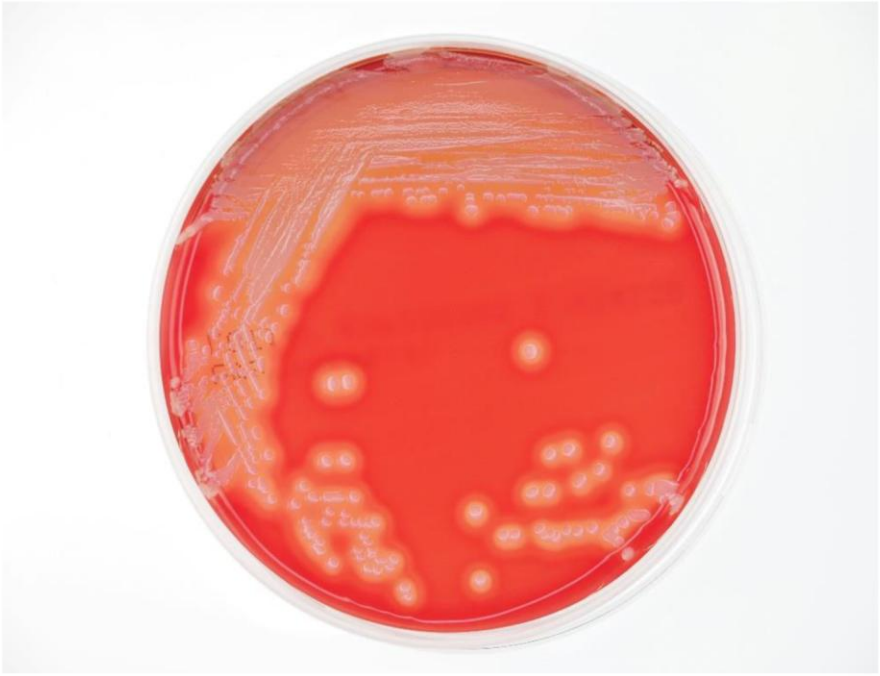
BIOLOGIE



CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

3è Année

EDITION 2025

DES HUMANITÉS



a

TABLE DE MATIERE

PRÉLIMINAIRES 📘 1

0.1 Présentation du cours 📖 1

0.2 Objectifs d'apprentissage 🎯 2

- Maîtrise des mécanismes moléculaires et génétiques 🧬 2
- Compréhension systémique de la physiologie et de l'immunologie 🩺 2
- Analyse des dynamiques évolutives et écologiques 🌍 3

0.3 Compétences terminales 🚀 3

- Analyse critique de l'information scientifique 🔍 3
- Conception et démarche expérimentale 🧪 3
- Argumentation bioéthique et responsabilité citoyenne 🗣️ 4

0.4 Grille d'évaluation formative 📝 4

- Critère 1 : Pertinence et exactitude des connaissances scientifiques 🧠 4
- Critère 2 : Rigueur du raisonnement et de la démarche scientifique ⚙️ 5
- Critère 3 : Qualité de la communication scientifique ✍️ 5
- Critère 4 : Capacité de transfert et d'intégration 🔄 5

Chapitre 1 : Structure et organisation cellulaires 9

1.1 Cytosquelette et motilité 9

- Les microfilaments d'actine 9
- Les microtubules 10
- Les filaments intermédiaires 10
- Motilité cellulaire : Cils et Flagelles 11

1.2 Jonctions et adhérences 11

- Jonctions serrées (Tight Junctions) 11
- Desmosomes et jonctions d'ancrage 11
- Jonctions communicantes (Gap Junctions) 12

1.3 Microdomaines membranaires 12

- Composition biochimique 12
- Rôle fonctionnel : Plateformes de signalisation 13

1.4 Techniques protéomiques 13

- Électrophorèse bidimensionnelle (2D-PAGE) 13
- Spectrométrie de masse 14

1.5 Ressources complémentaires 14

Chapitre 2 : Expression et régulation génétique 18

2.1 Transcription et maturation de l'ARN 18

- Le mécanisme de la transcription 18
- La maturation des ARNm eucaryotes 18

2.2 Traduction et modifications post-traductionnelles 19

- La synthèse protéique 19
- Modifications post-traductionnelles 19

2.3 Épigénétique 20

- Méthylation de l'ADN 20
- Modifications des histones 20

2.4 Outils de génie génétique 21

- Enzymes de restriction et Ligases 21
- Vecteurs de clonage 21

2.5 Ressources complémentaires 21

Chapitre 3 : Signalisation intracellulaire avancée 25

3.1 Kinases et phosphatases 25

- Mécanisme catalytique des protéines kinases 25
- Action antagoniste des phosphatases 25

3.2 Récepteurs intracellulaires 26

- Architecture et activation des récepteurs nucléaires 26
- Régulation transcriptionnelle directe 26

3.3 Voies MAPK et PI3K 27

- La cascade MAPK/ERK et la prolifération cellulaire 27
- La voie PI3K/Akt et la survie cellulaire 27

