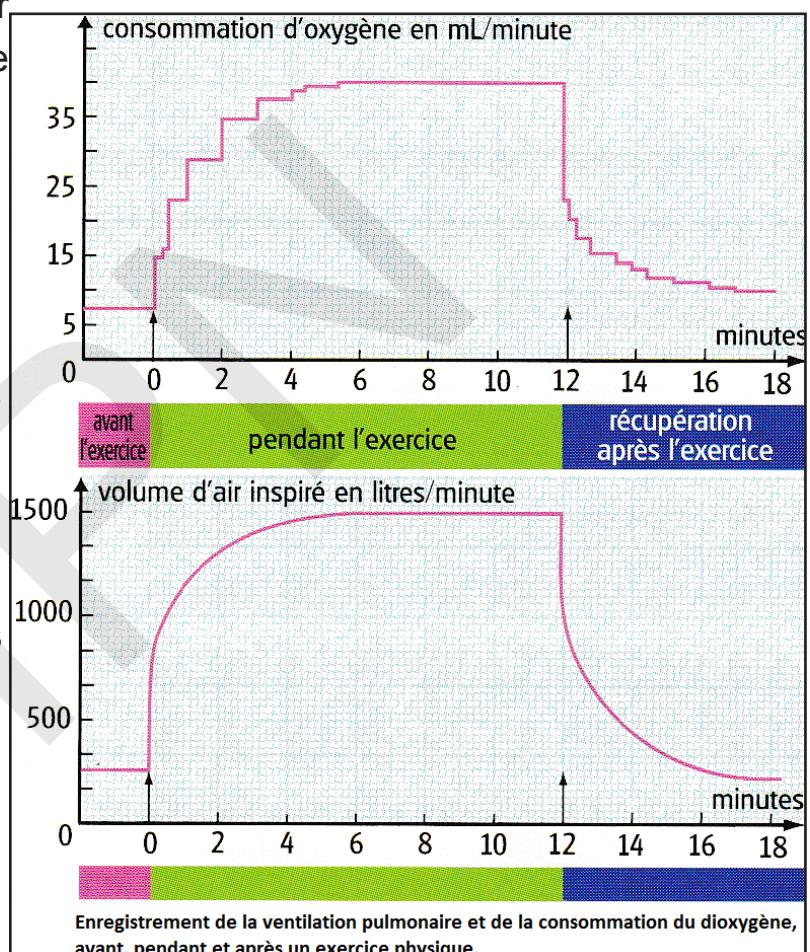
Document :

La respiration s'adapte à l'effort.

Au cours d'un exercice musculaire, il est possible de mesurer des modifications des rythmes respiratoire et cardiaque.

À chaque contraction du cœur, le sang est propulsé dans les artères dont le diamètre augmente à chaque pulsation. La mesure du pouls permet de compter le nombre de battements par minute et donc d'établir le rythme cardiaque.

- La mesure du pouls est facilement réalisable sur soi-même ou sur un camarade.
- Le rythme respiratoire peut aussi être mesuré en comptant le nombre d'inspirations ou d'expirations par minute.
- Des mesures plus précises de la ventilation pulmonaire et de la consommation d'oxygène peuvent être réalisées à l'aide d'appareils qui permettent d'obtenir des courbes (figure ci-contre).



Dans les alvéoles pulmonaires, la proximité de l'air et du sang, sur une grande surface, favorise les échanges gazeux.

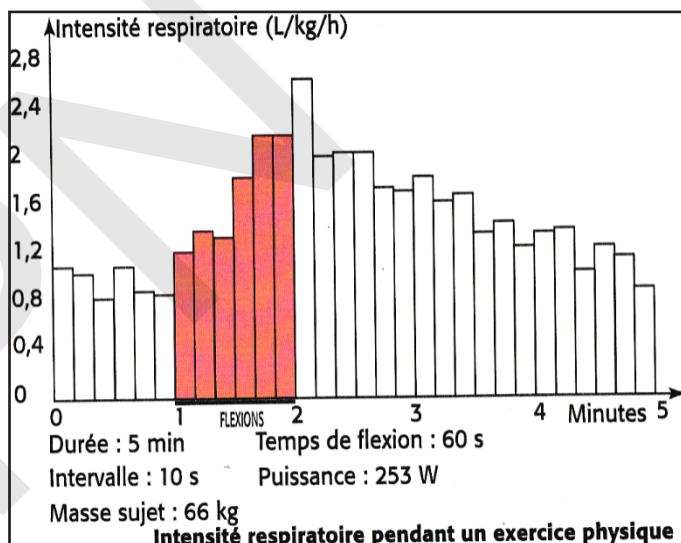
- Les cellules constituant les organes consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone : elles respirent.
- Dans les organes, les molécules sont échangées entre les cellules et le réseau de capillaires qui occupent une grande surface.

