

BILAN DES ACTIVITÉS

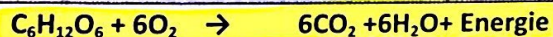
Activités 1 2

Mise en évidence de la respiration cellulaire et de la fermentation.

Les cellules utilisent le glucose comme métabolite énergétique pour en extraire l'énergie nécessaire à leurs activités. Elles peuvent le dégrader de deux façons :

La respiration cellulaire : est une dégradation complète du glucose, en présence d'oxygène, permettant une libération de toute l'énergie contenue dans ce métabolite (car les déchets sont le CO_2 et H_2O avec une énergie chimique égale à 0 KJ)

Le bilan des transformations chimiques de la respiration cellulaire s'écrit :



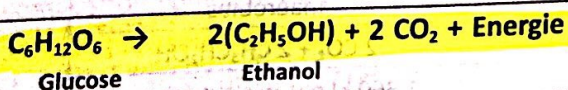
La fermentation : En absence de dioxygène, certains êtres vivants (par exemple les levures) sont capables d'oxyder le glucose : C'est la fermentation. C'est une oxydation incomplète qui produit de l'éthanol d'où le nom de fermentation alcoolique.

D'autres cellules réalisent d'autres types de fermentation. Par exemple les bactéries du yaourt ou les fibres musculaires peuvent réaliser la fermentation lactique.

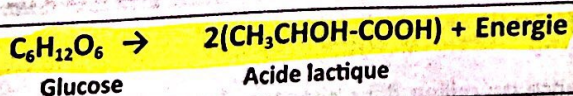
La fermentation permet la libération partielle de l'énergie chimique du métabolite, car les déchets sont l'éthanol et le CO_2 ou l'acide lactique qui sont des molécules organiques donc contiennent de l'énergie.

Une partie de l'énergie libérée est utilisée pour la synthèse d'ATP (stockés dans la cellule) et l'autre partie est dissipée sous forme de chaleur.

Equation globale de la fermentation alcoolique :



Equation globale de la fermentation lactique :



Activité 3

La glycolyse : étape commune entre respiration et fermentation

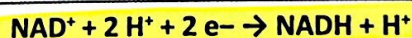
La fermentation est un processus qui ne nécessite pas la présence du dioxygène ni des mitochondries. Elles se déroulent dans le cytosol (hyaloplasme). Alors que la respiration nécessite du dioxygène et des mitochondries.

Les mitochondries sont les organites de la respiration cellulaire. Cependant, elles ne peuvent utiliser directement, le glucose, il faut qu'il soit préalablement transformé en acide pyruvique. Les mitochondries consomment alors du dioxygène pour oxyder l'acide pyruvique et rejettent du dioxyde de carbone, déchet de cette activité respiratoire.

La glycolyse est une voie métabolique de dégradation du glucose et de production d'énergie. Elle se déroule dans le cytosol de la cellule. Comme son nom l'indique elle nécessite du glucose et a pour produit du pyruvate. Ce dernier peut, soit entrer dans le cycle de Krebs, qui se déroule dans la mitochondrie des eucaryotes, soit être métabolisé par fermentation en anaérobiose, pour produire par exemple du lactate ou de l'éthanol.

La glycolyse est un mécanisme de régénération d'ATP qui ne nécessite pas d'oxygène. Au cours de ce processus, on assiste à :

- Des réactions d'oxydo-réduction au cours desquelles un accepteur d'électrons (coenzyme NAD^+) est réduit :



- Des synthèses d'ATP par phosphorylation d'ADP (formation nette de deux moles d'ATP) :



La glycolyse s'accompagne donc de l'oxydation de molécules organiques. On peut dire qu'elle correspond à l'oxydation du glucose en pyruvate :



Activité 4

Rôle des mitochondries dans la production d'énergie : les réactions chimiques dans la matrice

Les réactions de respiration faisant suite à la glycolyse se déroulent dans les mitochondries. La mitochondrie est un organelle cellulaire, limitée par une enveloppe formée de deux membranes : membrane externe et membrane interne. Ces membranes sont très différentes dans leur composition et leurs fonctions. Ces deux membranes délimitent trois milieux : l'espace extra-mitochondrial qui est le cytosol de la cellule, l'espace inter-membranaire et la matrice.

La membrane interne est composée de 80% de protéines et de 20% de lipides. Elle a une perméabilité sélective. A part pour certaines petites molécules neutres telles que l'O₂, l'H₂O et le CO₂ qui peuvent diffuser passivement, la plupart des ions et les molécules utilisent un transporteur spécifique pour traverser cette membrane.

La membrane interne forme des invaginations qui apparaissent sous forme de crêtes ou replis au microscope électronique. Ces crêtes augmentent considérablement la surface de la membrane et favorisent l'existence supplémentaire d'unités de phosphorylation oxydative.

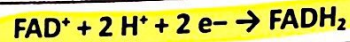
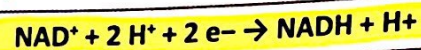
La matrice : Ce compartiment interne contient un mélange très concentré d'enzymes, dont celles qui sont nécessaires à l'oxydation du pyruvate et des acides gras et celles du cycle de Krebs.

Le cycle de Krebs : L'acide pyruvique pénètre dans la mitochondrie, où il subit une série de décarboxylations (=réactions conduisant à la libération de CO₂) et de déshydrogénations. Les six carbones initialement présentes dans le glucose se retrouvent finalement dans des molécules de CO₂ : il y a minéralisation du carbone organique et dégradation complète du glucose.

Le mécanisme est le suivant :

- L'acide pyruvique subit une première décarboxylation / déshydrogénation
- Le groupement à deux carbones 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. Les déshydrogénations permettent de réduire des transporteurs d'hydrogènes NAD⁺ et FAD⁺ selon les réactions :



- une molécule d'ATP (GTP) est produite par la phosphorylation au niveau du substrat.



On constate que le cycle de Krebs ne produit qu'un seul équivalent ATP (une GTP), l'essentiel de l'énergie chimique potentielle est produite sous forme de molécules riches en énergie (NADH + H⁺ et FADH₂). Ces molécules sont ultérieurement utilisées dans la chaîne respiratoire des mitochondries pour produire l'ATP.

Activité 5

Rôle des mitochondries dans la chaîne respiratoire : le rôle de la membrane interne

La chaîne respiratoire est constituée d'un ensemble complexe de protéines de la membrane interne mitochondriale des cellules eucaryotes.

Une grande partie de l'énergie produite au cours de la glycolyse et du cycle de Krebs se retrouve contenue dans le NADH+H⁺ et le FADH₂; elle sera convertie en ATP dans la mitochondrie : Ainsi, ces transporteurs réduits cèdent leurs deux électrons aux protéines de la chaîne respiratoire qui, par une cascade de réactions d'oxydo-réduction, amène ces électrons jusqu'à l'accepteur final, l'oxygène moléculaire qui se transforme alors en eau. La membrane interne est imperméable aux ions H⁺, cependant, au fur et à mesure que les électrons traversent les complexes de la chaîne de transport d'électrons, des protons passent de la matrice à l'espace inter-membranaire et génèrent un gradient de concentration de protons, de part et d'autre de cette membrane, qui constitue un réservoir d'énergie libre. La synthèse d'ATP se fait lors d'une réaction catalysée par l'ATP synthase mitochondriale, grâce au retour

BILAN DES ACTIVITÉS

des protons H^+ dans la matrice à travers les **sphères pédonculées**. La respiration et la phosphorylation de l'ADP sont donc couplées via ce gradient de protons (**phosphorylation oxydative**).

Activité 6

Comparaison du bilan énergétique de la respiration et de la fermentation

Bilan ATP de la respiration

Le bilan de la production d'ATP pour une mole de glucose :

Bilan de la glycolyse

- 2 $NADH+H^+$
- 2 ATP

Bilan pour 2 acides pyruviques

- 2 CO_2
- 2 $NADH+H^+$

Bilan pour 2 tours de cycles de Krebs

- 4 CO_2
- 6 $NADH+H^+$
- 2 $FADH_2$
- 2 ATP

Total

- 6 CO_2
- 10 $NADH+H^+$

- 2 $FADH_2$
- 4 ATP

Pour 1 $NADH+H^+$, il y a la possibilité de synthétiser environ 3 ATP.

Pour 1 $FADH_2$, il y a la possibilité de synthétiser environ 2 ATP.

Le total d'ATP : $30 \text{ ATP} + 4 \text{ ATP} + 4 \text{ ATP} = 38 \text{ ATP}$ pour une mole de glucose.

En réalité, la production d'ATP peut varier de 36 à 38 ATP pour 1 glucose (à cause des transporteurs).

En aérobiose, la dégradation complète d'une mole de glucose (libération de 2880 kJ/mol permet la synthèse de 38 mole d'ATP (consommation d'environ 30,5 kJ/mol), ce qui correspond à un rendement énergétique de l'ordre de 40%.