3.4 Crosstalk entre voies 28

3.5 Ressources complémentaires 28

Chapitre 4 : Génétique des populations et immunité 33

4.1 Allèles et polymorphismes 33

- Diversité allélique et pool génique 33

4.2 Sélection naturelle et dérive 33

- La sélection naturelle : Moteur de l'adaptation 33
- La dérive génétique : L'impact du hasard 34

4.3 Bases génétiques de l'immunité 34

- La recombinaison V(D)J 34
- Le complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) 35

4.4 Vaccins et biotechnologie 35

- Vaccins à ARN messager (ARNm) 35
- Vaccins à vecteur viral 36

4.5 Ressources complémentaires 36

Chapitre 5 : Biotechnologies et applications 40

5.1 PCR et séquençage 40

- Amplification exponentielle : La PCR 40
- Lecture du code génétique : Le séquençage 41

5.2 Clonage moléculaire 41

- Les outils enzymatiques du clonage 41
- Vecteurs et expression de protéines recombinantes 41

5.3 CRISPR-Cas9 42

- Le mécanisme moléculaire 42
- Réparation et édition 42

5.4 Bioéthique 43

- Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) 43
- Édition du génome humain et thérapie génique 43

5.5 Ressources complémentaires 44

Chapitre 6 : Théories et mécanismes de l'évolution 50

6.1 Lamarckisme et Darwinisme 50

- Le Transformisme de Lamarck 50
- La Sélection Naturelle de Darwin 50

6.2 Sélection sexuelle 51

- Compétition intrasexuelle 51

- Choix intersexuel 51

6.3 Spéciation 51

- Spéciation allopatrique : Le rôle des barrières géographiques 51
- Spéciation sympatrique 52

6.4 Fossiles et datations 52

- Le registre fossile et la fossilisation.....52
- Méthodes de datation.....52

6.5 Ressources complémentaires.....53

Chapitre 7 : Diversité biologique.....57

7.1 Classification et phylogénie 57

- Principes de la construction phylogénétique 57
- Interprétation des cladogrammes 57

7.2 Cryptobiodiversité 58

- L'apport des outils moléculaires.....58
- Implications pour la conservation 58

7.3 Biomes congolais 58

- Le Graben Albertin : Laboratoire de spéciation 58
- La Forêt de la Cuvette Centrale 59
- Les Savanes boisées du Miombo 59

7.4 Monitoring écologique 59

- Inventaires et Pièges photographiques 59
- L'ADN environnemental (ADNe).....60
- Télédétection spatiale.....60

7.5 Ressources complémentaires.....60

Chapitre 8 : Dynamique des écosystèmes 65

8.1 Résilience et stabilité 65

- Stabilité et Résistance 65
- Le concept de Résilience.....65
- Le rôle assuranciel de la biodiversité.....65

8.2 Perturbations naturelles 65

- La dynamique des chablis en forêt.....66

- Le feu dans les écosystèmes de savane 66

8.3 Restauration écologique.....66

- Principes et Succession écologique 66
- Études de cas : Reboisement indigène.....66

8.4 Gestion communautaire.....67

- Modèles participatifs (CFCL).....67
- Lutte contre la "Tragédie des biens communs" 67

8.5 Ressources complémentaires.....67

Chapitre 9 : Changement global et conservation 72

9.1 Réchauffement climatique.....72

- Mécanismes et perturbations climatiques en RDC 72
- Migration altitudinale et impact sur la biodiversité.....72
- Sécurité alimentaire et vecteurs de maladies 73

9.2 Fragmentation des habitats.....73

- Effet de lisière et détérioration de l'habitat 73
- Isolement génétique et risque d'extinction 73

9.3 Stratégies d'atténuation.....74

- Le mécanisme REDD+.....74
- Gestion durable et puits de carbone 74

9.4 Politiques internationales 74

- Convention sur la Diversité Biologique (CDB).....75
- L'Accord de Paris sur le Climat 75

9.5 Ressources complémentaires.....75

Chapitre 10 : Physiologie végétale avancée 82

10.1 Métabolisme secondaire.....82

- Diversité chimique et fonctions.....82
- Pharmacopée et Écologie chimique.....82

10.2 Signalisation hormonale 82

- Les principaux régulateurs 83
- Le dialogue hormonal (Crosstalk) 83

10.3 Stress abiotiques.....83

- Stress hydrique et osmorégulation....83
- Tolérance aux métaux lourds....84

10.4 Biotechnologies vertes....84

- Culture in vitro et micropropagation....84
- Transgenèse et édition génomique....84

10.5 Ressources complémentaires....85

Chapitre 13 : Physiologie comparative....89

13.1 Adaptations extrêmes....89

- Anhydrobiose et Cryobiose....89
- Adaptation aux températures polaires....89

13.2 Métabolisme et thermorégulation....90

- Ectothermie vs Endothermie....90
- Allométrie et Loi de Kleiber....90

13.3 Systèmes respiratoires variés....91

- Branchies et flux à contre-courant....91
- Poumons et Trachées....91

13.4 Application à l'élevage....91

- Thermorégulation et Génétique....91
- Nutrition et Physiologie digestive....92

13.5 Ressources complémentaires....92

Chapitre 14 : Intégration fonctionnelle....96

14.1 Homéostasie globale....96

- Coordination multi-systémique : L'exemple de la pression artérielle....96
- Régulation du pH sanguin....96