- Pour se contracter, le muscle a besoin d'énergie ; celle-ci est libérée par la respiration des cellules musculaires : elles consomment du glucose et du dioxygène et rejettent du dioxyde de carbone.
- La variation des rythmes cardiaque et respiratoire permet d'adapter, en fonction de leurs besoins, l'approvisionnement des organes en glucose et en oxygène.

L'approvisionnement des organes en nutriments et en oxygène nécessaires aux besoins des organes est réalisé par le sang. En fonction des besoins, les rythmes cardiaque et respiratoire sont modifiés.

L'intensité respiratoire est le volume de dioxygène absorbé par unité de masse d'organisme et par unité de temps.

L'histogramme ci-contre, réalisé grâce à un dispositif d'expérimentation assistée par ordinateur (Exao), représente l'intensité respiratoire (mesurée toutes les 10 secondes et exprimée en litres de dioxygène consommé par heure et par kilogramme de masse corporelle) d'un sujet pendant un exercice physique. Il reste debout pendant une minute, puis fait 40 flexions pendant la deuxième minute et enfin récupère pendant trois minutes.



On constate que la consommation de dioxygène augmente pendant les flexions, ce qui traduit une production supérieure d'énergie par les muscles. Il y a par ailleurs augmentation proportionnelle de la consommation de glucose.

J'utilise mes connaissances

Projet de classe :

A la fin du chapitre 5, les élèves en sous-groupes préparent un protocole nutritionniste d'utilisation des nutriments pour la production d'énergie : faire une recherche documentaire ou auprès de personnes ressources, préparer le protocole et le présenter aux élèves de la classe.

S'informer auprès de L'enseignant du Français pour le langage scientifique adapté, SVT, EPS, Mathématiques : Tracer et analyser des courbes, Chimie : Cycle de Krebs, hydrolyse et régénération de l'ATP, réaction de glycolyse..., .biologiste et médecin.

Groupe 1 : Protocole pour la nutrition d'un athlète (Consulter l'enseignant d'EPS).

Groupe 2 : Protocole pour la nutrition d'un footballeur (Consulter l'enseignant d'EPS).

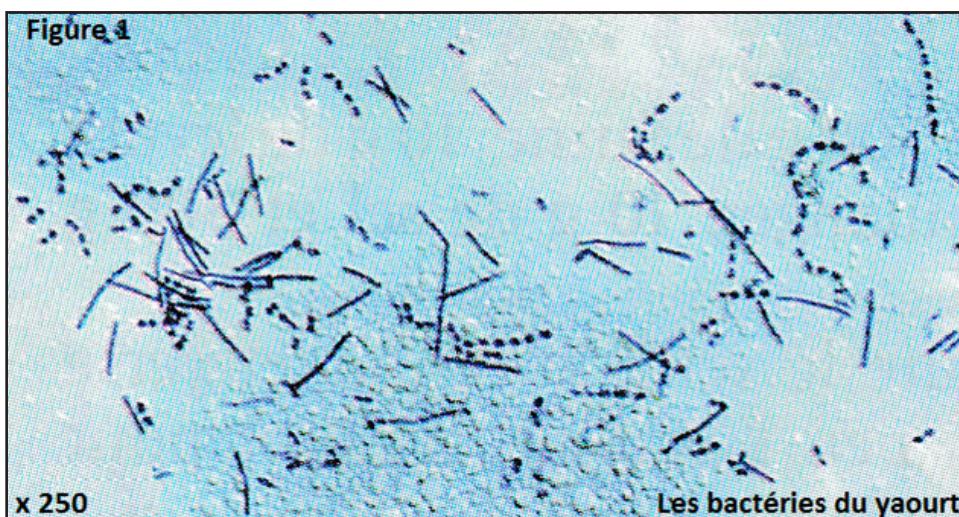
Groupe 3 : Protocole pour la nutrition d'un homme ou femme âgé(e).

Groupe 4 : Protocole pour la nutrition d'un élève qui prépare un examen.

La fermentation lactique du yaourt.