Bilan ATP de la fermentation

La fermentation lactique ou alcoolique

= production d'ATP en absence d'oxygène en anaérobiose.

rendement = 2 ATP/glucose

$$= (2 \times 30.5) / 2860 = 2\%$$

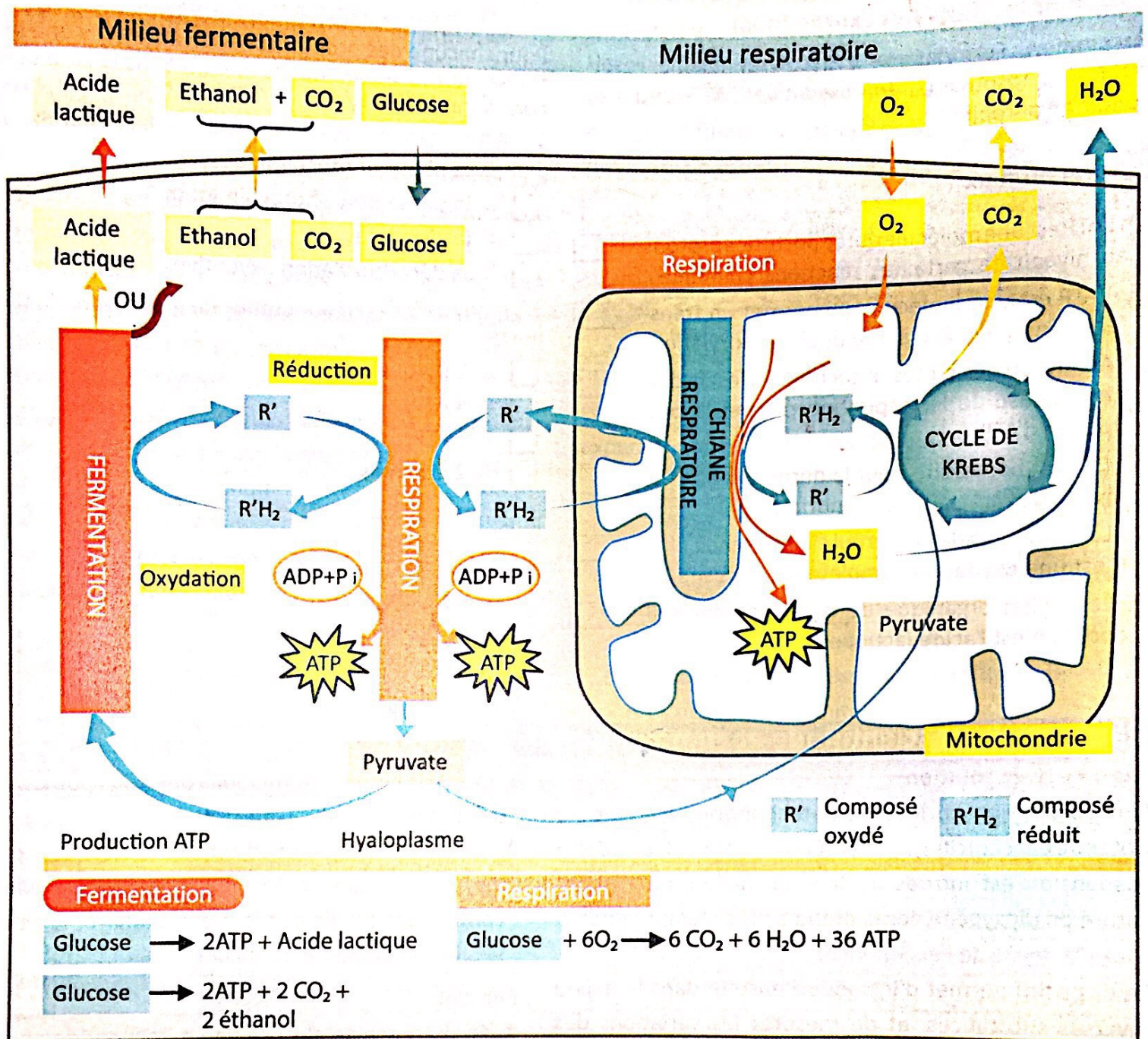
Les produits de fermentation contiennent une énergie chimique, potentiellement utilisable, en cas de retour à des conditions aérobies.

La source fondamentale d'énergie directement utilisable par les cellules est la molécule d'ATP. L'hydrolyse de cette molécule libère de l'énergie. Or le stock d'ATP dans une cellule est très restreint. La synthèse de nouvel ATP est assurée par deux processus métaboliques différents, la respiration et la fermentation, qui nécessitent l'intervention d'enzymes spécialisées.

Ces deux phénomènes, qui correspondent à l'oxydation des nutriments organiques par deshydrogénases successives, permettent la libération de l'énergie chimique contenue dans ces nutriments.

Pour une même quantité de métabolite dégradé, la synthèse de molécules d'ATP est plus importante dans le cas de la respiration que dans celui de la fermentation.

Schéma bilan



Activité 1

Enregistrement de la contraction musculaire

Le tissu musculaire possède certaines propriétés particulières qui lui permettent de remplir ses fonctions. Ces propriétés sont l'excitabilité, la contractilité, l'extensibilité et l'élasticité.

- **La réponse du muscle à un seul stimulus liminaire :** La secousse musculaire est la réponse d'un muscle à un seul stimulus égal ou au dessus du seuil de stimulation. En réponse à cette stimulation, le muscle se contracte rapidement puis se relâche.

On peut identifier trois phases :

- **la phase de latence :** elle dure quelques millisecondes suivant la stimulation, elle correspond au temps nécessaire à l'arrivée de l'influx nerveux au muscle ;
- **la phase de contraction :** c'est l'intervalle de temps entre le début du raccourcissement ou de la tension et le maximum de raccourcissement. Sa durée est de 10 à 100 millisecondes suivant les muscles ;
- **La phase de relâchement :** la contraction ne s'exerce plus, le raccourcissement ou la tension diminue pour revenir à sa valeur de repos. La durée de relâchement est toujours supérieure à celle de la contraction.

- **La réponse du muscle à des stimuli répétés :** Réponse du muscle à deux stimulations électriques rapprochées : Si les stimulations sont appliquées dans un court intervalle, il y a fusion des secousses musculaires. La 2^{ème} contraction sera d'une amplitude supérieure à la 1^{ère} car la 2^{ème} stimulation a lieu avant que le muscle ne se relâche complètement suite à la 1^{ère} stimulation. Lorsque la deuxième stimulation est très rapprochée, la fusion des secousses est complète.

Tétanos imparfait : Si la fréquence des excitations fait en sorte que l'excitation suivante arrive au muscle pendant la phase de relâchement de la secousse relative à l'excitation précédente, le myogramme obtenu donne des secousses avec fusion incomplète.

Tétanos parfait : Si la fréquence des excitations fait en sorte que l'excitation suivante arrive au muscle pendant la phase de contraction de la secousse relative à l'excitation précédente, la sommation étant totale, le myogramme augmente d'amplitude de façon régulière et présente un plateau régulier.

Activité 2

Les phénomènes thermiques et énergétiques liés à la contraction musculaire

Seule une proportion de l'énergie libérée par la contraction musculaire est convertie en travail utile. Le reste est transformé en chaleur, ce qui doit être pris en compte dans le maintien de la température de l'organisme. D'habitude, plusieurs processus, dont la transpiration et le rayonnement de chaleur par la peau, empêchent la température d'atteindre un niveau dangereux. Les frissons représentent l'autre extrême de l'ajustement thermique de l'organisme, puisque les contractions musculaires ont alors pour rôle de produire un supplément de chaleur.

Suite à une contraction musculaire il y a un dégagement de chaleur qui se fait en deux temps :

- **Une chaleur initiale** qui se dégage pendant la secousse musculaire. Elle comporte :
 - la chaleur de contraction dégagee au cours de la phase de contraction ;
 - la chaleur de relâchement dégagee au cours de la phase de relâchement.
- **Une chaleur retardée** qui se dégage lentement après la secousse.

Au cours de l'activité physique, les réserves du muscle en glycogène diminuent. La consommation du glucose et de l'oxygène augmente ainsi que le dégagement du CO₂. Ces phénomènes chimiques traduisent l'oxydation du glucose qui produit l'énergie nécessaire à la contraction du muscle.

Activité 3

Structure et ultrastructure du muscle strié squelettique

Chaque muscle squelettique est un organe bien délimité dont la majeure partie comprend des centaines, voire des milliers de fibres musculaires regroupées en faisceaux. Le muscle squelettique renferme également du tissu conjonctif, des vaisseaux sanguins et des terminaisons nerveuses.

Chaque fibre musculaire squelettique est une longue cellule cylindrique renfermant de nombreux noyaux ovales côtoyant le sarcolème (membrane plasmique). Le sarcoplasme d'une fibre musculaire est comparable au cytoplasme des autres cellules, mais il abrite des myofibrilles, le réticulum sarcoplasmique et des réserves importantes de glycogène ainsi que de la myoglobine :

H. Hachon

une protéine qui se lie à l'oxygène et n'existe dans aucun autre type de cellule.

Chaque fibre musculaire comporte un grand nombre de **myofibrilles** parallèles qui parcourent toute la longueur de la cellule. Ils représentent les éléments contractiles des cellules des muscles squelettiques. Sur la longueur de chaque myofibrille, on remarque une alternance de bandes foncées (bandes A) et de bandes claires (bandes I).

Chaque bande A est coupée en son milieu par une rayure plus claire appelée **zone H**. Au milieu des bandes I, on remarque également une zone plus foncée que l'on nomme **strie Z**. La région d'une myofibrille comprise entre deux **striés Z** successives est appelée **sarcomère** : c'est la plus petite unité contractile de la fibre musculaire (unité fonctionnelle de la fibre musculaire).

Le sarcomère est constitué par un assemblage de filaments parallèles d'actine (filaments minces) et de myosine (filaments épais).

Les filaments d'actine, longs d'environ $1\mu\text{m}$, sont composés essentiellement d'une protéine globulaire. Sur sa longueur, le filament d'actine est associé à d'autres protéines qui interviennent dans la contraction musculaire : La troponine et la tropomyosine.

Les filaments de myosine, structures bipolaires résultant de l'association de nombreuses molécules de myosine.

La myosine est une protéine motrice formée d'une tête bilobée et d'une queue.

Activité 4

Mécanisme de la contraction musculaire

Lorsque l'influx nerveux arrive au muscle, des ions calcium sont libérés à partir du réticulum sarcoplasmique. Ils se fixent sur la troponine qui change de conformation et déplace la tropomyosine. Cela libère le site de fixation de la myosine.

Pour fonctionner, le muscle a besoin d'énergie sous forme d'ATP. Cette ATP (Adénosine Tri Phosphate) est produite à partir du glucose (ou du glycogène).

La contraction d'une fibre musculaire se fait par un glissement des filaments minces d'actine le long des filaments épais de myosine, de telle sorte que les myofilaments se chevauchent.

Mécanisme moléculaire expliquant le glissement des myofilaments : l'influx nerveux qui déclenche la contraction provoque une augmentation de la quantité d'ions calcium à l'intérieur de la cellule. Ces ions permettent d'exposer les sites de liaison de la myosine

sur les filaments d'actine. Dès que les sites de liaison de l'actine sont exposés, les événements suivants se succèdent rapidement.

