

L'ÉPREUVE ORALE DE BIOLOGIE DU BACCALAURÉAT BILINGUE

Dans le contexte des exigences qu'implique le baccalauréat bilingue francophone, le projet didactique pour la discipline BIOLOGIE se propose de:

- privilégier, au niveau des objectifs, l'observation et l'expérimentation;
- privilégier les activités d'apprentissage centrées sur une démarche active;
- aborder les contenus en perspective thématique;
- alterner les séquences thématiques avec des travaux pratiques, des études de cas et des leçons de synthèse.

A. LE PROGRAMME D'ENSEIGNEMENT: thèmes, unités, contenus

I. LES UNITES D'APPRENTISSAGE identifiées par les **THÈMES** retenus, conformément au PROGRAMME de BIOLOGIE comme discipline non-linguistique dans le cadre du BACCALAURÉAT BILINGUE, sont:

Thèmes de IX^{ème}

Unité I : La Cellule – unité structurale et fonctionnelle du monde vivant (Eucaryotes)

- a. la cytoplasme – les organites cellulaires
- b. le noyau – structure, ultra-structure et son rôle
- c. la division cellulaire – la mitose: phases et importance

Unité II : L'hérédité et la variabilité des organismes vivants. Les mécanismes de transmission des caractères héréditaires

- Les lois mendéliennes de l'hérédité: la loi de la pureté des gamètes ; la loi de la ségrégation indépendante des paires de caractères ; déviations de la séparation mendélienne.

Thèmes de X^{ème}

Unité I: La structure et les fonctions fondamentales des organismes vivants. Les fonctions de nutrition

- la nutrition autotrophe – la photosynthèse
- la respiration chez les animaux: la respiration chez les mammifères
- la circulation chez les animaux: le milieu interne chez les mammifères
- la transpiration et l'influence des facteurs du milieu sur la transpiration

Thèmes de XI^{ème}

Unité I: Les fonctions fondamentales de l'organisme humain

1. Les fonctions de relation:
 - a) Le système nerveux
 - le système nerveux somatique: l'acte réflexe - réflexes somatiques
 - b) Les analyseurs
 - la physiologie de la vue : la vue et les déficiences de vue
 - c) les glandes endocrines
 - la physiologie de la glande thyroïde et dysfonctionnements de celle-ci
 - la physiologie du pancréas et dysfonctionnements de celui-ci

2. Les fonctions de nutrition:
 - a) la digestion et l'absorption; transformations physico-chimiques des aliments ; l'absorption intestinale; notions élémentaires d'hygiène, pathologie

3. La fonction de reproduction: systèmes reproducteurs: composantes, physiologie

Thèmes de Terminale

Unité I: La génétique

- a. Génétique moléculaire
 - La structure et la fonction des acides nucléiques
- b. Génétique humaine
 - Le déterminisme génétique des principaux caractères phénotypiques humains

Unité II: Ecologie humaine

- L'impact anthropique sur les écosystèmes naturels

II. Une fois les contenus corroborés avec les objectifs de référence, **LES ACTIVITES D'APPRENTISSAGE** consistent à pouvoir:

- reconnaître et définir certains termes, concepts, lois et principes spécifiques aux sciences biologiques;
- investiguer et expérimenter certains phénomènes et processus biologiques et interpréter correctement les données obtenues suite aux activités expérimentales;
- modéliser certains phénomènes et processus biologiques, dans le but de démontrer les principes fondamentaux du monde vivant;
- expliquer certains processus et phénomènes biologiques, utilisant correctement des termes, des concepts et des principes spécifiques à la biologie;
- transférer et appliquer les connaissances du domaine de la biologie à des contextes variés

III. LES MOYENS D'APPRENTISSAGE qui peuvent être utilisés selon le choix du professeur:

- Manuels français de biologie
- Atlas, moulages, préparations
- Documents vidéo
- Graphiques et tableaux statistiques

IV. LES QUESTIONS qu'on peut utiliser pour encourager et soutenir le processus de compréhension et d'utilisation de l'information tout le long de la démarche didactique peuvent être:

- Q. de compréhension globale
- Q. de compréhension interprétative
- Q. de compréhension personnelle
- Q. de compréhension critique

A. LE DEROULEMENT DE L'EPREUVE

Le candidat choisira son sujet par tirage au sort, parmi un nombre de sujets couvrant l'ensemble du programme.