14.2 Réseaux de communication inter-systèmes....97

- Impact du stress psychologique sur l'immunité....97
- Le cerveau malade : Comportement de maladie....97

14.3 Physiologie de l'exercice....97

- La réponse anticipatoire et l'ajustement cardio-respiratoire....98
- Métabolisme énergétique et dette d'oxygène....98

14.4 Approche systémique....98

- Propriétés émergentes 98
- Robustesse et Fragilité des réseaux 99

14.5 Ressources complémentaires 99

ANNEXES ..... a

ANNEXES ..... a

Annexe A. Table des équations biochimiques 📊 i

- 1. Le Catabolisme des Glucides : La Respiration Cellulaire ⚡ i
- 2. L'Anabolisme des Glucides : La Photosynthèse 🌱 ii
- 3. Les Fermentations 🍺 iii

Annexe B. Normes de sécurité en laboratoire 🧪 iii

- 1. Comportement et Protection Individuelle 🥼 iii
- 2. Gestion des Risques Chimiques ⚠️ iv
- 3. Risques Biologiques et Microscopie 🔬 v
- 4. Gestion des Déchets et Environnement ♻️ v

Annexe C. Glossaire scientifique avancé 🔤 v

- A vi
- B vi
- C vi
- D - E vii
- F - G vii
- H - I viii
- L - M viii
- N - O ix
- P ix
- R - S ix
- T - Z x



PRÉLIMINAIRES 📘

0.1 Présentation du cours 📖

Ce module pédagogique de Biologie, destiné aux élèves de la 3ème année des Humanités scientifiques en République Démocratique du Congo, constitue une architecture cognitive rigoureuse conçue pour opérer la synthèse avancée des sciences du vivant. Il dépasse la simple accumulation encyclopédique de faits biologiques pour proposer une intégration conceptuelle profonde, reliant les mécanismes moléculaires microscopiques aux dynamiques macroscopiques des écosystèmes et des sociétés humaines. Nous abordons ici la biologie comme une discipline unifiée par des lois fondamentales, englobant la génétique moléculaire, la théorie synthétique de l'évolution, l'immunologie clinique et les biotechnologies modernes.

La philosophie de ce cours repose sur l'exigence de transition entre l'enseignement secondaire et les attentes académiques de l'enseignement supérieur universitaire, tel que dispensé dans les facultés de Médecine, de Sciences ou d'Agronomie de nos universités nationales (UNIKIN, UNILU, UOB). Le contenu est structuré pour transformer l'élève en un penseur scientifique autonome, capable de mobiliser des savoirs complexes pour décrypter les enjeux biologiques du XXIe siècle. Nous explorons le vivant avec une précision analytique, rejetant les approximations pour privilégier une compréhension mécaniste des phénomènes. Chaque chapitre fonctionne comme une brique essentielle d'un édifice intellectuel cohérent, où la compréhension de la structure de l'ADN conditionne celle de l'évolution des espèces, et où la maîtrise de la physiologie cellulaire éclaire les problématiques de santé publique.

Ce programme ancre fermement les concepts universels de la biologie dans la réalité tangible de la République Démocratique du Congo. L'étude de la génétique des populations trouve une résonance directe dans la compréhension de la drépanocytose qui affecte nos communautés ; l'analyse des écosystèmes s'appuie sur la richesse inestimable de la forêt du Bassin du Congo et des savanes du Katanga ; l'immunologie s'illustre par les défis épidémiologiques locaux tels que les flambées de maladies virales ou parasitaires. Ce cours ambitionne de former une génération de citoyens scientifiquement lettrés, aptes à participer activement au développement durable et à la souveraineté sanitaire et alimentaire de la nation. Il s'agit d'une invitation à une rigueur intellectuelle sans faille, où la méthode scientifique

devient le prisme exclusif par lequel le monde vivant est observé, questionné et compris.

0.2 Objectifs d'apprentissage 🎯

L'ambition de ce programme éducatif est de conduire l'apprenant vers une maîtrise conceptuelle et opérationnelle des grands paradigmes de la biologie moderne. Les objectifs d'apprentissage se déclinent selon une progression taxonomique visant à solliciter les fonctions cognitives supérieures de l'élève.

Maîtrise des mécanismes moléculaires et génétiques 🧬

L'élève doit acquérir une compréhension fine des processus qui régissent l'expression et la transmission de l'information génétique. Il devra être capable d'expliciter les mécanismes de la réplication, de la transcription et de la traduction avec une précision biochimique, en identifiant les points de contrôle et de régulation cellulaire. L'objectif est de permettre à l'élève de visualiser le lien causal direct entre une séquence nucléotidique et un phénotype observable, intégrant les notions de mutation, de polymorphisme et d'épigénétique. Il devra démontrer sa capacité à résoudre des problèmes de génétique formelle et moléculaire, en prédisant les probabilités de transmission de caractères héréditaires et en interprétant des arbres généalogiques complexes.