Etape 1 : La tête de myosine porteuse d'ADP se lie avec l'actine (formation d'un complexe actine-myosine).

Etape 2 : Le Pi puis l'ADP se détachent, modifiant ainsi l'angle formé par les têtes de myosine fixées à l'actine ($90^\circ \rightarrow 45^\circ$) et donc entraînant le déplacement de l'actine par rapport à la myosine

Etape 3 : une molécule d'ATP se fixe sur la tête de myosine ce qui a pour effet de dissocier la tête de myosine de l'actine.

Etape 4 : La tête de myosine hydrolyse l'ATP en ADP + Pi ce qui libère une énergie nécessaire à l'activation de la tête de myosine qui s'oriente perpendiculairement (90°) à l'axe du filament de myosine.

Tant que l'ATP est disponible et la concentration de Ca^{++} est élevée le cycle se répète pour toutes les têtes de myosine ce qui entraîne le glissement des filaments d'actine et de myosine.

Activité 5

renouvellement de l'ATP nécessaire à la contraction musculaire

- **Voies rapides anaérobies** : avant 30 secondes :

Réaction 1 : $\text{ADP} + \text{ADP} \rightarrow \text{ATP} + \text{AMP}$;

Réaction 2 : $\text{ADP} + \text{CP (phosphocréatine)} \rightarrow \text{C (créatine)} + \text{ATP}$.

La réaction 2 est accompagnée par le dégagement de la chaleur initiale.

- **Voies lentes** :

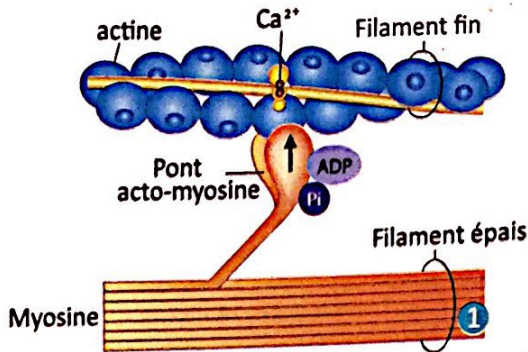
Après épuisement de la phosphocréatine la fermentation lactique prend le relais, ce qui permet de produire seulement 2 molécules d'ATP (lors de la glycolyse) par molécule de glucose oxydée partiellement.

Après quelques minutes d'effort, nécessaires à l'adaptation du système cardiovasculaire et respiratoire, les cellules musculaires, possédant de nombreuses mitochondries, sont correctement approvisionnées en dioxygène. L'ATP est alors principalement régénérée par la voie métabolique aérobie de la respiration cellulaire, qui permet de produire 36 molécules d'ATP par molécule de glucose oxydée.

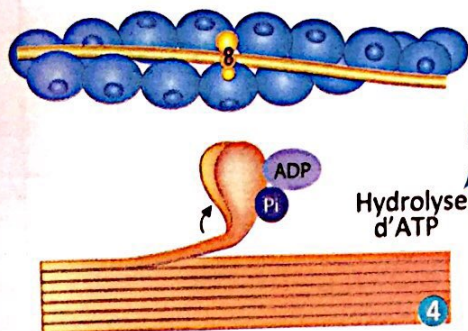
2 Mécanisme moléculaire de la contraction musculaire

a Cycle de contraction musculaire.

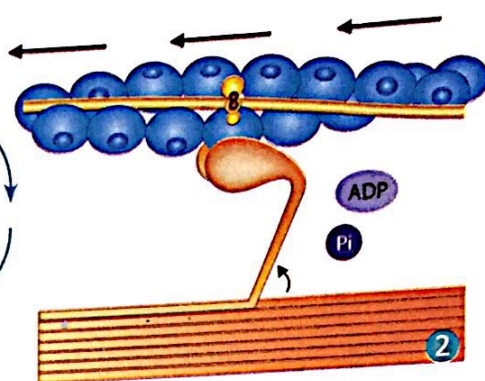
Etape 4 : La tête de myosine hydrolyse l'ATP en ADP + Pi ce qui libère une énergie nécessaire à l'activation de la tête de myosine qui s'oriente perpendiculairement (90°) à l'axe du filament de myosine.



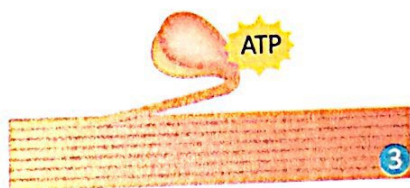
Etape 1 : La troponine déplace la tropomyosine en présence de Ca^{2+} ; La tête de myosine porteuse d'ADP se lie avec l'actine (formation d'un complexe actine-myosine).



Tant que l'ATP est disponible et la concentration de Ca^{2+} est élevée le cycle se répète pour toutes les têtes de myosine.



Etape 3 : une molécule d'ATP se fixe sur la tête de myosine ce qui a pour effet de dissocier la tête de myosine de l'actine.



Etape 2 : Le Pi puis l'ADP se détachent, modifiant ainsi l'angle formé par les têtes de myosine fixées à l'actine (90° → 45°) et donc entraînant le déplacement de l'actine par rapport à la myosine.

b Succession d'événements aboutissant à la contraction musculaire :

- Arrivée de l'influx nerveux par les fibres motrices ;
- Libération du calcium par le réticulum sarcoplasmique ;
- Formations des ponts actomyosine ;
- Hydrolyse de l'ATP et conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique ;
- Le cycle se répète tant que les ions Ca^{2+} sont présents,
- Après l'arrêt de la stimulation, les ions Ca^{2+} retournent vers le réticulum sarcoplasmique et le muscle se relâche.

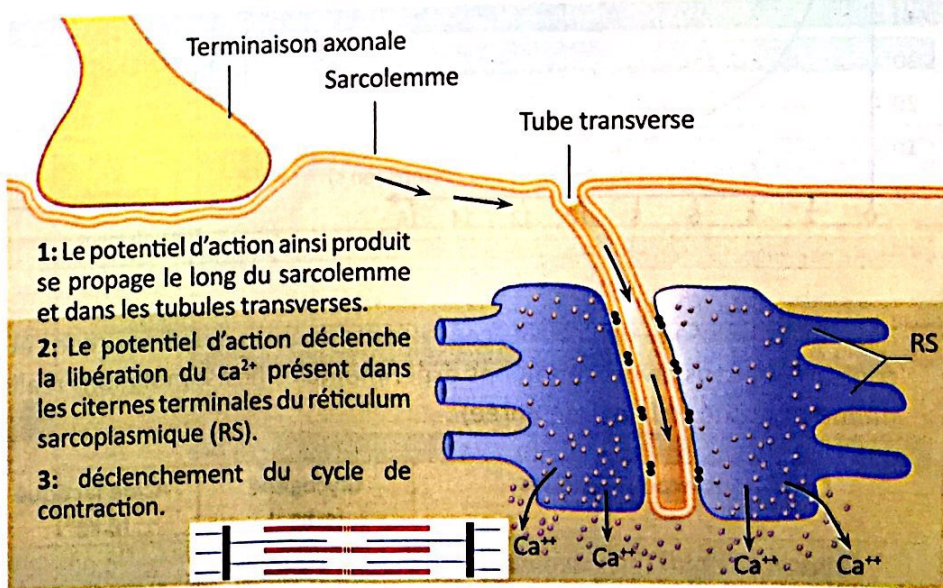
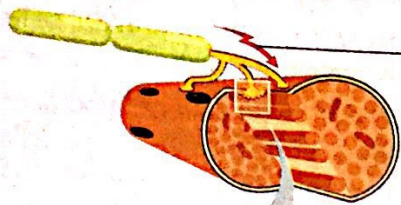
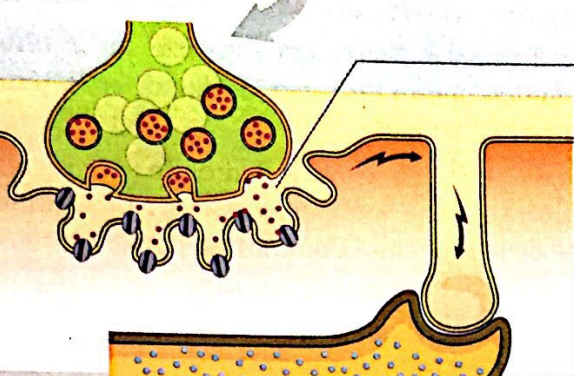