Il a à sa disposition **30 minutes** pour préparer sa réponse.

L'épreuve orale se compose:

- d'un exposé de **10 minutes** organisé sous forme de plan argumentatif, pour répondre à la problématique du sujet, suivi
- d'un entretien de **10 minutes** avec le jury.

B. LE SUJET DE L'EPREUVE

L'EVALUATION FINALE (L'EXAMEN ORAL) appréciera **LES COMPETENCES générales et spécifiques** acquises suite à l'étude du programme de biologie, classes bilingues de tous les niveaux - filière théorique, profil scientifique (mathématique – informatique ou sciences de la nature).

LA STRUCTURE DU SUJET DE BACCALAUREAT

Le sujet est composé de **documents au nombre maximum de 3** (photographies, schémas, graphiques simples, textes scientifiques simples) et **de deux ou trois questions:**

- une question qui sollicite les compétences de rédaction organisée des connaissances et qui met en valeur la capacité de l'élève de s'informer sur le monde vivant et d'explorer les systèmes biologiques ;

- une ou deux questions qui sollicite(nt) des compétences liées aux éléments spécifiques à une démarche scientifique (construire une démarche explicative en faisant référence à ses connaissances, tout en intégrant des données nouvelles) et qui met(tent) en valeur la capacité de l'élève d'utiliser et construire des modèles analogues pour démontrer des principes et celle d'opérer des transferts et d'intégrer des connaissances et des méthodes de travail dans de nouveaux contextes.

LES CONTENUS DEVELOPPES DU PROGRAMME DE BIOLOGIE DU BACCALAUREAT BILINGUE

La taille de ce chapitre nous empêche d'approfondir les contenus de toutes les unités d'apprentissage. On ne présentera, par conséquent, que la première unité, qui est la plus importante comme fondement de la biologie et aussi comme introduction dans le vocabulaire scientifique de la biologie; la lecture de ce texte concis ne peut pas remplacer l'étude des thèmes correspondants qu'on peut trouver dans les manuels de biologie en vigueur. A la fin, on proposera vingt sujets-test pour l'entraînement des élèves.

Unité I : La Cellule – unité structurale et fonctionnelle du monde vivant (Eucaryotes)

La **cellule** (en latin *cellula* = petite chambre) est l'unité structurale, fonctionnelle et génétique constituant tout ou partie d'un être vivant (à l'exception des virus et des prions). Elle est la plus petite unité capable de manifester les propriétés d'un être vivant: se nourrir, croître et se reproduire; c'est une entité vivante qui, dans le cas des organismes multicellulaires, fonctionne de manière autonome, mais coordonnée avec les autres. Les cellules de même type sont réunies en tissus, eux-mêmes sont réunis en organes.

La théorie cellulaire implique l'unité de tout le vivant: tous les êtres vivants sont composés de cellules, dont la structure fondamentale est commune.

On reconnaît deux classes principales de cellules:

- les cellules de **Procaryotes** (bactéries) qui sont dépourvues de noyau; en général, la cellule procaryote est plus petite et plus simple; son matériau génétique (génome) est moins complexe et se trouve en contact direct avec le cytoplasme, n'étant pas protégé par une enveloppe nucléaire; son cytoplasme ne possède ni organite, ni cytosquelette
- les cellules d'**Eucaryotes** (protistes, champignons, plantes, animaux) possèdent un noyau dans lequel le matériau génétique est séparé par une enveloppe nucléaire du cytoplasme; leur génome est plus complexe et aussi leur cytoplasme, qui possède des organites et un cytosquelette.

