

# Guide de biologie

Première évaluation en 2025





# Profil de la communauté d'apprentissage de l'IB

Tous les programmes de l'IB ont pour but de former des personnes sensibles à la réalité internationale, conscientes des liens qui unissent les êtres humains, soucieuses de notre responsabilité partagée envers la planète et désireuses de contribuer à l'édification d'un monde meilleur et plus paisible.

En tant que membres de la communauté d'apprentissage de l'IB, nous nous efforçons de démontrer les aptitudes suivantes :

## ESPRIT DE RECHERCHE

Nous cultivons notre curiosité tout en développant des capacités d'investigation et de recherche. Nous savons apprendre indépendamment et en groupe. Nous apprenons avec enthousiasme et nous conservons notre plaisir d'apprendre tout au long de notre vie.

## CONNAISSANCE

Nous développons et utilisons une compréhension conceptuelle, en explorant la connaissance dans un ensemble de disciplines. Nous nous penchons sur des questions et des idées qui ont de l'importance à l'échelle locale et mondiale.

## RAISONNEMENT

Nous utilisons nos capacités de réflexion critique et créative, afin d'analyser des problèmes complexes et d'entreprendre des actions responsables. Nous prenons des décisions réfléchies et éthiques de notre propre initiative.

## COMMUNICATION

Nous nous exprimons avec assurance et créativité dans plus d'une langue et de différentes façons. Nous écoutons également les points de vue d'autres personnes et groupes, ce qui permet une collaboration efficace.

## INTÉGRITÉ

Nous adhérons à des principes d'intégrité et d'honnêteté, et possédons un sens profond de l'équité, de la justice et du respect de la dignité et des droits de la personne, partout dans le monde. Nous sommes responsables de nos actes et de leurs conséquences.

## OUVERTURE D'ESPRIT

Nous portons un regard critique sur nos propres cultures et expériences personnelles ainsi que sur les valeurs et traditions d'autrui. Nous recherchons et évaluons un éventail de points de vue et nous cherchons à en tirer des enrichissements.

## ALTRUISME

Nous faisons preuve d'empathie, de compassion et de respect. Nous accordons une grande importance à l'entraide et nous œuvrons concrètement à l'amélioration de l'existence d'autrui et du monde qui nous entoure.

## AUDACE

Nous abordons les incertitudes avec discernement et détermination. Nous travaillons de façon autonome et collaborative pour explorer de nouvelles idées et des stratégies innovantes. Nous faisons preuve d'ingéniosité et nous savons nous adapter aux défis et aux changements.

## ÉQUILIBRE

Nous accordons une importance équivalente aux différents aspects de nos vies – intellectuel, physique et affectif – dans l'atteinte de notre bien-être personnel et de celui des autres. Nous reconnaissons notre interdépendance avec les autres et le monde dans lequel nous vivons.

## REFLEXION

Nous abordons de manière réfléchie le monde qui nous entoure ainsi que nos propres idées et expériences. Nous nous efforçons de comprendre nos forces et nos faiblesses afin d'améliorer notre apprentissage et notre développement personnel.

Le profil de la communauté d'apprentissage de l'IB présente dix aptitudes mises en valeur par les écoles du monde de l'IB. Nous avons la conviction que ces aptitudes, et d'autres qui leur sont liées, peuvent nous aider à devenir des membres responsables au sein de nos communautés locales, nationales et mondiales.

# Contenu du programme

## A1.1 L'eau

Unité et diversité – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 2 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 1 heure**

### Questions d'orientation

- Quelles propriétés chimiques et physiques de l'eau la rendent essentielle à la vie ?
- Quelles sont les difficultés et les possibilités associées à l'eau en tant qu'habitat ?

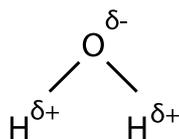
### NM et NS

#### A1.1.1 – L'eau en tant que milieu pour la vie

Les élèves doivent savoir que les premières cellules sont apparues dans l'eau et que l'eau reste le milieu dans lequel se produisent la plupart des processus vitaux.