Schéma bilan



Arrivée du potentiel d'action



Passage du potentiel d'action à la membrane de la fibre musculaire

Calcium

Libération des ions calcium

Troponine



Glissement des filaments



Séparation des ponts acto-myosine



Contraction du muscle



Relâchement du muscle

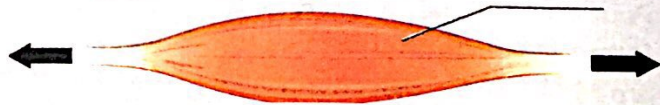
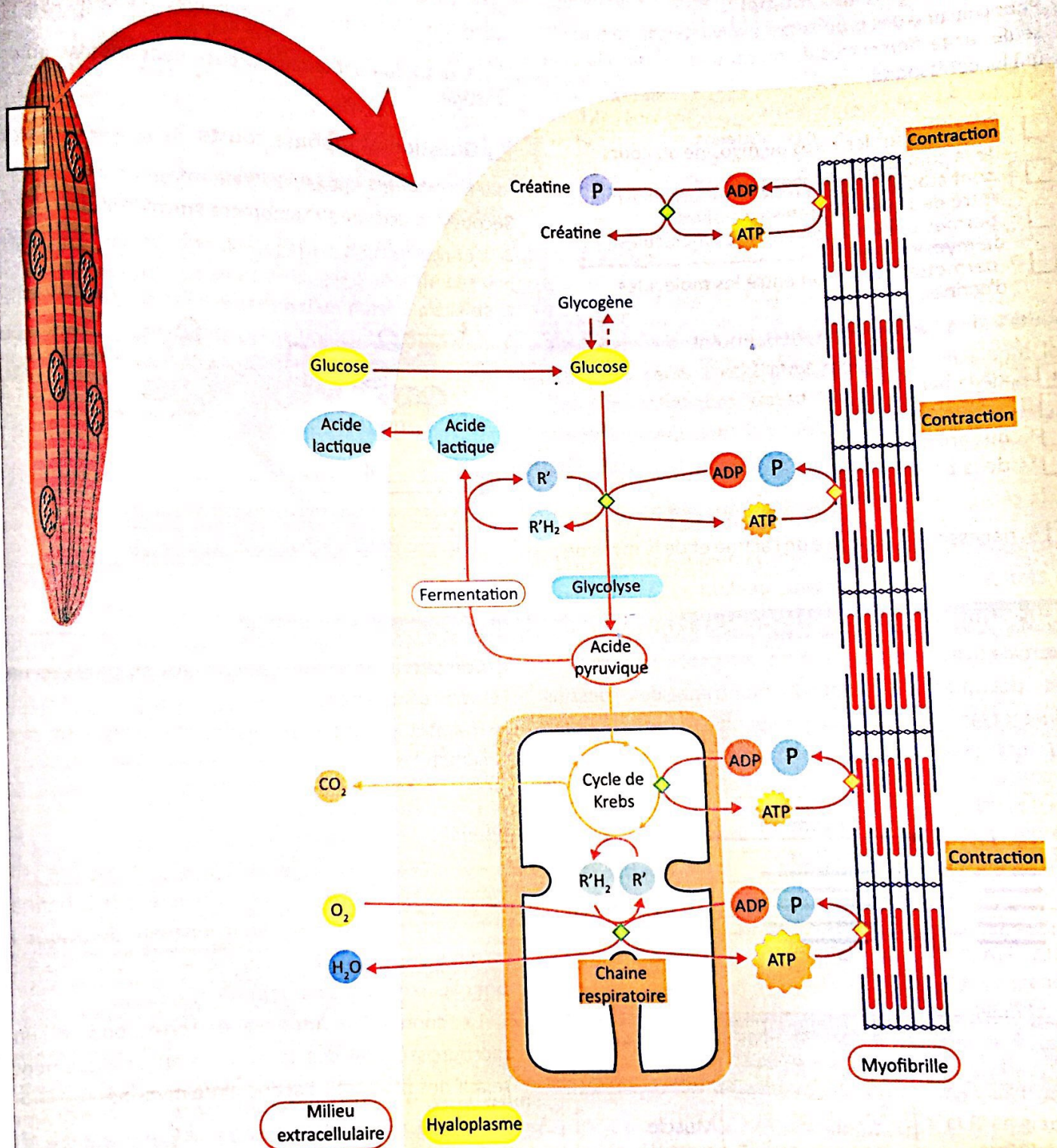


Schéma bilan de la consommation de la matière et du flux d'énergie au niveau de la cellule



BILAN DES ACTIVITÉS

Activité 1

Relation gène-caractère

Un caractère est un signe, une particularité externe ou interne, présent chez un individu (couleur des cheveux, taille, groupe sanguin...). Les caractères qui se retrouvent dans les générations successives sont des caractères héréditaires. Les conditions de vie peuvent modifier certains caractères. Ces modifications ne sont pas héréditaires.

Un gène est une partie d'un chromosome formant une unité d'information génétique. Il est responsable de la réalisation d'un caractère héréditaire : il détermine sa mise en place et sa transmission. Exemples : le gène qui détermine le groupe rhésus est sur le chromosome 1, le gène qui détermine le groupe sanguin (ABO) est sur le chromosome 9.

Activité 2

Relation protéine-caractère

Un phénotype peut être caractérisé à différentes échelles : Individuelle, où il se caractérise par un ensemble de caractères apparents (symptômes d'une maladie par ex.), cellulaire, où il s'exprime par les caractères des cellules à l'origine des symptômes observés, moléculaire, où il correspond à des modifications de la structure des molécules, lesquelles sont la cause des caractères cellulaires différents.

Il existe un parallélisme entre les variations d'un caractère présenté par divers individus d'une même espèce et les variations de la structure d'une protéine chez ces mêmes individus (ex: albinisme, drépanocytose.), ce qui concrétise la relation protéine-caractère.

Activité 3

relation gène-protéine

La séquence d'une protéine est susceptible de variations lorsqu'il y a variation d'un gène, c'est à dire modification de la séquence en nucléotides d'un morceau d'ADN. Il y a donc un rapport entre la séquence des nucléotides de l'ADN et la séquence en acides aminés d'une protéine, ce qui montre la relation gène-protéine.

Cette relation est illustrée par l'apparition de nouveaux phénotypes suite à des mutations au niveau du gène.

La mutation conduit à une nouvelle version du gène, appelée « allèle mutant », responsable de la synthèse d'une séquence d'acides aminés modifiée.

Une mutation désigne le processus par lequel un allèle naît par modification d'un gène préexistant.

Le plus souvent, les mutations sont ponctuelles et

concernent un ou plusieurs nucléotides.

Elles se produisent au hasard le long du gène.

La présence, au sein d'une espèce, d'individus présentant des phénotypes différents pour un même caractère héréditaire reflète le fait qu'un même gène présente plusieurs formes alléliques. Le gène occupe un segment précis, le locus du gène, sur un chromosome donné. Par convention on appelle allèle sauvage d'un gène un allèle qui sert de référence. Ce peut être celui qui est le plus fréquent dans les populations naturelles (sauvages) de l'espèce et qui confère une caractéristique commune à la majorité des individus. Les allèles mutants sont à l'origine des caractéristiques particulières d'individus mutants.

Activités 4 5

Mécanisme d'expression de l'information génétique – Le code génétique

La transcription

Le lieu de synthèse des protéines est le cytoplasme de la cellule. L'information génétique codée dans l'ADN se trouve dans le noyau. 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).

L'ARNm est synthétisée dans le noyau sous l'action d'un complexe enzymatique, l'ARN polymérase, au cours d'un phénomène appelé transcription. Elle passe ensuite dans le cytoplasme.

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'ARNm 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 noyau.

Les ribonucléotides sont des molécules constituées de trois éléments : une molécule d'acide phosphorique, une molécule de ribose et une base azotée (A, U, C ou G). Il n'y pas de thymine dans la molécule d'ARN, elle est remplacée par l'uracile.

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.

Le code génétique :

On appelle code génétique la correspondance étroite entre le « langage » de l'ADN qui comporte 64 codons différents, et le « langage » protéique, qui comporte 20 acides aminés.

Un même acide aminé peut être codé par des codons

différents : il y a redondance et le code génétique est dit dégénéré.

Trois codons ne désignent aucun acide aminé (codons-stop), ils correspondent à un signal de ponctuation. 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.

Activité 6

Mécanisme d'expression de l'information génétique : La traduction

La seconde étape de l'expression d'un gène, la traduction, se déroule dans le cytoplasme et correspond à l'assemblage des acides aminés pour former une protéine. Cette synthèse est effectuée selon les instructions contenues dans l'ARNm. L'information

réside dans la nature et l'ordre d'enchaînement des nucléotides.

La synthèse est réalisée au niveau des ribosomes, organites cytoplasmiques formés de protéines et d'ARNm, qui fonctionnent comme des ateliers d'assemblage.

Le mécanisme de synthèse comporte trois étapes :

a) L'initiation, au cours de laquelle un ribosome se fixe au niveau d'un triplet de l'ARNm. Ce triplet est toujours le codon AUG. C'est le codon d'initiation.

b) L'élongation, au cours de laquelle le ribosome se déplace le long de la chaîne d'ARNm et fait correspondre à chaque triplet rencontré, un acide aminé spécifique.

Les acides aminés s'enchaînent les uns aux autres par une liaison peptidique pour former une chaîne polypeptidique. Cette phase requiert la présence dans le cytoplasme de la cellule d'outils complémentaires :

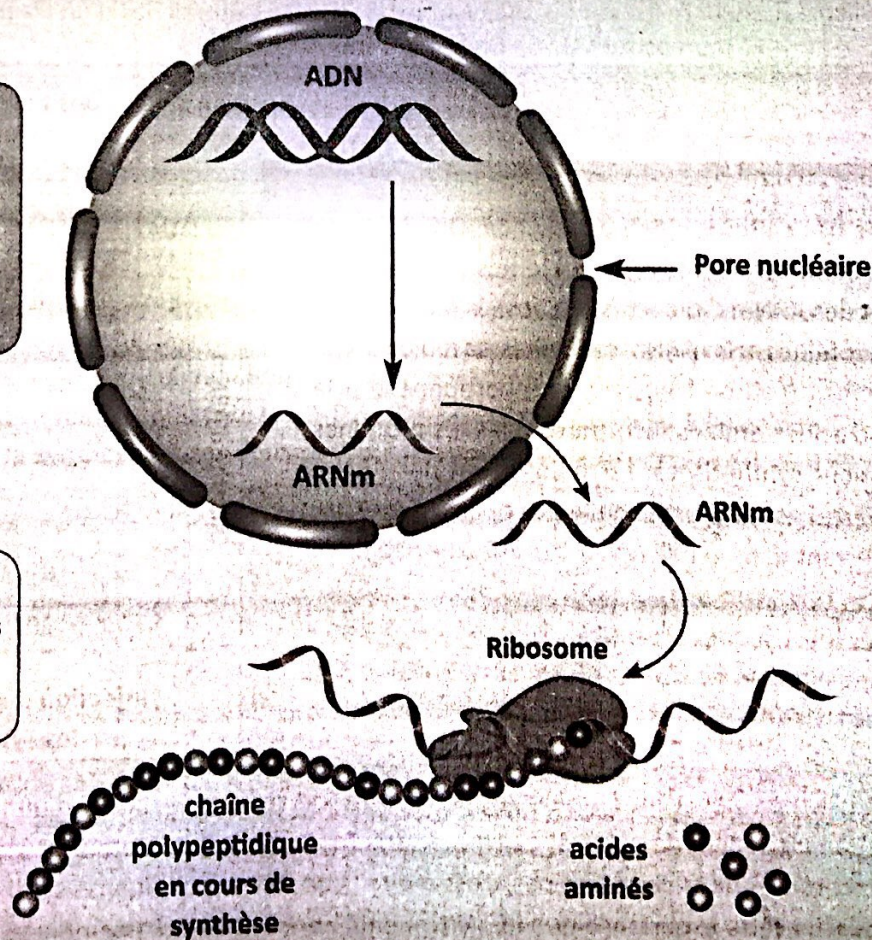
des ARN de transfert (ARNt), des enzymes et de l'énergie.

c) La terminaison provoquée par l'arrivée du ribosome au niveau d'un codon-stop. Le ribosome se détache de l'ARNm et libère la chaîne polypeptidique formée.