La cellule eucaryote a une activité cyclique (le cycle cellulaire):

- Interphase: c'est la période d'entre deux divisions; c'est l'activité fonctionnelle de la cellule. L'interphase est divisée en trois stages: G1, S et G2. Le stage S est le plus important, car il représente la réplication semi-conservative de l'ADN (dédoublage du matériau génétique)

- Mitose: c'est la multiplication (division) cellulaire. La mitose partage le matériau génétique de la cellule mère (dédoublé pendant l'interphase) de manière égale à chacune des deux cellules filles.

La cellule eucaryote est composée de trois éléments principaux:

- Le noyau
- Le cytoplasme
- La membrane cellulaire (plasmique)

A. Structure et fonctionnements des constituantes cellulaires pendant l'interphase

Conseil: pour mieux comprendre, vous pouvez regarder les dessins et schémas des sujets-test !

A. La cellule animale

1. La membrane cellulaire (plasmique ou cytoplasmique)

C'est une membrane biologique de séparation entre la cellule et le milieu extérieur. La membrane cellulaire est composée de trois éléments: le glycocalix (à l'extérieur), la membrane plasmique (plasmalemm) et le cytosquelette membranaire (à l'intérieur).

La membrane plasmique (plasmalemm) est la plus importante; souvent les termes membrane cellulaire et membrane plasmique se superposent.

La structure du plasmalemm, observé en microscopie électronique, est tri-laminée: deux couches protéiques qui enveloppent comme un «sandwich» une double couche phospholipidique. Les plus nouvelles techniques de biologie moléculaire ont prouvé que ce modèle est trop simple. Les protéines peuvent traverser la double couche lipidique (formant pores, protéines canal, transporteurs, pompes ioniques, récepteurs etc.) ou elles flottent d'une part de la membrane – le modèle de la mosaïque fluide de Singer et Nicholson.

Propriétés de la membrane plasmique:

- Barrière relativement étanche (lipides hydrophobes)
- Mobilité due aux lipides et aux protéines

Fonctions de la membrane plasmique:

- Barrière contre les agents nocifs
- Transport des substances (transport passif – diffusion et transport actif – pompes etc.)
- Mouvement
- Echange d'informations

La membrane plasmique peut présenter dans certaines cellules des **spécialisations** qui permettent d'assurer une fonction précise. Exemples:

microvillosités (absorption intestinale), cils vibratiles (élimination de poussières bronchiques), flagelles (mouvement du spermatozoïde).

2. Le noyau pendant l'interphase

Le noyau est le centre vital de la cellule; il est indispensable à la vie des eucaryotes, car il porte le message héréditaire, il réalise la réplication de l'ADN, la multiplication cellulaire et participe à la synthèse des substances, grâce à l'ADN.

Le plus souvent, le noyau est unique, mais il existe des cellules multi-nucléées, de formes et tailles variables.

Structure du noyau:

Le noyau est composé d'une enveloppe nucléaire, de nucléoplasme, de chromatine et d'un ou de plusieurs nucléoles.

- **L'enveloppe nucléaire** est composée de deux membranes, extérieure et intérieure, similaires à la membrane plasmique. De place en place, elle est traversée par des pores. Ses fonctions sont de protection, de transport et échange noyau/cytoplasme.
- **Le nucléoplasme** est un milieu hyalin et homogène, dans lequel baignent le nucléole et la chromatine.
- **Le nucléole** est un corps sphérique, sombre et réfringent. Il assure la synthèse de l'ARN ribosomal et la préparation à la mitose.
- **La chromatine** est le plus important élément du noyau, car elle porte l'information génétique. Elle est une association d'ADN et de protéines (histones) qui forment le module de base de la chromatine: **le nucléosome**. La chromatine est visible au microscope électronique comme des fibres ressemblant à des «colliers de perles». Les «perles» sont les nucléosomes qui sont attachés par l'intermédiaire d'un ADN de liaison. Au microscope électronique, la chromatine est visible comme des fibres composées de nucléosomes, attachées à l'ADN de liaison en «collier de perles». Chaque fibre de chromatine représente un chromosome décondensé, ce qui fait que la chromatine correspond aux chromosomes interphasiques.