Compréhension systémique de la physiologie et de l'immunologie 🩺

L'élève devra développer une vision intégrée du fonctionnement de l'organisme, dépassant la description anatomique pour atteindre l'analyse physiologique. Il devra expliquer comment les systèmes nerveux, endocrinien et immunitaire collaborent pour maintenir l'homéostasie face aux perturbations internes et externes. Concernant l'immunologie, l'objectif est que l'élève puisse décrire avec précision les mécanismes de reconnaissance du "non-soi", la coopération entre l'immunité innée et adaptative, et les principes biologiques qui fondent la vaccination et la sérothérapie. Il devra appliquer ces connaissances pour analyser les physiopathologies des grandes endémies tropicales, comprenant les stratégies d'évasion des pathogènes et les réponses de l'hôte.

Analyse des dynamiques évolutives et écologiques

L'élève devra s'approprier la théorie de l'évolution comme le cadre unificateur de toute la biologie. Il devra être en mesure d'expliquer les mécanismes de la sélection naturelle, de la dérive génétique et de la spéciation, en s'appuyant sur des preuves paléontologiques, anatomiques et moléculaires. Au niveau écologique, l'objectif est de former l'élève à l'analyse des interactions complexes au sein des écosystèmes congolais. Il devra évaluer les flux d'énergie et de matière, comprendre les notions de résilience et de services écosystémiques, et appliquer ces concepts à la gestion durable des ressources naturelles, notamment dans le contexte du changement climatique global et de la préservation de la biodiversité unique de la RDC.

0.3 Compétences terminales

Au terme de ce parcours d'apprentissage, l'élève aura développé un ensemble de compétences terminales transversales et disciplinaires qui définissent le profil de sortie du scientifique junior. Ces compétences attestent de sa capacité à mobiliser ses savoirs pour agir efficacement dans des contextes variés.

Analyse critique de l'information scientifique

L'élève sera capable de décrypter, d'analyser et de critiquer des sources d'information scientifique variées, allant des articles de vulgarisation aux extraits de publications académiques. Il devra démontrer son aptitude à distinguer les faits établis des hypothèses, à identifier les biais méthodologiques éventuels et à évaluer la fiabilité des sources. Cette compétence implique la capacité de synthétiser des documents complexes pour en extraire les informations pertinentes, de croiser les données pour construire une argumentation logique et de détecter les pseudosciences ou les interprétations erronées des phénomènes biologiques. Il sera en mesure de lire des graphiques complexes, des cartes de distribution et des schémas métaboliques pour en déduire des conclusions valides.

Conception et démarche expérimentale

L'élève sera en mesure de concevoir et de proposer des protocoles expérimentaux rigoureux pour tester une hypothèse biologique donnée. Cette compétence englobe la capacité à formuler une question de recherche précise, à identifier les variables dépendantes et indépendantes, à définir les groupes

témoins et expérimentaux nécessaires, et à prévoir les méthodes de collecte et d'analyse des données. Bien que les ressources matérielles puissent varier, l'élève devra faire preuve de créativité et de rigueur pour proposer des dispositifs réalistes et pertinents. Il devra également être capable d'analyser des résultats expérimentaux fournis, d'en évaluer la signification statistique et d'en tirer des conclusions qui confirment ou infirment l'hypothèse initiale, tout en discutant les limites de l'expérience.

Argumentation bioéthique et responsabilité citoyenne

L'élève devra être capable de construire une argumentation structurée et nuancée sur des questions bioéthiques et sociétales majeures. Qu'il s'agisse des organismes génétiquement modifiés (OGM) dans l'agriculture congolaise, des enjeux de la génomique humaine, de la gestion des épidémies ou de la conservation de la faune, il devra mobiliser ses connaissances scientifiques pour éclairer le débat. Cette compétence exige de dépasser les opinions préconçues pour fonder son jugement sur des preuves rationnelles, tout en intégrant les dimensions éthiques, légales et sociales. L'élève démontrera ainsi sa capacité à participer à la prise de décision démocratique sur les enjeux technoscientifiques, agissant en citoyen responsable et éclairé, conscient de l'impact des sciences sur la société et l'environnement.

0.4 Grille d'évaluation formative

L'évaluation formative dans ce cours est conçue comme un outil de régulation des apprentissages, permettant à l'élève de mesurer sa progression et d'identifier ses axes d'amélioration. Elle privilégie l'évaluation des compétences complexes plutôt que la simple restitution mémorielle. La grille d'évaluation repose sur des critères explicites qui garantissent l'objectivité et la transparence du jugement académique.

Critère 1 : Pertinence et exactitude des connaissances scientifiques

Ce critère évalue la capacité de l'élève à mobiliser les savoirs adéquats pour répondre à une problématique donnée. L'élève doit utiliser le vocabulaire scientifique avec une précision absolue, définissant correctement les termes techniques et les concepts. Les explications fournies doivent être conformes au consensus scientifique actuel, exemptes d'erreurs factuelles ou conceptuelles. On attend de l'élève qu'il sélectionne les informations utiles et

qu'il écarte les éléments hors sujet. Une réponse pertinente démontre que l'élève a compris la question posée et qu'il possède la structure cognitive nécessaire pour y répondre avec justesse.