#### A1.1.2 – Les liaisons hydrogène en tant que conséquence des liaisons covalentes polaires dans les molécules d'eau

Les élèves doivent comprendre que la polarité des liaisons covalentes dans les molécules d'eau est due à un partage inégal des électrons et que les liaisons hydrogène dues à cette polarité se produisent entre les molécules d'eau. Les élèves doivent être capables de représenter deux ou plusieurs molécules d'eau et les liaisons hydrogène entre elles, en utilisant la notation ci-dessous pour indiquer la polarité.



#### A1.1.3 – La cohésion des molécules d'eau due aux liaisons hydrogène et les conséquences pour les organismes

Inclure le transport de l'eau sous tension dans le xylème et l'utilisation des surfaces d'eau en tant qu'habitats en raison de l'effet connu sous le nom de « tension de surface ».

#### A1.1.4 – L'adhérence de l'eau aux matériaux polaires ou chargés et les répercussions pour les organismes

Inclure l'action capillaire dans les sols et les parois cellulaires des plantes.

#### A1.1.5 – Les propriétés de dissolution de l'eau liées à son rôle en tant que milieu pour le métabolisme et le transport chez les plantes et les animaux

Souligner le fait qu'une grande variété de molécules hydrophiles se dissolvent dans l'eau et que la plupart des enzymes catalysent des réactions dans une solution aqueuse. Les élèves doivent aussi comprendre

que les fonctions de certaines molécules dans les cellules dépendent de leur caractère hydrophobe et insoluble.

A1.1.6 – Les propriétés physiques de l'eau et les conséquences pour les animaux vivant dans des habitats aquatiques

Inclure la flottabilité, la viscosité, la conductivité thermique et la chaleur massique. Il faut mettre en contraste les propriétés physiques de l'eau avec celles de l'air, et illustrer les conséquences à l'aide d'exemples d'animaux qui vivent dans l'eau et dans les airs ou sur terre, tels que le plongeon arctique (*Gavia arctica*) et le phoque annelé (*Pusa hispida*).

*Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.*

## Module complémentaire du niveau supérieur

A1.1.7 – L'origine externe de l'eau sur Terre et les raisons de sa rétention

La présence d'eau en abondance au cours des milliards d'années d'existence de la Terre a permis à la vie d'évoluer. Il faut limiter les hypothèses sur l'origine de l'eau sur Terre aux astéroïdes et les raisons de sa rétention à la gravité et aux températures suffisamment basses pour condenser l'eau.

A1.1.8 – Les liens entre la recherche de la vie extraterrestre et la présence d'eau

Inclure l'idée de « zone habitable circumstellaire ».

## Questions transversales

- Comment les diverses forces d'attraction intermoléculaires influent-elles sur les systèmes biologiques ?
- Quels processus biologiques se produisent uniquement à la surface ou près de la surface ?

## A1.2 Les acides nucléiques

Unité et diversité – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Comment la structure des acides nucléiques permet-elle le stockage des informations héréditaires ?
- Comment la structure de l'ADN facilite-t-elle une réplication précise ?

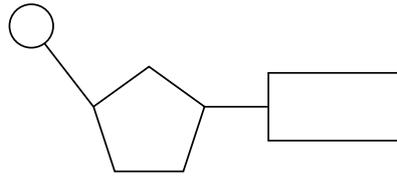
## NM et NS

A1.2.1 – L'ADN en tant que matériel génétique de tous les organismes vivants

Certains virus utilisent l'ARN comme matériel génétique, mais les virus ne sont pas considérés comme des organismes vivants.

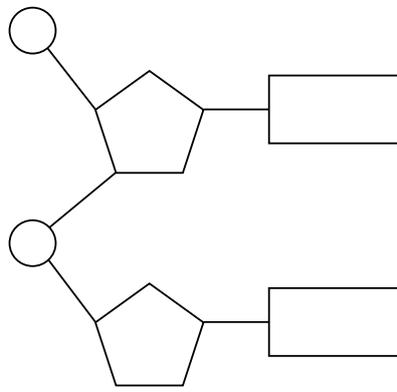
A1.2.2 Les composants d'un nucléotide

Dans les diagrammes de nucléotides, il faut utiliser des cercles, des pentagones et des rectangles pour représenter les positions respectives des phosphates, des sucres pentoses et des bases.