3. Le cytoplasme

Le cytoplasme est composé du hyaloplasme, du cytosquelette et des organites cellulaires.

Le hyaloplasme est un milieu hyalin et homogène dans lequel baignent les organites cellulaires.

Le cytosquelette est le squelette de la cellule. Il se compose de filaments d'actine et de myosine, de microtubules et de filaments intermédiaires. Le cytosquelette permet à la cellule de conserver sa forme et à se mouvoir. Il est également important lors de la division cellulaire, de même que dans le système de transport intracellulaire.

Les organites cytoplasmiques sont des compartiments cellulaires baignant dans le hyaloplasme. Ils sont délimités par une membrane plasmique (simple, double ou triple) et possèdent des fonctions spécifiques.

La mitochondrie

C'est un organe présent dans toutes les cellules eucaryotes aérobies, dont le rôle essentiel est de fournir de l'énergie à la cellule à partir de la dégradation enzymatique des nutriments. C'est là que se déroulent la respiration cellulaire et la fabrication de l'énergie, l'ATP (Adénosine Tri Phosphate). Cette énergie est indispensable aux réactions métaboliques.

La mitochondrie se compose d'une membrane double; la membrane intérieure s'invagine, formant des *cristes* ou des tubules. A l'intérieur, la mitochondrie présente une matrice qui contient des enzymes respiratoires, une ou plusieurs molécules circulaires d'ADN non-associé à des protéines et des ribosomes. Les mitochondries contiennent donc leur propre génome (l'ADN mitochondrial), similaire au génome bactérien, et leurs propres ribosomes, toujours de type procaryote.

Les fonctions de la mitochondrie:

- *La phosphorylation oxydative*: à partir des nutriments, les mitochondries vont synthétiser et stocker de l'énergie sous forme d'ATP
- *Le Cycle de Krebs*: série de réactions enzymatiques produisant de l'énergie (ATP) par dégradation des glucides
- *Métabolisme des acides gras* (oxydation et synthèse)

Le réticulum endoplasmique

C'est un réseau de saccules et canalicules membranaires (extension de la membrane du noyau) composant 2 compartiments - le réticulum endoplasmique granuleux ou rugueux (présence de ribosomes sur la face externe) et le réticulum endoplasmique lisse - qui communiquent entre eux.

Les fonctions du réticulum endoplasmique:

- c'est un système circulatoire cytoplasmique
- il compartimente la cellule
- le réticulum endoplasmique granuleux est la place de la synthèse des protéines (par les ribosomes liés) et, grâce à des vésicules, il assure le transport des protéines vers l'appareil de Golgi
- le réticulum endoplasmique lisse est la place de synthèse des lipides.

Les ribosomes

Ils sont des corpuscules (nommés aussi les granules de Palade) constitués de protéines et d'ARNr (ribosomal). Leur rôle est la synthèse des protéines. Ils contiennent des sites de fixation pour l'ARNm (messenger) venant du noyau, ce qui va permettre la synthèse de protéines à partir de cet ARNm (la traduction de l'information génétique).

Fonctions :

- *Synthèse des protéines et des glycoprotéines*: après la transcription de l'ADN en ARNm, qui a lieu dans le noyau, cet ARNm passe dans le cytoplasme à travers l'enveloppe nucléaire et atteint le réticulum endoplasmique granuleux. Le message génétique contenu par l'ARNm va alors être lu par les ribosomes et l'ARNt (de transfert) et permettra la synthèse des protéines (assemblage d'acides aminés).
- *Stockage*
- *Transfert*: les protéines synthétisées vont être transférées dans les vésicules, puis vers l'appareil de Golgi.