Critère 2 : Rigueur du raisonnement et de la démarche scientifique

Ce critère mesure la qualité de la logique déployée par l'élève. Il s'agit d'évaluer sa capacité à structurer sa pensée, à établir des liens de causalité valides et à construire une démonstration cohérente. Dans la résolution de problèmes, l'élève doit expliciter les étapes de son raisonnement, justifier ses choix méthodologiques et interpréter les données avec prudence et objectivité. L'évaluation valorise la capacité à formuler des hypothèses plausibles, à déduire des conséquences logiques et à vérifier la cohérence des résultats. Les sauts logiques, les affirmations gratuites ou les conclusions hâtives sont sanctionnés au profit d'une démarche analytique progressive et étayée.

Critère 3 : Qualité de la communication scientifique

Ce critère porte sur la forme et la clarté de l'expression, tant à l'écrit qu'à l'oral. L'élève doit produire des textes structurés, organisés en paragraphes thématiques, avec une syntaxe soignée et un orthographe correct. L'utilisation des connecteurs logiques doit fluidifier le discours et souligner l'articulation des idées. Les schémas, graphiques et tableaux produits doivent respecter les normes de représentation scientifique (titres, légendes, échelles, unités). La concision est valorisée : l'élève doit être capable d'exprimer des idées complexes de manière directe et efficace, évitant le verbiage inutile. La qualité de la présentation matérielle des travaux reflète le soin et le professionnalisme attendus d'un scientifique.

Critère 4 : Capacité de transfert et d'intégration

Ce critère évalue l'aptitude de l'élève à appliquer ses connaissances et ses compétences dans des situations nouvelles ou complexes (transfert). Il doit être capable de résoudre des problèmes inédits qui n'ont pas été traités tels quels en classe, en adaptant ses stratégies de résolution. De plus, ce critère mesure la capacité d'intégration, c'est-à-dire l'aptitude à relier des concepts issus de différents chapitres du cours (par exemple, expliquer une maladie génétique en mobilisant des connaissances de biologie moléculaire, de

physiologie et d'évolution). L'élève doit démontrer une vision holistique de la biologie, percevant les interconnexions entre les différents niveaux d'organisation du vivant.

Éditions Donel C.
Direction Éditoriale et Conception Générale :
MURHULA BAZIKANGE M.
Pour contacts, mon site web :
https://murhulabazikange.com/

© 2025, Donel Consulting, Kin. RDC
Tous droits réservés.

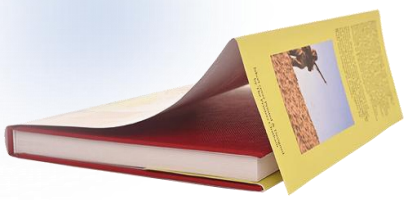
Pour l'excellence de l'éducation en RDC,
Tous les manuels scolaires en un seul endroit,
sur ce site web :
https://manuels-scolaires-rdc.com/

Pour plus de détails, scannez ceci :

PARTIE I

Unité cellulaire et moléculaire

Cette partie approfondit l'organisation et la fonction moléculaire de la cellule, avec un accent sur la génétique et la biotechnologie.



Chapitre 1 : Structure et organisation cellulaires

1.1 Cytosquelette et motilité

Le cytosquelette constitue l'architecture interne fondamentale de la cellule eucaryote. Loin d'être une simple armature passive, il forme un réseau tridimensionnel dynamique de filaments protéiques qui s'étend dans tout le cytoplasme. Ce système assure la stabilité mécanique de la cellule, détermine sa morphologie, permet les mouvements cellulaires et organise le transport intracellulaire des organites. Sa structure repose sur trois classes principales de filaments, distingués par leur diamètre, leur composition protéique et leur fonction spécifique : les microfilaments d'actine, les microtubules et les filaments intermédiaires.

Les microfilaments d'actine

Les microfilaments représentent les composants les plus fins du cytosquelette, avec un diamètre d'environ 7 nanomètres. Ils résultent de la polymérisation de monomères d'actine globulaire (Actine G) qui s'assemblent en une structure hélicoïdale double brin pour former l'actine filamenteuse (Actine F). Cette polymérisation est un processus dépendant de l'ATP, où l'hydrolyse de l'ATP en ADP modifie la conformation de la molécule et la stabilité du filament.

La caractéristique majeure des microfilaments réside dans leur polarité structurelle. Ils possèdent une extrémité positive (+) à croissance rapide et une extrémité négative (-) à croissance lente. Cette polarité permet le phénomène de "tapis roulant" (treadmilling), où les sous-unités s'ajoutent à l'extrémité (+) et se dissocient à l'extrémité (-), créant un flux constant de matière à travers le filament sans changement nécessaire de longueur totale.

Dans le contexte physiologique, les microfilaments s'organisent en faisceaux parallèles ou en réseaux tridimensionnels sous l'action de protéines de liaison à l'actine. Ils se concentrent particulièrement sous la membrane plasmique pour former le cortex cellulaire, une zone dense qui résiste aux forces de tension et permet les déformations membranaires nécessaires à l'endocytose et à la phagocytose. L'interaction de l'actine avec la myosine, une protéine motrice, génère les forces contractiles essentielles à la division cellulaire (anneau contractile lors de la cytokinèse) et à la contraction musculaire.