### A1.2.3 – La liaison sucre-phosphate et le « squelette » de sucre-phosphate de l'ADN et de l'ARN

Les liaisons sucre-phosphate forment une chaîne continue d'atomes liés de manière covalente dans chaque brin de nucléotides d'ADN ou d'ARN, ce qui constitue un « squelette » solide dans la molécule.



### A1.2.4 – Les bases dans chaque acide nucléique qui forment la base d'un code

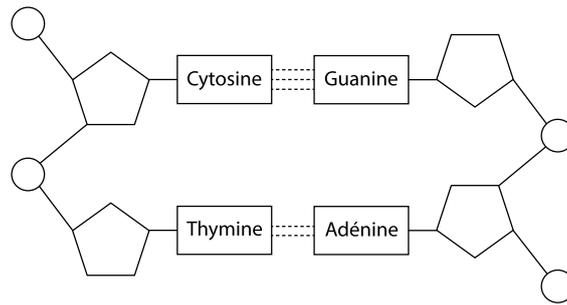
Les élèves doivent connaître les noms des bases azotées.

### A1.2.5 – L'ARN en tant que polymère formé par la condensation des monomères nucléotidiques

Les élèves doivent être capables de dessiner et de reconnaître des diagrammes de la structure de nucléotides isolés et des polymères d'ARN.

### A1.2.6 – L'ADN en tant que double hélice formée de deux brins de nucléotides antiparallèles liés par des liaisons hydrogène entre des paires de bases complémentaires

Dans les diagrammes représentant la structure de l'ADN, les élèves doivent dessiner deux brins antiparallèles, mais pas forcément la forme hélicoïdale. Il leur faut montrer l'appariement de l'adénine (A) et de la thymine (T) ainsi que l'appariement de la guanine (G) et de la cytosine (C). Il ne leur est pas demandé de se rappeler des longueurs respectives des bases purines et pyrimidines, ni du nombre de liaisons hydrogène.



#### A1.2.7 – Les différences entre l'ADN et l'ARN

Inclure le nombre de brins présents, les types de bases azotées et le type de sucre pentose. Les élèves doivent être capables d'esquisser la différence entre le ribose et le désoxyribose. Il leur faut connaître des exemples d'acides nucléiques.

#### A1.2.8 – Le rôle de l'appariement des bases complémentaires qui permet la réplication et l'expression des informations génétiques

Les élèves doivent comprendre que la complémentarité repose sur les liaisons hydrogène.

#### A1.2.9 – La diversité des séquences de bases de l'ADN possibles et la capacité illimitée de l'ADN à stocker des informations

Expliquer que la diversité résulte de toutes les longueurs possibles des molécules d'ADN et des combinaisons de bases possibles. Souligner l'énorme capacité de l'ADN à stocker des données avec grande économie.

#### A1.2.10 – La conservation du code génétique dans toutes les formes de vie comme preuve d'une ascendance commune universelle

Les élèves ne doivent pas mémoriser des exemples précis.

## Module complémentaire du niveau supérieur

#### A1.2.11 – L'orientation de l'ARN et de l'ADN

Inclure les liaisons 5' vers 3' dans le « squelette » de sucre-phosphate et leur importance pour la réplication, la transcription et la traduction.

#### A1.2.12 – Les liaisons purine-pyrimidine en tant que composantes de la stabilité de l'hélice d'ADN

Les paires adénine – thymine (A – T) et cytosine – guanine (C – G) sont de longueur égale, et l'hélice d'ADN a donc la même structure tridimensionnelle, et ce, quelle que soit la séquence de bases.

#### A1.2.13 – La structure d'un nucléosome

Se limiter à une molécule d'ADN enroulée autour d'un cœur de huit protéines histones maintenues ensemble par une protéine histone supplémentaire attachée à un ADN lieur.

**Application des compétences :** les élèves doivent utiliser un logiciel de visualisation de molécules pour étudier l'association entre les protéines et l'ADN au sein d'un nucléosome.