L'appareil de Golgi

Il est constitué de saccules ou citernes membranaires empilés les uns sur les autres, associés à des vésicules golgiennes (dyctiosomes).

Les fonctions de l'appareil Golgi:

- maturation (c'est le lieu de transformation finale des protéines) et stockage des substances élaborées dans le réticulum endoplasmique granuleux et lisse;
- transfert des substances élaborées dans le réticulum endoplasmique granuleux et lisse qui sont finalement déversées dans le cytoplasme ou dans le milieu extérieur, par les vésicules golgiennes.

Les lysosomes

Ce sont les agents de la défense cellulaire et de la phagocytose. Ce sont des vésicules membranaires contenant des enzymes (hydrolases), qui existent sous 2 formes:

- lysosome primaire, formé à partir de l'appareil de Golgi
- lysosome secondaire (phagocytome ou phagolysosome), formé à partir d'un lysosome primaire, ayant fusionné avec d'autres vésicules contenant des produits à digérer (par exemple des phagosomes). Après la digestion, les lysosomes secondaires peuvent éliminer leur contenu à l'extérieur de la cellule, par le processus d'*exocytose*, ou peuvent rester dans le cytoplasme, comme *corps résiduels*.

La fonction du lysosome est la digestion cellulaire.

Les peroxysomes

Ce sont des vésicules membranaires contenant des enzymes (peroxydases). Leur fonction est l'élimination des radicaux libres produits par l'oxygène dans la cellule. Ils ont donc une fonction protectrice de la cellule, c'est grâce à eux que les cellules eucaryotes supportent un environnement aérobie.

Le centre cellulaire (centrosome)

Chaque cellule que peut se multiplier est pourvue d'un centrosome situé près du noyau. Le centrosome est formé de 2 centrioles. Les deux centrioles d'une même paire sont placés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre. La structure cylindrique des centrioles est constituée de 9 triplets de microtubules disposés comme les branches d'une étoile.

Au cours de la division cellulaire (la mitose), le centrosome se divise pour former une deuxième paire de centrioles, les deux paires entrant en action. Ils régissent la formation d'un fuseau de division mitotique, permettant la migration des chromosomes aux pôles opposés de la cellule. Les centrioles produisent également les cils et les flagelles dans le cas des cellules qui en sont pourvues.

Les vacuoles

Les vacuoles sont de petites cavités contenant des substances de réserve ou des déchets.

Les inclusions cytoplasmiques (ergastiques)

Les inclusions ergastiques sont des produits résultés du métabolisme cellulaire qui se trouvent dans la cellule; elles peuvent être permanentes ou temporaires. Les inclusions cytoplasmiques ne sont pas enveloppées de membrane, donc ne sont pas toujours considérées comme organites. La cellule animale peut présenter des inclusions de lipides (cholestérol, triglycérides), glycogène, pigments (mélanine), éléments anorganiques (fer, charbon), etc.

B. La cellule végétale

La cellule végétale représente le sommet de l'évolution cellulaire. Elle est capable de synthétiser toutes les substances organiques qui lui sont nécessaires et ce uniquement à partir de matière inorganique et de lumière (la *photosynthèse*). Une cellule végétale est une cellule eucaryote, elle comporte donc un noyau qui contient le matériau génétique et des organites cellulaires communs avec ceux de la cellule animale: mitochondrie, ribosome, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi.

La membrane plasmique est entourée d'une *paroi de cellulose* qui donne sa forme à la cellule. En l'absence de cette paroi, la cellule prend une forme sphérique, en raison des forces osmotiques qui s'exercent sur les membranes.

La plus grande partie du cytoplasme est occupée par une *vacuole*, organite limité par une membrane et contenant principalement de l'eau. Mais la principale caractéristique des cellules végétales est la présence de *chloroplastes*, organites spécialisés dans la photosynthèse.