Schéma bilan

Dans le noyau
synthèse de ARN
messagers
(ARNm) à partir
des gènes contenus
dans l'ADN

Dans le cytoplasme:
synthèse des chaînes
polypeptidiques à
partir des ARNm



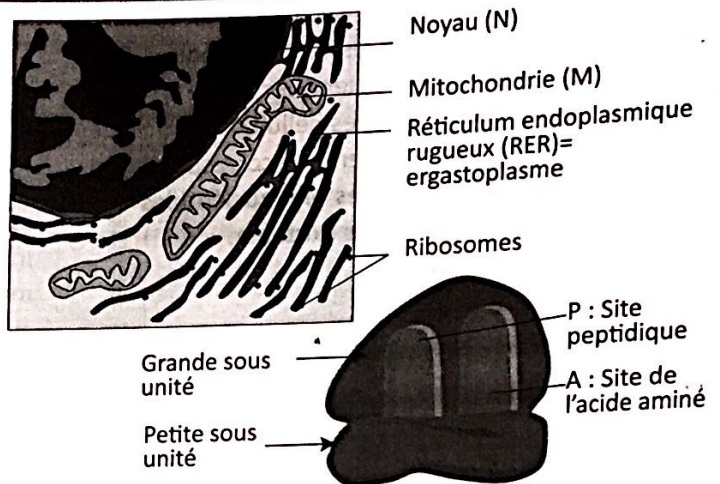
Activité 6

Mécanisme de l'expression de l'information génétique : La traduction

Dans le cytoplasme, le code génétique porté par l'ARN messager est traduit en protéine à partir de l'assemblage des acides aminés. Quels organites cytoplasmiques sont responsables de la synthèse protéique ? Comment se déroule la traduction de l'ARN messager en protéine ?

1 Les acteurs de la traduction

a Les ribosomes



Les ribosomes sont des granules cytoplasmiques de petite dimension (20 x 30 nm environ), visibles seulement au microscope électronique. Certains sont libres dans le cytoplasme, d'autres sont situés sur la face externe du réticulum.

Figure 1 : ultrastructure d'une cellule eucaryote avec schémas interprétatifs : Dans cette électronographie on identifie le réticulum tapissé de ribosomes (le réticulum endoplasmique rugueux ou ergastoplasme).

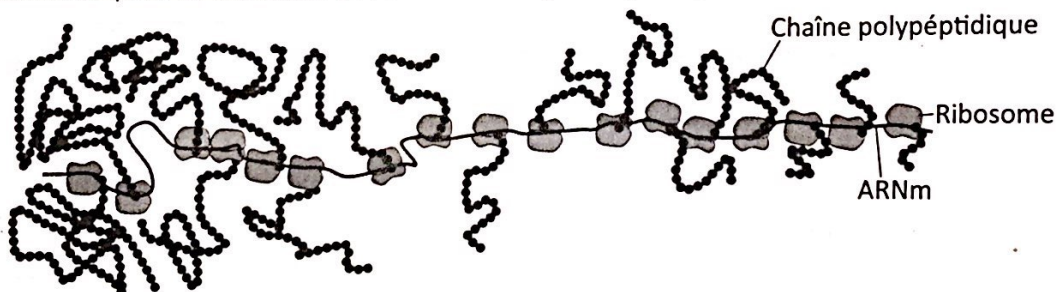


Figure 2 : Reliés par l'ARNm, plusieurs ribosomes forment un polysome.

b ARN de transfert

Un codon de l'ARNm (figure 1) et l'acide aminé correspondant sont incapables de se « connaître » directement. Un autre type d'ARN appelé ARN de transfert ou ARNt (figure 2) adaptateur nécessaire à cette reconnaissance.

La structure de l'ARNt lui permet de remplir deux fonctions

- Fixer un acide aminé spécifique sur un site spécifique.
- Reconnaître un codon déterminé de l'ARNm grâce à un anticodon complémentaire du codon de l'ARNm.

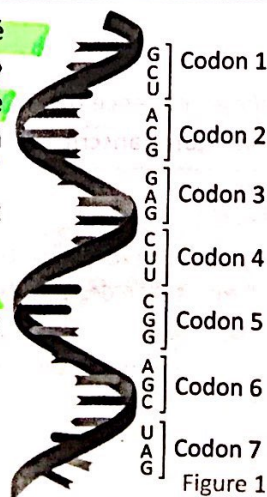


Figure 1

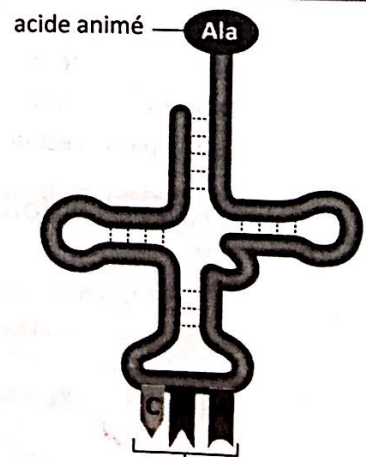
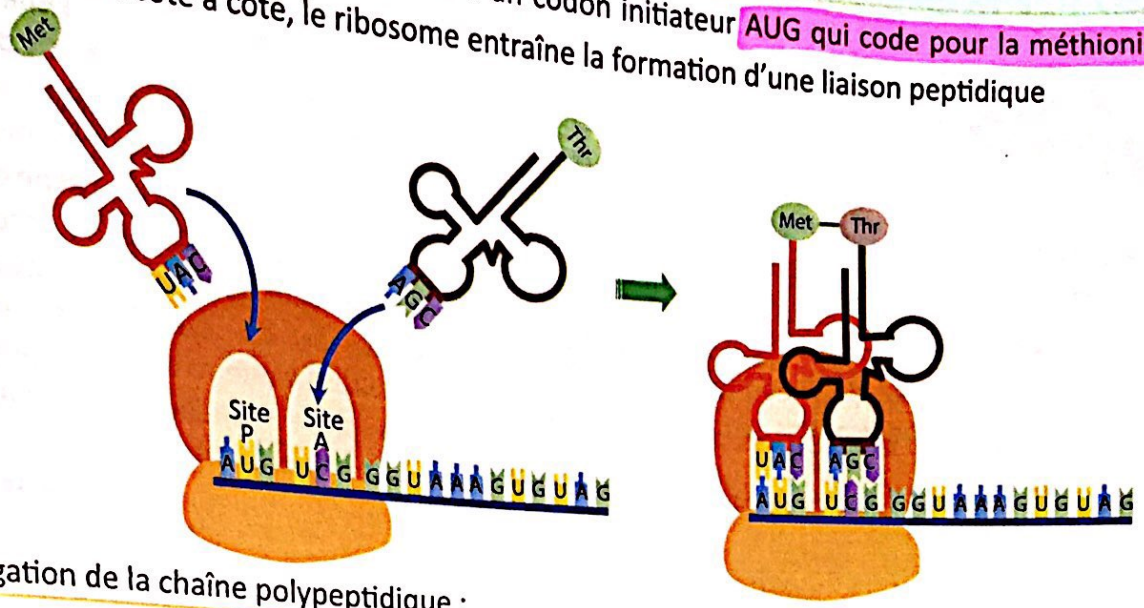


Figure 2

2 Les étapes de la traduction

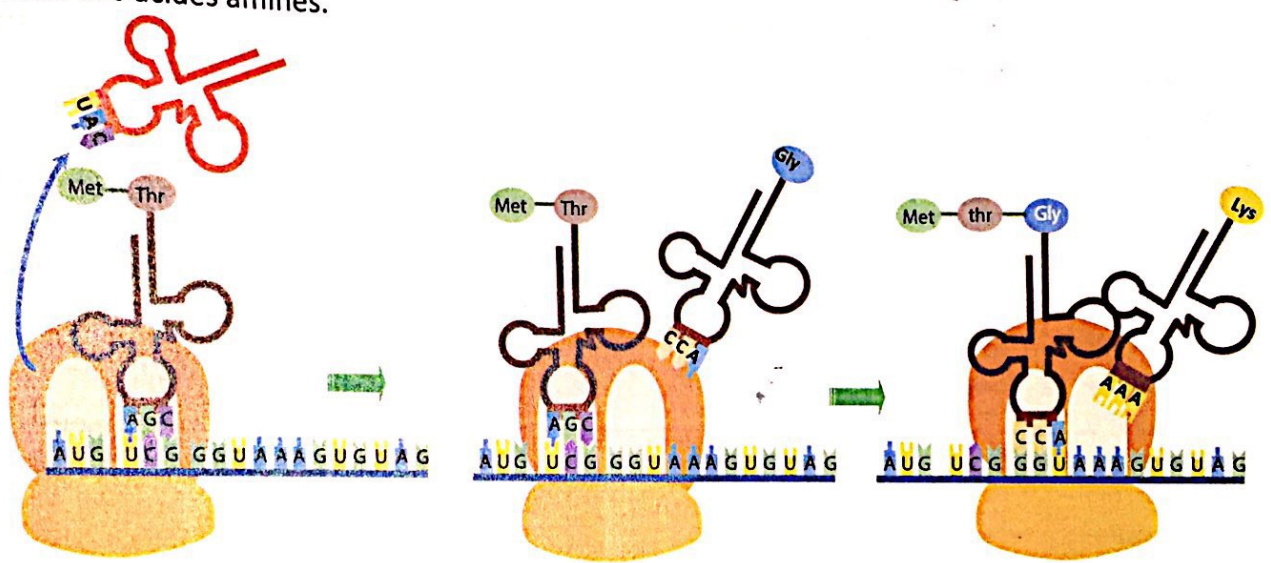
a Initiation de la synthèse protéique :