Les microtubules

Les microtubules constituent les éléments les plus rigides et les plus larges du cytosquelette, présentant une structure tubulaire creuse d'un diamètre externe de 25 nanomètres. Ils se forment par l'assemblage d'hétérodimères de tubuline alpha et bêta. Ces dimères s'empilent pour former des protofilaments, treize d'entre eux s'associant latéralement pour constituer la paroi du microtubule. Comme les microfilaments, les microtubules sont des structures polaires et dynamiques, leur polymérisation dépendant cette fois de la liaison au GTP (Guanosine Triphosphate).

Les microtubules manifestent une propriété unique nommée "instabilité dynamique". Ils alternent entre des phases de croissance lente et de raccourcissement rapide (catastrophe), permettant un remodelage constant du réseau microtubulaire en fonction des besoins cellulaires. Dans les cellules animales, ces structures irradient généralement à partir d'un centre organisateur des microtubules (le centrosome), situé à proximité du noyau.

Ces structures agissent comme des autoroutes intracellulaires. Des protéines motrices spécialisées, les kinésines et les dynéines, utilisent l'énergie de l'ATP pour transporter des vésicules, des mitochondries et d'autres organites le long des microtubules. Les kinésines se déplacent majoritairement vers l'extrémité positive (vers la périphérie cellulaire), tandis que les dynéines se dirigent vers l'extrémité négative (vers le centre cellulaire). Ce transport axonal est crucial pour le fonctionnement des neurones longs, comme ceux innervant les membres inférieurs depuis la moelle épinière.

Les filaments intermédiaires

Les filaments intermédiaires, d'un diamètre d'environ 10 nanomètres, se distinguent par leur grande résistance à la traction mécanique. Contrairement aux microfilaments et aux microtubules, ils sont constitués d'une grande variété de protéines selon le type cellulaire (kératine dans les cellules épithéliales, vimentine dans les cellules du tissu conjonctif, neurofilaments dans les neurones). Ils ne possèdent pas de polarité structurelle et sont plus stables chimiquement.

Leur fonction première est structurelle. Ils forment un réseau continu autour du noyau et s'étendent jusqu'à la périphérie cellulaire où ils s'ancrent aux jonctions cellulaires (desmosomes). Cette organisation permet de répartir les contraintes mécaniques sur l'ensemble du tissu, empêchant la rupture des

cellules soumises à l'étirement, une propriété vitale pour l'intégrité de l'épiderme ou des tissus musculaires.

Motilité cellulaire : Cils et Flagelles

Les cils et les flagelles sont des extensions de la membrane plasmique contenant une structure centrale complexe de microtubules appelée axonème. L'axonème suit une organisation "9+2", constituée de neuf doublets de microtubules périphériques entourant une paire centrale. Le mouvement est généré par le glissement des doublets périphériques les uns par rapport aux autres, une action catalysée par les bras de dynéine axonémale qui hydrolysent l'ATP.

Les cils, courts et nombreux, battent de manière coordonnée pour déplacer des fluides à la surface d'un tissu. Par exemple, l'épithélium respiratoire utilise les cils pour remonter le mucus chargé de particules vers le pharynx. Les flagelles, plus longs et souvent uniques, propulsent la cellule entière par un mouvement ondulatoire, comme observé chez les spermatozoïdes.

1.2 Jonctions et adhérences

Dans les organismes pluricellulaires, les cellules s'associent pour former des tissus fonctionnels grâce à des structures spécialisées de la membrane plasmique appelées jonctions cellulaires. Ces complexes multiprotéiques assurent trois fonctions vitales : l'étanchéité des épithéliums, la résistance mécanique et la communication intercellulaire directe.

Jonctions serrées (Tight Junctions)

Les jonctions serrées forment une ceinture continue au sommet des cellules épithéliales, scellant l'espace intercellulaire. Elles résultent de l'interaction de protéines transmembranaires spécifiques, les claudines et les occludines, qui fusionnent les feuillets externes des membranes adjacentes. Cette fusion crée une barrière sélective qui empêche la diffusion libre des molécules et des ions entre les cellules (voie paracellulaire). Elles imposent une polarité à la cellule en empêchant la migration latérale des protéines membranaires entre le domaine apical et le domaine basolatéral. Cette fonction est illustrée par l'épithélium intestinal, où les jonctions serrées garantissent que les nutriments absorbés ne refluent pas vers la lumière de l'intestin.

Desmosomes et jonctions d'ancrage

Les desmosomes sont des jonctions ponctuelles, comparables à des boutons-pression, qui assurent une forte adhérence mécanique entre les cellules. Ils

sont constitués de protéines d'adhérence transmembranaires de la famille des cadhérines (desmogléines et desmocollines). Le domaine extracellulaire de ces cadhérines se lie aux cadhérines de la cellule voisine en présence de calcium.