Les plastes

Les plastes sont des organites spécifiques des végétaux. Il en existe trois types:

- les chloroplastes
- les chromoplastes
- les leucoplastes

L'origine des plastes est endosymbiotique, mais leur génome est plus complet que celui des mitochondries.

Le plus important des plastes est le **chloroplaste**, siège de la photosynthèse.

Le chloroplaste

Le chloroplaste est limité par une double membrane très similaire à celle des mitochondries et d'origine certainement identique. L'intérieur de l'organite est *le stroma*. Le stroma contient des éléments qui ressemblent à des organites intrachloroplastiques: *les thylacoides* qui sont des saccules allongés et des empilements de saccules plus petits, *les granums*, intercalés entre deux lamelles thylacoidiennes.

Les chloroplastes ont donc un compartiment en plus par rapport aux mitochondries. Le stroma contient, en outre, l'ADN chloroplastique de type procaryote et des ribosomes de même type.

Fonction :

La fonction du chloroplaste est de fabriquer des glucides à partir d'une source d'énergie extérieure, la lumière solaire (la photosynthèse). Il est, donc, en quelque sorte, l'inverse de la mitochondrie, qui produit de l'énergie à partir des glucides.

En réalité, le chloroplaste et la mitochondrie fonctionnent de façon très similaire. Tous les deux vont utiliser une source d'énergie (pyruvate pour la mitochondrie, lumière pour le chloroplaste), pour créer un gradient de proton entre l'intérieur et l'extérieur, dans lequel l'énergie stockée permettra de synthétiser l'ATP.

La photosynthèse et la respiration sont des processus qui se complètent réciproquement. Par la photosynthèse, les plantes vertes éliminent l'oxygène et consomment le dioxyde de carbone; par la respiration les organismes consomment l'oxygène et éliminent le dioxyde de carbone.

La grande différence est en fait dans l'utilisation de cet ATP. Alors que la mitochondrie l'exporte pour répondre aux besoins de la cellule, le chloroplaste le conserve et se sert de celui-ci pour fabriquer des glucides qui seront exportés.

La photosynthèse peut être divisée en deux phases :

- la phase de lumière
- la phase sombre

La phase de lumière se passe dans les *granums*. Une partie de l'énergie solaire se transforme en énergie chimique par la photolyse de l'eau en ions de H^+ et de HO^- . Les ions de H^+ décomposent les molécules de CO_2 et le carbone peut être utilisé pour la synthèse des glucides. Les radicaux HO^- vont libérer l'oxygène à l'extérieur.

La phase sombre se passe dans le stroma du chloroplaste où se trouvent des enzymes qui catalysent des réactions inverses à la glycolyse. L'ATP est utilisé pour réduire le CO_2 et obtenir le glucose.

Les inclusions cytoplasmiques (ergastiques)

Les inclusions ergastiques de la cellule végétale sont: particules d'amidon, lipides, résine, cristaux de silicate et oxalate etc.

C.La division cellulaire

Depuis sa naissance et jusqu'à sa maturité, la cellule croît grâce à son anabolisme. Parvenue à sa maturité, la cellule va se diviser pour donner naissance à 2 cellules filles. Dans le monde vivant, il y a deux types de divisions:

a) division directe: amitose

Elle est observable chez les êtres unicellulaires par étranglement progressif du cytoplasme et du noyau aboutissant à la formation de deux cellules filles.

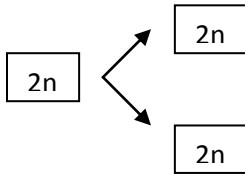
b) division indirecte: la mitose

C'est le seul mode de division chez les êtres pluricellulaires; elle aboutit à la formation de 2 cellules filles qui sont rigoureusement semblables entre elles et identiques à la cellule mère.