La synthèse démarre par la mise en place d'un codon initiateur **AUG** qui code pour la méthionine. Quand deux acides aminés sont côte à côte, le ribosome entraîne la formation d'une liaison peptidique



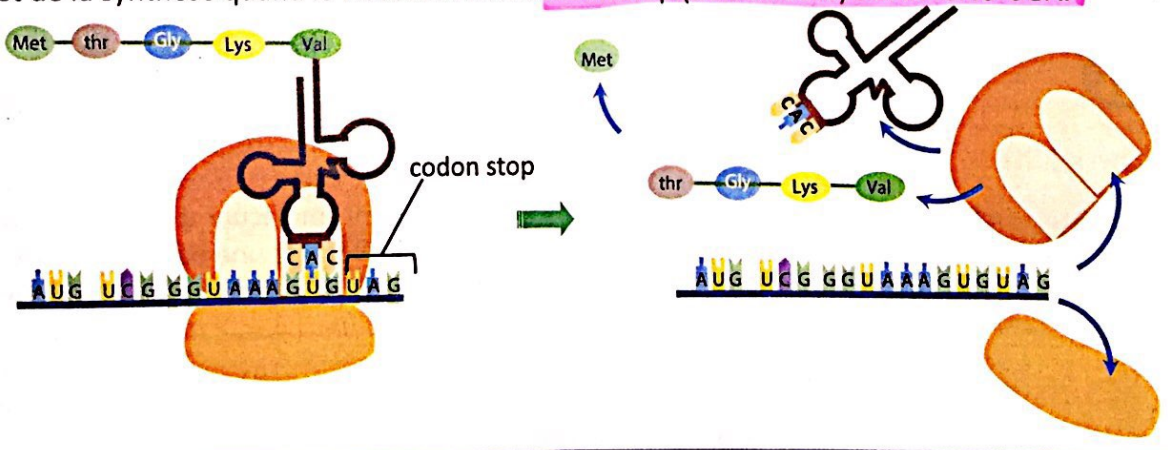
b Elongation de la chaîne polypeptidique :

Le ribosome se décale de la longueur d'un codon sur l'ARNm, il parcourt l'ARNm assurant ainsi la mise en place séquentielle des acides aminés.



c Terminaison de la synthèse :

Il y a arrêt de la synthèse quand le ribosome lit un **codon stop** (ou non sens) : UAA- UAG-UGA.



BILAN DES ACTIVITÉS

Activités 1 2

Localisation de l'information génétique - Mitose et cycle cellulaire

Le programme génétique à l'origine des caractères d'un individu est localisé dans le noyau des cellules sous forme de chromosomes observables lorsque les cellules se multiplient.

La mitose est un processus continu, mais elle peut être divisée en quatre phases, chacune étant essentiellement caractérisée par l'état et l'emplacement des chromosomes.

La prophase : La condensation des chromosomes commence et ils deviennent visibles (s'individualisent). Entre les deux pôles de la cellule apparaît un fuseau mitotique. L'enveloppe nucléaire disparaît et les chromosomes s'attachent à ce fuseau.

La métaphase : Les chromosomes sont totalement individualisés, leur condensation est maximale et leurs centromères sont tous à l'équateur de la cellule. Les chromosomes forment ainsi la plaque équatoriale.

L'anaphase : Les chromatides de chacun des chromosomes se séparent après rupture de centromère et migrent à des pôles opposés de la cellule. Ainsi, deux lots identiques de chromosomes à une chromatide se retrouvent à chacun des pôles de la cellule.

La télophase : Les chromosomes commencent à se décondenser, et l'enveloppe nucléaire commence à se former autour de chacun des deux lots. Le fuseau mitotique disparaît. La télophase se termine par la

cytodiérèse : la séparation des deux cellules filles par formation d'une nouvelle membrane plasmique, ainsi que la formation d'une nouvelle paroi pour chaque nouvelle cellule fille.

Ainsi, à l'issue de la division cellulaire ou mitose, les deux cellules filles possèdent le même équipement chromosomique qui est le même que celui de la cellule mère.

Au cours de sa vie, une cellule grandit puis se divise pour donner deux cellules filles qui lui sont identiques. On désigne sous le terme de cycle cellulaire les différentes étapes par lesquelles passe une cellule vivante entre deux divisions successives. Un cycle cellulaire comporte deux étapes : l'interphase suivi par la mitose.

Activités 3 4

La nature de l'information génétique - composition chimique de la molécule d'ADN sa structure et sa relation avec les chromosomes.

L'acide désoxyribonucléique (ADN) est le support de l'information génétique. Une molécule d'ADN est

formée de deux chaînes (ou brins) enroulées l'une autour de l'autre en double hélice.

Chaque brin est constitué de l'assemblage d'unités élémentaires appelées nucléotides.

Un nucléotide est formé par l'association de trois types de molécules différentes : Un sucre, le désoxyribose, un acide phosphorique, une base azotée.

Il existe 4 bases azotées différentes, donc 4 nucléotides différents : Adénine, Thymine, Guanine, Cytosine.

Pour former la double hélice, les nucléotides s'associent deux à deux (par complémentarité de bases). L'Adénine s'associe à la Thymine par 2 liaisons hydrogènes (liaisons faibles). La Cytosine s'associe à la Guanine par 3 liaisons hydrogènes. La molécule d'ADN est donc formée de deux chaînes complémentaires de nucléotides enroulées en double hélice.

Activité 5

La réplication de l'ADN

Dès 1953, Watson et Crick, les découvreurs de l'architecture de la molécule d'ADN, proposèrent un modèle semi-conservatif de la réplication. L'expérience de Taylor a contribué à valider cette hypothèse.

Une observation des chromatides en microscopie électronique pendant la phase S de l'interphase montre l'existence de zones appelées « yeux de réplication » où la molécule d'ADN est localement scindée en deux exemplaires. Chaque œil correspond à deux fourches de réplication qui progressent en sens inverse. Les différents « yeux » finissent par se rejoindre, permettant la duplication complète de la molécule d'ADN initiale.

Mécanisme de la réplication :

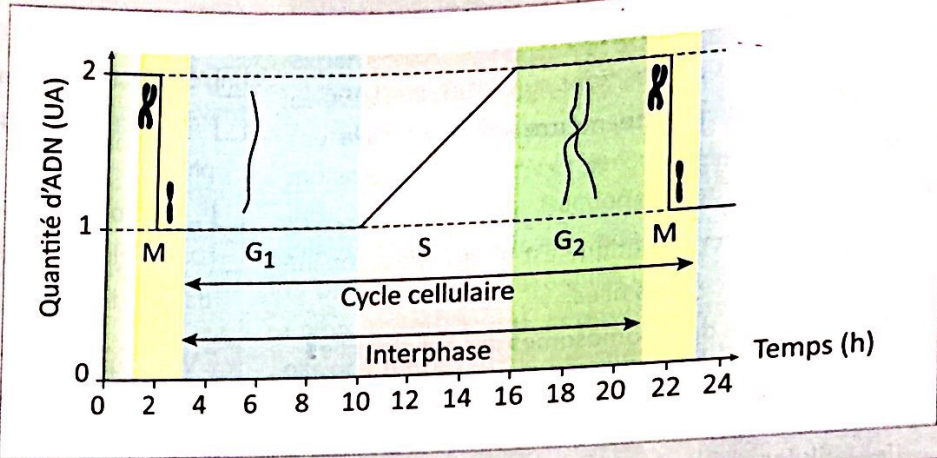
Lors de la réplication, une molécule mère d'ADN en donne deux. Ces deux molécules filles d'ADN sont formées chacune d'un brin matrice issu de la molécule de départ et d'un brin néoformé provenant de l'assemblage de nucléotides initialement dispersés dans le milieu cellulaire :

Au fur et à mesure de l'écartement des deux brins de la molécule d'ADN, des nucléotides s'apparient avec ceux du brin matrice par complémentarité des bases azotées. L'adénine se lie à la thymine par deux liaisons hydrogène et la cytosine se lie à la guanine par trois liaisons hydrogène. Ces processus d'ouverture de la double hélice et d'appariement des nucléotides dépendent d'un complexe enzymatique. (Hélicase - ADN pol)

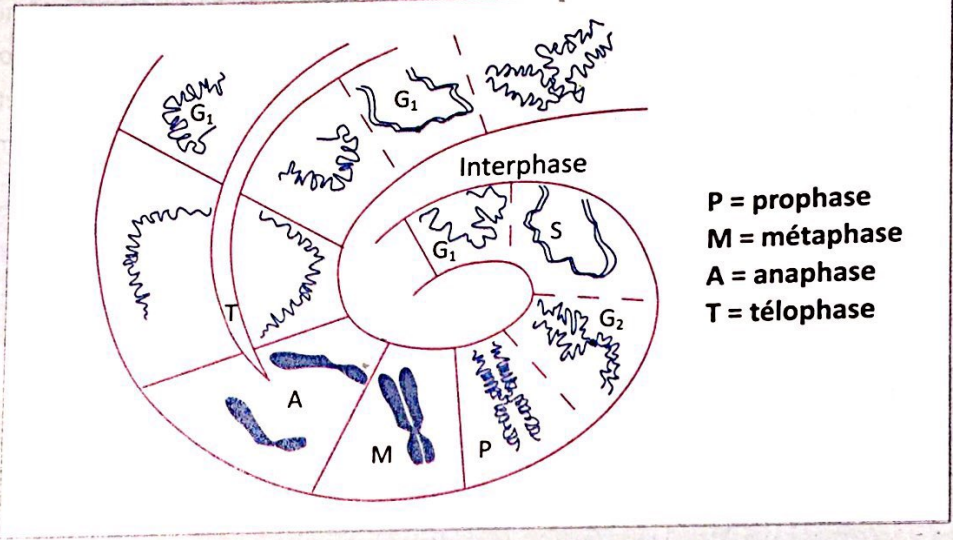
Dans chacune des deux molécules d'ADN obtenues, la moitié de la molécule de départ est conservée, c'est pourquoi le mécanisme de réplication est qualifié de semi-conservatif.