- Observation microscopique :

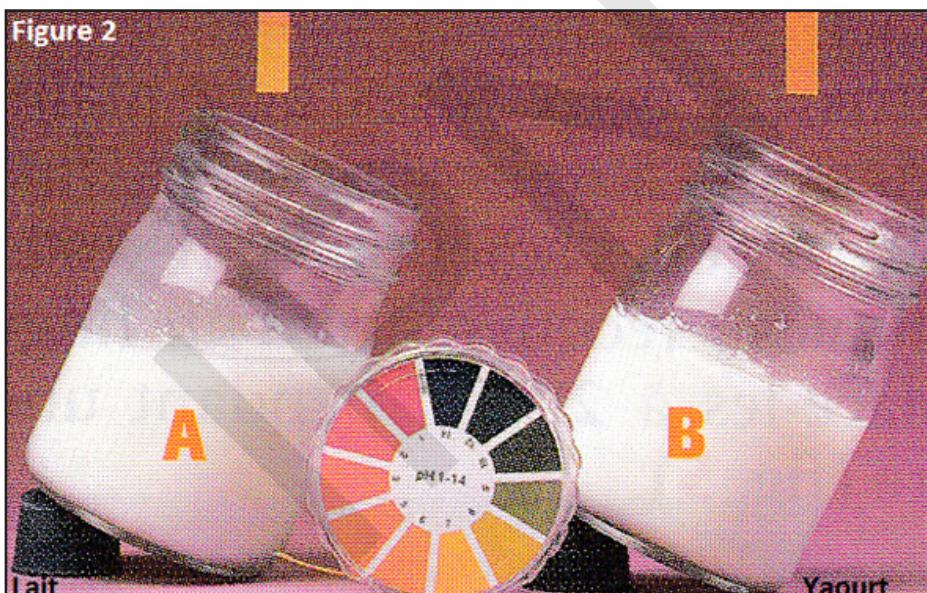
Mélanger un peu de yaourt à une goutte de bleu de méthylène déposée sur une lame de verre. Recouvrir d'une lamelle puis observe au microscope (figure 1 ci-dessous). On reconnaît deux types de micro-organismes : des bactéries en forme de bâtonnet, les bacilles, et d'autres en forme de chaînette appelées streptocoques constituant le ferment du yaourt.



- Fabrication du yaourt :

- Partager un quart de litre de lait dans deux flacons A etB .
- Ajouter une cuillerée de yaourt dans le flacon B, et bien mélanger.
- Dans chaque récipient, tremper un papier colorimétrique indiquant la valeur de l'acidité (ou papier pH) et noter sa couleur.
- Placer les deux flacons à 45° C, pendant 5 heures.
- Tremper à nouveau un papier pH dans chaque flacon et noter sa couleur.

Les bactéries du ferment du yaourt utilisent les glucides du lait. Elles fermentent en libérant de l'acide lactique. Cet acide est responsable de la coagulation des protéines du lait et du goût du yaourt (figure 2 ci-dessous).



En t'inspirant du document proposé, prépare ton yaourt à la maison.

IPN

BIBLIOGRAPHIE

- A. Delettré : Biologie 3^è, Nathan, 1989.
- A. Noël : Biologie Géologie, abc, Nathan, 1985.
- C. Calamand : Biologie Géologie Terminale S, hachette, 1994.
- C. Camara : Sciences de la vie et de la terre 2^{de}, Hachette, 1997.
- C. Fauré : Sciences de la vie et de la terre, 2^è, Belin, 1993.
- C. Leroy: Biologie 3^è, Belin, 1989.
- Ch. Désiré : Sciences Naturelles Terminale C, Bordas, 1980.
- G. Godet : Nature & Science 3^è, istra, 1989.
- J.C. Hervé : Sciences et techniques biologiques et géologiques, 2^{de}, Hatier, 1987.
- J. Escalier : Biologie Terminale D, Fernand Nathan, 1981.
- J. Escalier : Biologie Terminale D, Hachette Lycée, 1989.
- M. Breuil : Dictionnaire des sciences de la vie et de la terre, Nathan, 1997.
- P. Vincent : Biologie Terminale D, Vuibert, 1980.
- P. Vincent : Sciences Naturelles, 1^{ère} D, Vuibert, 1976.
- R. Tavernier : Biologie Géologie 3^è, Bordas, 1980.
- R. Tavernier : Biologie Géologie, Première S, Bordas, 1988.
- R. Tavernier : Biologie Premières L & ES, Bordas, 1988.
- R. Tavernier : Biologie Terminale C, Bordas, 1989.