1. La mitose

La mitose est le processus de division d'une cellule somatique (diploïde - $2n$ chromosomes) dont il résulte deux cellules filles toujours diploïdes, identiques entre elles et à la cellule mère.

Le schéma de la mitose est:



Elle est constituée de deux phénomènes distincts, la caryocinèse ou division du noyau et la cytokinèse ou division du cytoplasme. En général, la cytokinèse suit la caryocinèse.

Conseil : pour mieux comprendre, vous pouvez regarder les dessins et schémas de sujets-test !

La caryocinèse est constituée de 4 étapes successives:

- la prophase
- la métaphase
- l'anaphase
- la télophase

a. La prophase

C'est la première étape de la caryocinèse. Elle se caractérise par une réorganisation du cytosquelette. Dans le même temps, le centrosome se dédouble, tous les deux se déplaçant dans le cytoplasme pour se situer sur des positions diamétralement opposées, de part et d'autre du noyau. Pendant leur migration, ils tissent derrière eux un faisceau de microtubules: le fuseau mitotique.

Le noyau est également objet de remaniements. Les chromosomes se condensent (les fibres de chromatine se réorganisent en chromosomes), deviennent visibles et prennent leur forme caractéristique en X, le nucléole se désorganise et l'enveloppe nucléaire se résorbe en petites vésicules de réticulum.

Le «X» est en fait constitué de deux chromatides reliées entre elles par leur centromère (chromosomes bichromatidiques). Chaque chromatide contient une copie identique de la même molécule d'ADN, c'est pourquoi elles sont nommées chromatides sœurs.

b. La métaphase

A cette étape, les chromosomes sont disposés dans un plan équatorial, perpendiculaire au fuseau mitotique. Les centromères de chaque chromosome sont attachés aux microtubules du fuseau mitotique.

Tout est maintenant en place pour que les génomes des deux cellules filles se séparent.

c. L'anaphase

Les microtubules de chaque demi-fuseau vont se rétracter. Les chromatides de chaque chromosome vont se séparer et chacun va migrer vers un pôle de la cellule.

L'anaphase est la plus importante phase de la mitose, ses conséquences génétiques étant:

- le matériau génétique de la cellule mère est divisé strictement dans les génomes identiques des cellules filles
- le nombre de chromosomes se conserve ($2n$) chez les cellules filles, mais ils sont monochromatidiques.

d. La télophase

Elle termine la caryocinèse. Les chromatides, nouveaux chromosomes de chaque cellule fille, sont placés maintenant autour des centrosomes. Ils commencent à se décondenser et deviennent invisibles. En même temps, l'enveloppe nucléaire se reconstitue à partir du réticulum et le fuseau mitotique se dépolymérise totalement. Les deux noyaux sont maintenant bien séparés.

e. La cytokinèse

Elle commence après la télophase ou un peu avant sa fin. La cellule se contracte entre les deux jeunes noyaux jusqu'à couper le cytoplasme et à séparer les deux cellules filles. Cette action est due à un anneau d'actine qui s'est formé pendant la cytokinèse sous la membrane plasmique au niveau du plan équatorial. Le cytosquelette se reforme, les cellules reprennent contact avec leur support et prennent la morphologie spécifique de leur type. Les deux cellules filles sont maintenant séparées.

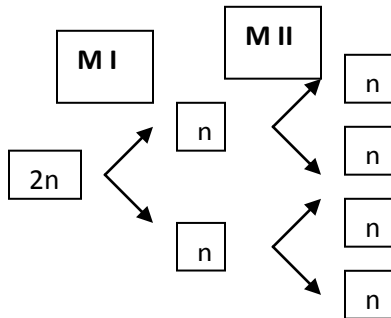
2. La méiose

La méiose est une division non conforme, qui se produit une seule fois dans le processus de formation des cellules sexuelles (*gamétogenèse*); à partir d'une cellule mère diploïde ($2n$), on obtient quatre cellules filles haploïdes (n) toutes ayant un génome différent. Puis deux cellules haploïdes (*gamètes*) vont fusionner et redonner une cellule diploïde (le zygote), c'est la *fécondation*.