Schéma bilan

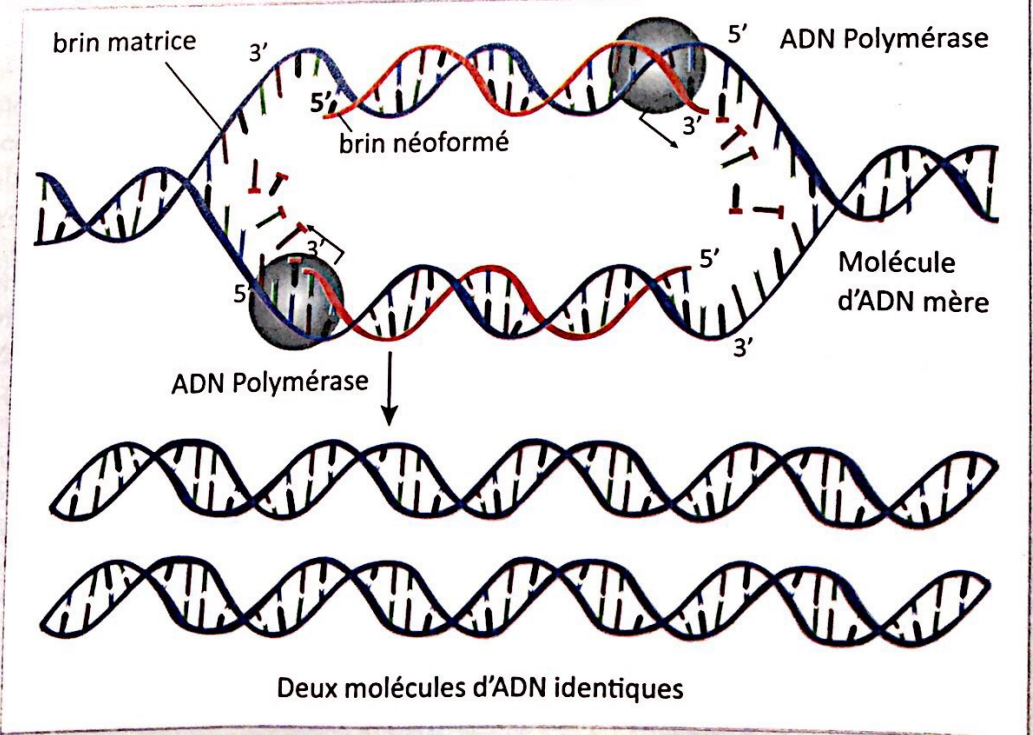
• Evolution de la quantité d'ADN dans le noyau d'une cellule au cours du cycle cellulaire.



• Evolution de l'aspect des chromosomes au cours du cycle cellulaire



• Réplication semi-conservative de l'ADN.



BILAN DES ACTIVITÉS

Activités 1 2

Les techniques expérimentales de Mendel ; Le monohybridisme - La dominance absolue.

La génétique classique débute avec les travaux de Gregor Mendel (1822-1884), qui expérimenta pendant 9 ans sur le Pois (*Pisum sativum*) pour confirmer ses théories de l'hérédité.

Gregor Mendel a centré son travail sur un seul organisme (le Pois: *Pisum sativum*).

Les croisements mendéliens les plus simples concernent deux souches variant pour un seul caractère (monohybridisme).

- Le premier croisement est réalisé entre deux individus de races pures, désignés par P_1 , présentant chacun l'un des deux phénotypes possibles du caractère (caractères oppositifs). Le phénotype de la première génération issue de ce croisement, désignée par F_1 , est celui de l'un des deux parents et résulte de la présence d'un facteur (allèle) parental qui est dominant. Le caractère qui n'apparaît pas en F_1 est sous la dépendance génétique de l'allèle récessif.

- Le deuxième croisement est réalisé entre les hybrides de F_1 (autofécondation). Les individus de la deuxième génération, désignée par F_2 , sont répartis selon les proportions suivantes : $3/4$ présentent le phénotype observé chez F_1 et $1/4$ présente le phénotype récessif qui avait disparu en F_1 .

A partir de ces travaux Mendel a déduit deux lois :

- Première loi de Mendel ou loi de l'uniformité des hybrides: les individus de F_1 issus du croisement de parents de lignée pure sont homogènes et semblables à l'une des lignées parentales.

- La deuxième loi de Mendel ou loi de la pureté des Gamètes : Les deux allèles d'un gène déterminant un caractère se disjoignent (ségrégent) lors de la formation des gamètes : une moitié des gamètes contient l'un des allèles et l'autre moitié contient l'autre.

Cette loi résulte du fait qu'il y a ségrégation des chromosomes homologues lors de l'anaphase de la première division méiotique (anaphase I).

Le test-cross: C'est un croisement entre un individu dominant de génotype inconnu avec un individu testeur homozygote récessif. L'individu testeur ne produit qu'un seul type de gamètes et il n'influence pas les phénotypes qui apparaissent à l'issue du croisement. Les phénotypes et leur proportion dépendent uniquement des gamètes produits par l'individu de génotype inconnu.

Si dans le monohybridisme on obtient 2 phénotypes dans les proportions $1/2$, $1/2$ cela signifie que l'individu de génotype inconnu a produit deux types de gamètes, il est donc hétérozygote.

Activités 3 4

Monohybridisme : la codominance et le gène létal.

Si le premier croisement entre les deux souches pures donnent des descendants F_1 de phénotype différent des phénotypes parentaux : il n'y a donc dominance d'aucun des deux phénotypes parentaux; le phénotype de « l'hybride » étant intermédiaire, on dit qu'il y a semi-dominance ou codominance.

Le croisement des hybrides donne une génération F_2 avec les proportions suivantes : $1/2$ phénotype intermédiaire et $1/4 + 1/4$ phénotypes parentaux.

Un allèle est dit létal lorsque les individus homozygotes pour le gène létal ne sont pas viables.

En F_2 , la disparition du $1/4$ des individus homozygotes pour le gène létal transforme les proportions normales $3/4 - 1/4$ en $2/3 - 1/3$, qui sont les proportions en F_2 d'un gène létal.

Activité 5

Monohybridisme : Hérité lié au sexe.

En réalisant des croisements entre deux lignées pures de *Drosophila melanogaster*, différents par un seul caractère, Thomas Morgan observe en F_2 la réapparition du caractère récessif, disparu en F_1 , chez 25% des descendants, des mâles uniquement.

Comme ce trait de caractère n'apparaît que chez le mâle, Morgan l'associe à un chromosome sexuel car il existe, chez la drosophile un déterminisme chromosomique du sexe: les femelles possédant une paire de chromosomes homologues (XX) et les mâles un chromosome X et un chromosome Y.

Il existe en effet ce que l'on appelle une partie propre de l'X et une partie propre de l'Y.

- Si un caractère est associé à la partie commune de l'X et de l'Y, sa transmission sera de mode autosomal.

- Si un caractère est associé à la partie propre de l'X, on dit que le caractère est « lié à X ». Il n'est présent qu'en un seul exemplaire chez le mâle (qui ne porte qu'un X) car il n'est pas porté par l'Y.

- Si un caractère est associé à la partie propre de l'Y, il sera présent que chez les mâles et aura une transmission de type toujours dominant (quelque soit l'allèle présent il est toujours seul et peut donc être exprimé).

Activités 6 7

Dihybridisme : La transmission de deux gènes indépendants – le test-cross

Mendel a poursuivi ses travaux en s'intéressant à la transmission de deux caractères (dihybridisme).

- Le premier croisement est réalisé entre deux individus de races pures, l'un porte les deux phénotypes dominants et l'autre avec les deux phénotypes récessifs. Il obtient une génération F₁, homogène qui ressemble à l'un des deux parents (la première loi de Mendel est vérifiée).

- Le deuxième croisement est réalisé entre les hybrides de F₁ (autofécondation). Les individus de la deuxième génération, désignée par F₂, sont répartis selon les proportions suivantes : 1/16 (phénotype parental double récessif), 3/16 + 3/16 (phénotypes recombinés) et 9/16 (phénotype parental double dominant).

On interprète ces résultats par une ségrégation totalement aléatoire des allèles de chaque gène lors de la formation des gamètes, assortiment totalement indépendant des allèles des gènes différents et fécondation totalement aléatoire (la troisième loi de Mendel : Les paires de facteurs (allèles) se séparent de façon indépendante les unes des autres lors de la formation des gamètes).

Le test-cross permet de révéler le génotype d'un organisme qui présente un phénotype dominant. Cet individu peut être soit hétérozygote, soit homozygote pour l'allèle dominant. Et permet aussi de vérifier l'indépendance des deux gènes. Lorsqu'on croise un F₁ avec un double homozygote récessif on obtient, dans le cas des gènes indépendants, les proportions suivantes: 1/4 + 1/4 + 1/4 + 1/4 (deux phénotypes parentaux et deux phénotypes recombinés).

[PP] = [RR]
↳ 4 types de gamètes

Activité 8

Dihybridisme : La transmission de deux gènes liés

Dans le cas de deux gènes portés par un même chromosome (gènes liés) le croisement-test (test-cross) réalisé entre un hétérozygote et un double homozygote récessif donne une génération F' répartie en quatre phénotypes en quantité non équiprobable :

- 2 majoritaires de type parental ;
- 2 minoritaires de type recombiné.

Ce résultat constitue une exception à la troisième loi de Mendel.

Le type recombiné résulte d'un phénomène génétique appelé crossing-over qui a lieu lors de la méiose et qui contribue au brassage génétique lors de la reproduction.

Le crossing-over :

En prophase de la première division de méiose, les chromosomes homologues appariés échangent des portions de chromatides en réalisant des chiasmas : on obtient des chromosomes recombinés.

Ce phénomène est à l'origine d'un brassage intrachromosomique entre les allèles des paires homologues.

Un individu hétérozygote, pour 2 gènes situés sur la même paire de chromosomes homologues produira des gamètes de type parental mais aussi des gamètes de type recombiné issus du crossing-over.