A1.2.14 – Les preuves issues de l'expérience de Hershey et Chase démontrant que l'ADN est le matériel génétique

Les élèves doivent comprendre que les résultats de cette expérience permettent de conclure que l'ADN est le matériel génétique.

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que les évolutions technologiques peuvent ouvrir de nouvelles possibilités en matière d'expériences. Lorsque des radioisotopes ont été mis à la disposition des scientifiques en tant qu'outils de recherche, l'expérience de Hershey et Chase est devenue possible.

A1.2.15 – Les données de Chargaff sur les quantités respectives de bases pyrimidiques et puriques dans diverses formes de vie

**Nature de la science :** les élèves doivent comprendre que le problème de l'induction est résolu par la certitude apportée par la réfutation. Dans ce cas, les données de Chargaff ont réfuté l'hypothèse du tétranucléotide, selon laquelle il y avait une séquence répétitive des quatre bases dans l'ADN.

## Questions transversales

- Qu'est-ce qui rend l'ARN, plutôt que l'ADN, plus susceptible d'avoir été le premier matériel génétique ?
- Comment la polymérisation peut-elle donner lieu à des propriétés émergentes ?

## A2.1 L'origine des cellules

Unité et diversité – Cellules

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Quelle hypothèse plausible pourrait expliquer l'origine de la vie ?
- Quels stades intermédiaires auraient pu exister entre la matière non vivante et les premières cellules vivantes ?

### Module complémentaire du niveau supérieur

*Remarque : il n'y a aucun contenu pour le NM dans le sujet A2.1.*

A2.1.1 – Les conditions sur la Terre primitive et la formation prébiotique des composés carbonés

Inclure l'absence d'oxygène libre, et donc d'ozone, ainsi que les concentrations plus élevées de dioxyde de carbone et de méthane, qui ont entraîné une augmentation des températures et la pénétration des rayons ultraviolets. Les conditions ont pu entraîner la formation spontanée de divers composés carbonés par des processus chimiques qui ne se produisent plus de nos jours.

A2.1.2 – Les cellules en tant que plus petites unités de vie autosuffisante

Discuter des différences entre une chose vivante et une chose non vivante. Inclure les raisons pour lesquelles les virus ne sont pas considérés comme des organismes vivants.

A2.1.3 – La difficulté d'expliquer l'origine spontanée des cellules

Les cellules sont des structures extrêmement complexes qui ne peuvent actuellement être produites que par la division de cellules préexistantes. Les élèves doivent savoir que la catalyse, l'autoréplication des molécules, l'autoassemblage et l'émergence de la compartimentation ont été des conditions nécessaires à l'évolution des premières cellules.

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que les assertions scientifiques, notamment les hypothèses et les théories, doivent être vérifiables. Les scientifiques se trouvent parfois aux prises avec des

hypothèses qui sont difficilement vérifiables. Dans ce cas, les conditions exactes sur la Terre prébiotique ne peuvent pas être reproduites et les premières protocellules ne se sont pas fossilisées.

A2.1.4 – Les preuves de l'origine des composés carbonés

Évaluer l'expérience de Miller-Urey.

A2.1.5 – La formation spontanée des vésicules par la coalescence d'acides gras en bicouches sphériques

La formation d'un compartiment lié à la membrane est nécessaire pour permettre à la chimie à l'intérieur de devenir différente de celle à l'extérieur du compartiment.

A2.1.6 – L'ARN en tant que premier matériel génétique présumé

L'ARN peut être répliqué et a une certaine activité catalytique. Il peut donc initialement avoir joué à la fois le rôle de matériel génétique et d'enzymes des premières cellules. Les ribozymes dans le ribosome sont toujours utilisés pour catalyser la formation de liaisons peptidiques durant la synthèse des protéines.

A2.1.7 – Les preuves d'un dernier ancêtre commun universel

Inclure le code génétique universel et les gènes communs à tous les organismes. Aborder la probabilité que d'autres formes de vie aient évolué pour ensuite s'éteindre en raison de la compétition du dernier ancêtre commun universel et de sa descendance.