REFERENCES :

- aquaportal.com
audilab.bmed.mcgill.ca
c.coupin.free.fr/cartable/docum
campusport.univ-lille2.fr
fr.khanacademy.org/science/high-school-biology/hs-human-body-systems
fr.wikipedia.org ' wiki ' Système immunitaire
http://blinks3.free.fr/d_1e_SPE/genetique/06/dossier_1/index.html
<http://blinks3.free.fr/divers/fiches-techniques-instruments-methodes>
<http://campus.cerimes.fr ' histologie2 ' site ' html>
<http://campus.cerimes.fr ' histologie2 ' site ' html>
<http://florimont.info ' seconde ' tsubstances>
http://genet.univ-tours.fr ' biotechs_branches ' les_fer...
<http://keepschool.com ' ... ' Lycee ' Svt biologie>
<http://mdevmd.accesmad.org/mediatek/mod>
<http://pedydy3.free.fr/tpe/partie%201.htm>
<http://secretsdeloeuf.unblog.fr>
<http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article2358>
http://www.ac-grenoble.fr/svt/log/1_s/images/enzym_specif.gif
<http://www.chimix.com/an12/bac12/fr2.html>
<http://www.chups.jussieu.fr ' histo ' histoP1 ' muscul>
<http://www.jspb-imagine.com/Sharjah>
<http://www.naturopathie-en-clair.com ' comment-nos-c...>
<http://www.olabs.edu.in/?brch=3&cnt=1&sim=119&sub=73&lan=fr-FR>
<https://askthescientists.com ' cellular-energy-production>
<https://books.openedition.org ' pum>
<https://books.openedition.org/cdf/3705>
<https://chafik.hebfree.org/fr/deuxieme/cours/001/cour.html>
<https://etudiant.lefigaro.fr ' Bac ' Révisions et Quiz>
<https://fr.theepochtimes.com/5-signes-dinflammation-chronique->
<https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Cardiomyocyte>
<https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Fermentation>
https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Fermentation_alcoolique
<https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Génétique>
https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Génie_génétique
https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Hémoglobine_glyquée
<https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Interféron>
<https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Myocarde>
<https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Myocyte>
https://fr.wikipedia.org ' wiki ' Système_du_complément
<https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89mulSION>
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Saponification>
<https://kassandraguiral.wixsite.com/turritopsisnutricula/blank-oof0y>
<https://laitematernellaitinfantile.jimdofree.com>
<https://m.20-bal.com/doc/2540/index.html?page=3>
<https://planet-vie.ens.fr ' animaux ' systeme-immunitaire>
<https://planet-vie.ens.fr ' cellules-et-molecules ' la-ferm...>
<https://planet-vie.ens.fr ' controle-du-developpement>
<https://planet-vie.ens.fr ' metabolisme-cellulaire ' glucide...>
<https://pma-iac-ifsi.skyrock.com/3251469000-La-fecondation.html>
<https://souslemicroscope.com/phagocytose/>
<https://svt3eme.pressbooks.com>
<https://tpesoiearaignee.wordpress.com>
<https://www.afm-telethon.fr ' glossaire ' fibres-muscula...>
<https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/...>
<https://www.aquaportal.com/definition-6274-emulsion.html>
<https://www.aquaportal.com/definition-750-fecondation.html>
<https://www.assistancescolaire.com/>
<https://www.camerecole.org/classes/784-le-renouvellement-moleculaire...>
<https://www.cours-pharmacie.com ' immunologie>
<https://www.docteurclic.com/maladie/inflammation-de-la-peau.aspx>
<https://www.federationdesdiabetiques.org ' glycemie>
<https://www.fondation-lamap.org/fr>
<https://www.futura-sciences.com ' Santé ' Définitions>
<https://www.futura-sciences.com ' Santé ' Dossiers>
<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-saponification-3535/>
<https://www.genetique-medicale.fr ' article ' les-notion>
<https://www.google.com>
<https://www.google.com>
<https://www.jstor.org ' stable>
<https://www.khanacademy.org/science/biology/energy-and-enzymes...>
<https://www.laurentberta.com ' article-nutrition ' ferme...>
<https://www.maxicours.com ' cours ' l-atp-production->
<https://www.maxicours.com ' cours ' l-atp-utilisation>
https://www.medecinesciences.org ' full_html ' 2007/08
<https://www.mediachimie.org/actualite/comment-fabrique-t-du-savon>
https://www.pdfprof.com/PDF_Image.php?idt=208861&t=24
<https://www.researchgate.net>
<https://www.rhumatismes.net ' .>
https://www.svt-lycee-elorn.ovh/composition_matiere.php
<https://www.universalis.fr ' ... ' Génétique>
<https://www.universalis.fr ' 3-l-information-genetique>
<ifpek.centredoc.org>
<luc.pardanaud@college-de-france.fr>
<mdevmd.accesmad.org ' mod ' page ' view>
<slideplayer.fr>
<www.maxicours.com ' cours ' les-molecules-co.>
<www.maxicours.com ' cours ' les-molecules-consti>
<www.news-medical.net ' health ' What-are-the->
<www.superprof.fr ' ... ' cours ' Prépa>
<www.ulysse.u-bordeaux.fr/atelier/>

IPN

IPN