Les gamètes recombinés seront en minorité par rapport aux gamètes parentaux.

Chez l'individu homozygote, le crossing-over ne modifie en rien la combinaison des allèles, ceux-ci étant identiques pour un gène donné.

Activité 9

Les cartes génétiques

La carte génétique (appelée aussi carte factorielle) est l'ordonnement de gènes grâce à l'analyse statistique de leur ségrégation au cours des générations.

Lors de la méiose, des gènes situés sur un même chromosome peuvent être séparés s'il se produit un crossing-over dans la région qui les sépare. La probabilité qu'un tel événement se produise est proportionnelle à la distance qui sépare ces gènes. La fréquence de recombinaison reflète donc des distances entre gènes et l'unité de distance est le centiMorgan (cM) : 1 cM est égal à 1% de crossing-over.

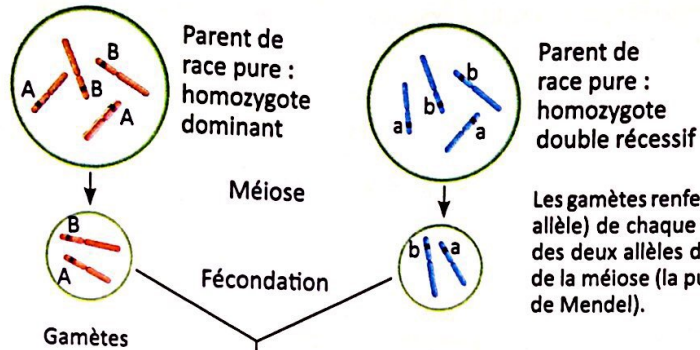
Cette analyse a permis de déterminer la distance entre les gènes 2 à deux. Le groupement de ces distances a permis d'établir la carte factorielle.

SCHEMA BILAN

La théorie chromosomique de l'hérédité

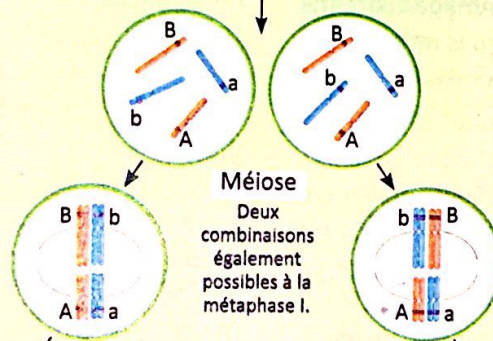
Les gènes mendéliens occupent des emplacements précis sur les chromosomes (= loci) et ce sont les chromosomes qui subissent les phénomènes de la ségrégation et de l'assortiment indépendant. Ceci se passe au cours de la reproduction sexuée (méiose-fécondation).

Nous suivons la transmission de deux gènes (deux couples d'allèles). Il s'agit du Dihybridisme. Les deux gènes sont portés par deux chromosomes différents. On dit qu'ils sont indépendants



Génération F₁

Tous les individus de la génération F₁ sont uniformes (1^{re} loi de Mendel). Chaque individu porte les deux formes alléliques différentes d'un même gène : c'est un hybride.

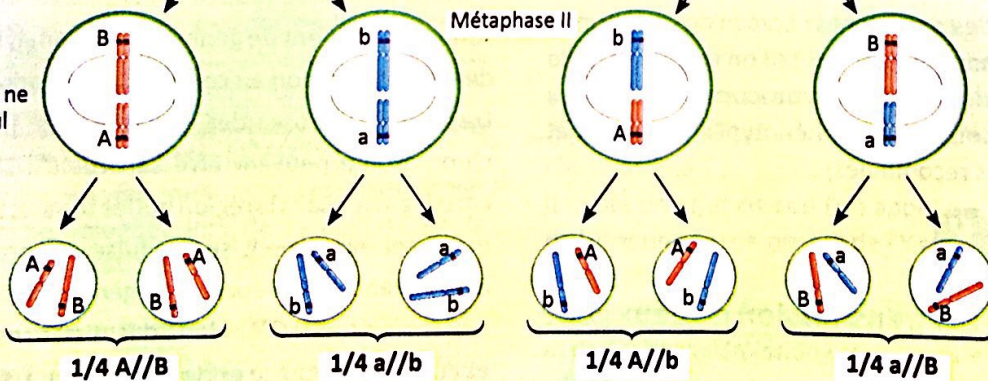


Deux combinaisons possibles des chromosomes homologues à l'anaphase I. Les deux allèles différents de chaque gène se séparent (ségrégation) au cours de la formation des gamètes (2^e loi de Mendel). Ce qui donne deux types de cellules filles pour ce locus.

Les allèles des gènes sur les chromosomes non homologues se séparent indépendamment lors de la formation des gamètes (3^e loi de Mendel).

Anaphase I
Les allèles des deux loci se séparent à l'anaphase I, ce qui donne quatre types de cellules filles selon l'arrangement des chromosomes à métaphase I

Chaque gamète ne reçoit qu'un seul chromosome. Donc un seul exemplaire de chaque allèle.



Génération F₂

La fécondation permet une rencontre aléatoire des allèles (assortiment aléatoire). L'assortiment aléatoire produit à la génération F₂ à quatre phénotypes différents dans la proportion de:

9/16 [A,B] ; 3/16 [A,b] ; 3/16 [a,B] ; 1/16 [a,b].

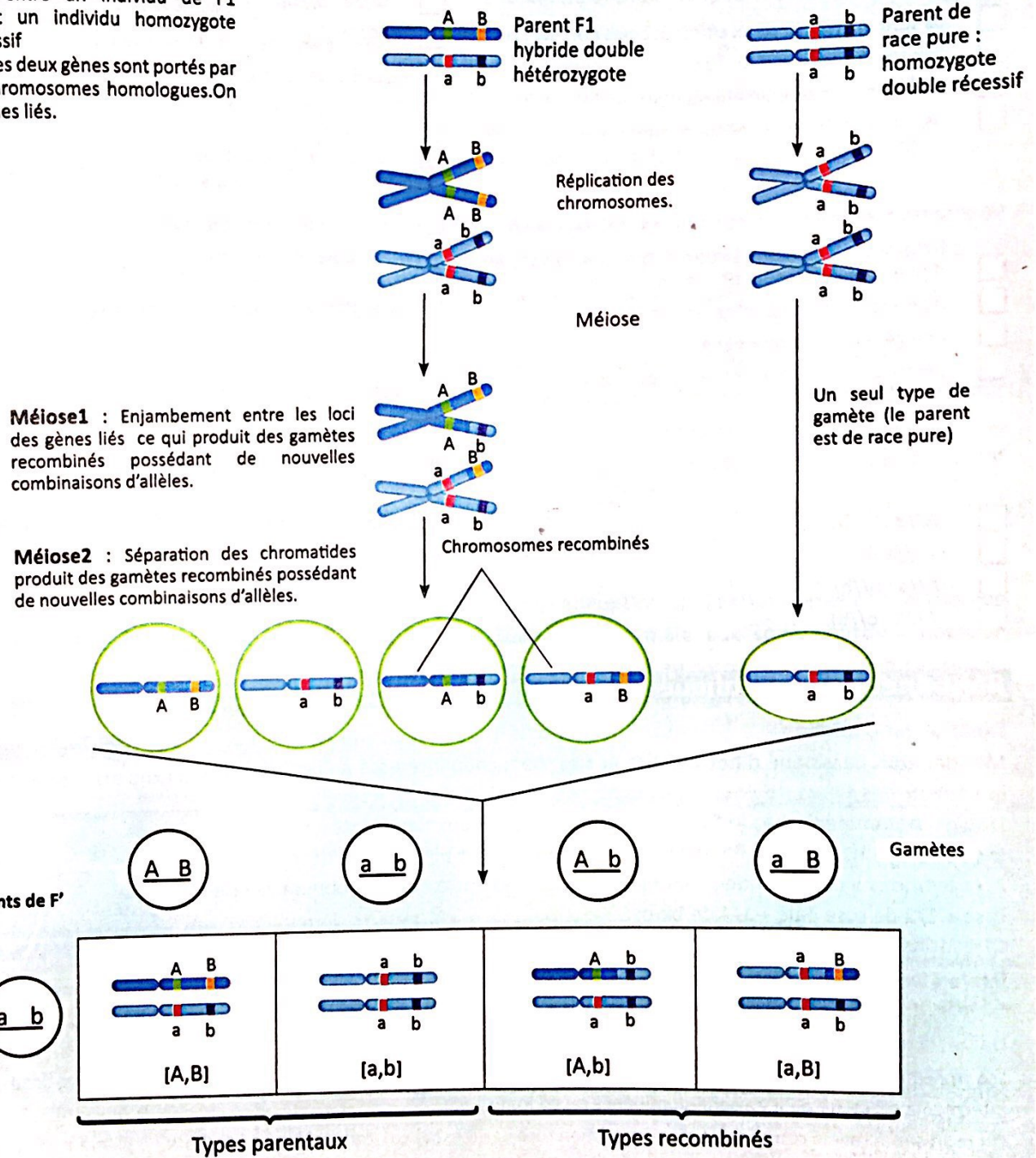
Les bases chromosomiques de la recombinaison des gènes liés

Les gènes liés sont souvent transmis ensemble parce qu'ils se trouvent situés près l'un de l'autre sur le même chromosome, ils n'obéissent plus à la loi mendélienne de l'assortiment indépendant des caractères.

Les variants phénotypiques des individus recombinés dans la descendance sont produits par un assortiment indépendant des chromosomes et par l'enjambement.

Recombinaison génétique = brassage des gènes entraînant l'apparition, dans la descendance, de caractères qui n'existaient pas ensemble chez aucun des deux parents.

Croisement entre un individu de F1 (hybride) et un individu homozygote double récessif
Les allèles des deux gènes sont portés par les deux chromosomes homologues. On parle de gènes liés.



Les types parentaux sont plus fréquents que les recombinés. Ces proportions ne sont pas conformes aux proportions liées à l'assortiment aléatoire des allèles (la 3^e loi de Mendel n'est pas appliquée si les gènes sont liés).