Du côté cytoplasmique, les desmosomes sont connectés au réseau de filaments intermédiaires (comme la kératine) via une plaque protéique dense. Cette architecture couple le cytosquelette des cellules adjacentes, créant un continuum structurel à travers le tissu. C'est grâce à cette organisation que les tissus soumis à de fortes contraintes mécaniques, comme le muscle cardiaque ou l'épiderme, conservent leur intégrité physique sans se déchirer.

Jonctions communicantes (Gap Junctions)

Les jonctions communicantes établissent des canaux directs entre les cytoplasmes de deux cellules voisines, permettant un couplage métabolique et électrique. Chaque canal est formé par l'aboutement de deux connexons, eux-mêmes constitués de six sous-unités protéiques appelées connexines. Ces canaux hydrophiles laissent passer les ions inorganiques et les petites molécules hydrosolubles (sucres, acides aminés, nucléotides) dont la masse moléculaire est inférieure à 1000 Daltons.

Ce système de communication permet une réponse coordonnée des cellules d'un même tissu. Dans le tissu cardiaque, les jonctions communicantes permettent la propagation rapide du potentiel d'action d'une cellule à l'autre, assurant la contraction synchrone du muscle cardiaque nécessaire à la fonction de pompe sanguine.

1.3 Microdomaines membranaires

La membrane plasmique n'est pas un mélange homogène et aléatoire de lipides et de protéines, comme le suggérait le modèle initial de la "mosaïque fluide". Elle présente une organisation complexe incluant des microdomaines spécialisés, dynamiques et transitoires, connus sous le nom de radeaux lipidiques ou *lipid rafts*.

Composition biochimique

Les radeaux lipidiques se distinguent du reste de la bicouche lipidique par leur composition spécifique. Ils sont enrichis en cholestérol et en sphingolipides. Les chaînes d'acides gras des sphingolipides sont généralement longues et saturées, ce qui permet un empaquetage dense et ordonné avec les molécules de cholestérol rigides. Cette composition confère aux radeaux une épaisseur supérieure et une fluidité moindre par rapport à la phase lipidique

environnante, créant des îlots ordonnés flottant dans une mer de phospholipides plus fluides et désordonnés.

Rôle fonctionnel : Plateformes de signalisation

Les protéines ne se répartissent pas uniformément dans la membrane. Certaines protéines sont exclues des radeaux, tandis que d'autres y sont séquestrées de manière préférentielle. On y trouve une concentration élevée de récepteurs membranaires, de protéines couplées aux protéines G, et de kinases (enzymes de phosphorylation).

Cette concentration locale de molécules de signalisation transforme les radeaux lipidiques en véritables plateformes d'intégration des signaux. En regroupant les récepteurs et leurs effecteurs intracellulaires, les radeaux augmentent la vitesse et l'efficacité de la transduction du signal. Lors de la réponse immunitaire, par exemple, l'activation des lymphocytes T nécessite l'agrégation de récepteurs antigéniques au sein de ces microdomaines pour déclencher la cascade d'activation cellulaire.

Outre la signalisation, les radeaux jouent un rôle central dans le trafic membranaire, notamment l'endocytose de certains virus et toxines, et la sécrétion de protéines spécifiques. Ils constituent des sites privilégiés pour l'entrée de pathogènes qui exploitent ces domaines enrichis en récepteurs spécifiques pour pénétrer la cellule hôte.

1.4 Techniques protéomiques

La protéomique désigne l'étude à grande échelle de l'ensemble des protéines produites par un organisme ou un système biologique (le protéome). Contrairement au génome, qui est relativement stable, le protéome est dynamique et varie selon le type cellulaire, le stade de développement et les conditions environnementales. L'analyse protéomique repose sur des techniques de séparation et d'identification de haute précision.

Électrophorèse bidimensionnelle (2D-PAGE)

L'électrophorèse bidimensionnelle est une méthode de séparation qui trie les protéines selon deux propriétés physiques indépendantes. Dans une première dimension, appelée focalisation isoélectrique, les protéines migrent dans un gradient de pH jusqu'à atteindre leur point isoélectrique (pI), le pH auquel leur charge nette est nulle. Elles s'immobilisent alors.

Dans une seconde dimension, les protéines sont soumises à une électrophorèse sur gel de polyacrylamide en présence de dodécylsulfate de

sodium (SDS). Le SDS dénature les protéines et leur confère une charge négative proportionnelle à leur masse. La migration se fait alors perpendiculairement à la première, séparant les protéines uniquement selon leur masse moléculaire. Le résultat est une carte en deux dimensions où chaque tache représente une protéine unique, définie par son pI et sa masse.

Spectrométrie de masse

Une fois les protéines séparées, leur identification formelle s'effectue par spectrométrie de masse. Cette technique mesure le rapport masse/charge (m/z) de molécules ionisées. La procédure typique implique l'extraction de la protéine du gel, sa digestion enzymatique (souvent par la trypsine) en peptides plus petits, et l'ionisation de ces peptides.

L'analyseur de masse détermine la masse précise de chaque peptide. En comparant l'empreinte de masse peptidique obtenue avec des bases de données théoriques issues du séquençage du génome, il est possible d'identifier la protéine avec une certitude absolue. La spectrométrie de masse permet également de détecter les modifications post-traductionnelles, comme la phosphorylation, invisibles aux techniques génétiques classiques, offrant ainsi une vision fonctionnelle de l'état cellulaire.