Ainsi la méiose et son pendant la fécondation sont le moyen par lesquels les eucaryotes provoquent un brassage de gènes au sein d'une population cellulaire. Ceci permet de créer rapidement un génome totalement différent, n'ayant jamais existé auparavant, la variabilité génétique que cela crée permettant à la fois de résister aux très nombreuses mutations, sur un génome aussi gros que celui des eucaryotes et de mieux résister aux variations du milieu, dans toutes les combinaisons géniques, il y a de la chance que l'une d'elle soit capable de résister.

La méiose est une opération complexe, elle est constituée d'une seule synthèse d'ADN suivie de deux divisions particulières appelées mitose réductionnelle (M I) et mitose équationnelle (M II).

Schéma de la méiose :



1. La mitose réductionnelle (méiose I)

La méiose I fait passer la cellule du stade diploïde au stade haploïde. En réalité, cette mitose réductionnelle est précédée d'une phase de synthèse d'ADN, donc le nombre de chromosomes est réduit à n , mais les chromosomes restent bichromatidiens.

La prophase I

Dans cette phase, les chromosomes commencent à se condenser sous forme de minces filaments fixés à un axe protéique. Les chromosomes homologues (chromosomes ayant la même taille, la même morphologie et le même contenu génétique, mais des origines différentes: maternelle et paternelle) commencent à s'apparier. Le phénomène s'appelle *synapsis*.

Chaque association est nommée une *tétrade* (formée donc de quatre chromatides) ou *bivalent* (deux chromosomes bichromatidiques). C'est là que va se produire le *crossing-over*, ou *recombinaison génétique intrachromosomique*. Au sein d'une tétrade, le brin d'ADN est coupé et les extrémités sont échangées entre deux chromatides de deux chromosomes différents. Chaque chromatide est maintenant un hybride des deux chromatides originels. Le *crossing-over* peut, donc, être décrit comme *l'échange égal et réciproque de matériel génétique entre les chromosomes homologues*.

Les chromosomes homologues commencent à se séparer, c'est la désynapsis. Les chromosomes s'éloignent l'un de l'autre, mais ils restent joints au niveau des *chiasmata*, zone d'échange d'ADN entre deux chromatides.

A partir de là, la méiose reprend son cours normal. Toutefois, chez la femme, où les ovocytes restent bloqués à ce stade à la naissance et ne passent à l'étape suivante que quand ils reprennent leur maturation (à partir de la puberté, un ovocyte par mois).

La méiose I se poursuit alors avec ses phases, similaires à la mitose, métaphase I, anaphase I et télophase I, la différence étant que ce sont les chromosomes qui ségréguent, les chromatides de chaque chromosome restant appariées. La *ségrégation*

indépendante des chromosomes maternels et paternels (ou *la danse chromosomique*) pendant l'anaphase est aléatoire: ce phénomène est nommé *recombinaison interchromosomique* et est aussi une source de variabilité génétique.

Le bilan de la mitose réductionnelle est double:

- Les chromosomes de chaque paire sont séparés dans une cellule différente. Le génome est donc maintenant haploïde
- Les quatre chromatides sont toutes différentes, conséquence du *crossing-over*.

La mitose équationnelle (méiose II)

Elle est identique à une mitose standard, à ceci près que les cellules sont maintenant haploïdes et surtout que les deux chromatides de chaque chromosome sont différentes à cause du *crossing-over* de la mitose réductionnelle précédente. A l'issue de cette mitose, on a donc deux cellules au génome différent. La division précédente ayant donné elle-même deux cellules, on a, au total, quatre cellules, toutes différentes.

La méiose II est constituée des mêmes 4 étapes que la mitose: prophase II, métaphase II, anaphase II et télophase II, mais elle n'est pas précédée d'une phase de synthèse d'ADN.