1.5 Ressources complémentaires

1.5.1 Questions et réponses d'approfondissement

Question 1 : Pourquoi l'instabilité dynamique des microtubules est-elle considérée comme énergétiquement coûteuse mais biologiquement essentielle ?

Réponse : L'instabilité dynamique consomme une grande quantité de GTP pour la polymérisation et la dépolymérisation constantes. Cependant, ce coût énergétique est nécessaire car il confère à la cellule une flexibilité spatiale et temporelle immédiate. Cela permet à la cellule de réorganiser rapidement son cytosquelette en réponse à des signaux externes, comme lors de la formation du fuseau mitotique pour la division cellulaire ou la direction de la migration cellulaire. Sans cette dynamique, la structure cellulaire serait trop rigide pour s'adapter aux changements.

Question 2 : Comment les jonctions serrées contribuent-elles spécifiquement au transport vectoriel du glucose dans l'intestin ?

Réponse : Le transport vectoriel nécessite que le glucose traverse la cellule du côté apical (lumière intestinale) vers le côté basal (sang). Les jonctions serrées empêchent les transporteurs de glucose (SGLT1 et GLUT2) de diffuser latéralement dans la membrane. Elles maintiennent le transporteur actif SGLT1 au pôle apical et le transporteur passif GLUT2 au pôle basal. Sans cette ségrégation imposée par les jonctions serrées, les transporteurs se mélangeraient, et le glucose pourrait ressortir dans la lumière intestinale, rendant l'absorption inefficace.

Question 3 : En quoi la composition lipidique des radeaux membranaires influence-t-elle l'interaction avec les pathogènes ?

Réponse : La rigidité et la densité des radeaux lipidiques stabilisent les récepteurs protéiques à leur surface. De nombreux pathogènes (virus, bactéries, toxines) ont évolué pour se lier spécifiquement aux glycosphingolipides ou aux récepteurs protéiques concentrés dans ces radeaux. Cette liaison stable permet au pathogène d'initier l'endocytose ou la fusion membranaire nécessaire à son entrée dans la cellule. La perturbation artificielle des radeaux (par extraction du cholestérol) réduit souvent l'infectiosité de ces agents.

1.5.2 Confusions et erreurs fréquentes à éviter

Il est courant de mélanger les termes décrivant les structures de soutien ou les types de liaisons cellulaires. Cette section clarifie les distinctions fondamentales pour assurer une précision terminologique.

- **Cytosquelette vs Squelette osseux :** Le cytosquelette n'est pas une structure statique et rigide comme un os. C'est une structure hautement dynamique, capable de se désassembler et de se réassembler en quelques minutes.
- **Cytoplasme vs Cytosol :** Le cytoplasme englobe tout le contenu cellulaire à l'exception du noyau (organites + cytosol). Le cytosol (ou hyaloplasme) est uniquement la phase liquide gélatineuse dans laquelle baignent les organites et le cytosquelette.
- **Jonction communicante vs Plasmodesme :** Bien qu'ils aient des fonctions analogues (communication), les jonctions communicantes (Gap

junctions) sont spécifiques aux cellules animales et formées de connexines. Les plasmodesmes sont des canaux traversant la paroi cellulaire des cellules végétales, tapissés de membrane plasmique et contenant un tube de réticulum endoplasmique (desmotubule).

1.5.3 Scenarios et Exercices

1. Exercices à compléter

1. L'actine G globulaire se polymérise en présence d'énergie fournie par l'_____ pour former des microfilaments polaires qui manifestent un phénomène de renouvellement constant appelé _____, essentiel pour la motilité cellulaire.
2. Les épithéliums soumis à de fortes contraintes mécaniques, comme l'épiderme, maintiennent leur cohésion grâce aux _____, des jonctions qui ancrent les filaments intermédiaires de _____ d'une cellule à l'autre via des cadhérines.
3. L'électrophorèse bidimensionnelle sépare les protéines d'abord selon leur _____ lors de la focalisation isoélectrique, puis selon leur _____ lors de la migration en présence de SDS.

2. Exercices de raisonnement

1. **Analyse toxicologique :** Un chercheur à l'Université de Kinshasa étudie un extrait de plante médicinale. Il observe que lorsqu'il applique cet extrait sur des cellules en culture, la division cellulaire (mitose) s'arrête net, et les chromosomes restent figés, incapables de migrer vers les pôles. Sachant que la migration des chromosomes dépend du fuseau mitotique, quelle composante du cytosquelette est ciblée par cette toxine et quel mécanisme précis est bloqué ? Déduisez l'effet sur la dynamique de ce filament.
2. **Pathologie intestinale :** Un patient présente une diarrhée chronique sévère due à une fuite de liquide entre les cellules de son intestin, et non à travers les cellules. Les biopsies montrent que les cellules épithéliales sont intactes mais mal jointives au niveau apical. Quel type de jonction cellulaire est défectueux ? Expliquez pourquoi ce défaut entraîne une perte d'étanchéité et une incapacité à maintenir des gradients de concentration.