A2.1.8 – Les approches utilisées pour estimer les dates d'apparition des premières cellules vivantes et d'existence du dernier ancêtre commun universel

Les élèves doivent prendre conscience que l'évolution de la vie sur Terre a pris un temps considérable.

A2.1.9 – Les preuves de l'évolution du dernier ancêtre commun universel près de cheminées hydrothermales

Inclure les preuves fossiles de vie provenant des précipités de cheminées hydrothermales d'anciens fonds marins et les preuves de séquences conservées issues d'analyses génomiques.

## Questions transversales

- Pour quelles raisons l'hérédité est-elle une caractéristique essentielle des êtres vivants ?
- Que faut-il pour que les structures puissent évoluer selon le processus de sélection naturelle ?

## A2.2 La structure cellulaire

Unité et diversité – Cellules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 4 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 1 heure**

### Questions d'orientation

- Quelles sont les caractéristiques communes à toutes les cellules et celles qui diffèrent ?
- Comment la microscopie est-elle utilisée pour étudier la structure cellulaire ?

### NM et NS

A2.2.1 – La cellule en tant qu'unité structurale de base de tous les organismes vivants

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que le raisonnement déductif peut être utilisé pour faire des prédictions à partir de théories. Selon la théorie cellulaire, on peut prédire qu'un organisme nouvellement découvert est constitué d'une ou de plusieurs cellules.

#### A2.2.2 – Les compétences en microscopie

**Application des compétences :** les élèves doivent savoir faire des préparations de cellules et de tissus, colorer, mesurer les tailles à l'aide d'un oculaire réticulé, faire une mise au point à l'aide de réglages approximatifs et fins, calculer la taille réelle et le grossissement, produire une échelle graphique et prendre des photographies.

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que la prise de mesures à l'aide d'instruments est une forme d'observation quantitative.

#### A2.2.3 – Les progrès en microscopie

Inclure les avantages de la microscopie électronique, de la cryofracture et de la cryo-microscopie électronique ainsi que l'utilisation de colorants fluorescents et de l'immunofluorescence dans la microscopie optique classique.

#### A2.2.4 – Les structures communes aux cellules chez tous les organismes vivants

L'ADN constitue le matériel génétique des cellules typiques. Ces dernières ont un cytoplasme constitué essentiellement d'eau, qui est entouré d'une membrane plasmique composée de lipides. Les élèves doivent comprendre les raisons de ces structures.

#### A2.2.5 – La structure cellulaire des procaryotes

Inclure les composantes cellulaires suivantes : paroi cellulaire, membrane plasmique, cytoplasme, ADN nu en boucle et ribosomes 70S. Le type de structure cellulaire procaryote requis est celui des eubactéries à Gram positif, telles que le *Bacillus* et le *Staphylococcus*. Les élèves doivent savoir que la structure cellulaire des procaryotes varie. Il ne leur est cependant pas demandé de connaître en détail les variations, comme l'absence de paroi cellulaire chez les phytoplasmes et les mycoplasmes.

#### A2.2.6 – La structure cellulaire des eucaryotes

Les élèves doivent connaître les caractéristiques communes des cellules eucaryotes : une membrane plasmique entourant un cytoplasme compartimenté avec des ribosomes 80S ; un noyau possédant une double membrane munie de pores contenant des chromosomes constitués d'ADN lié à des histones ; des organites cytoplasmiques liés à la membrane, notamment les mitochondries, le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi et diverses vésicules ou vacuoles, dont les lysosomes ; et un cytosquelette de microtubules et microfilaments.

#### A2.2.7 – Les processus vitaux chez les organismes unicellulaires

Inclure les fonctions suivantes : l'homéostasie, le métabolisme, la nutrition, le mouvement, l'excrétion, la croissance, la réaction aux stimulus et la reproduction.

#### A2.2.8 – Les différences dans la structure cellulaire eucaryote entre les animaux, les champignons et les plantes

Inclure la présence de parois cellulaires et leur composition, les différences de taille et de fonction des vacuoles, la présence de chloroplastes et d'autres plastes ainsi que la présence de centrioles, de cils et de flagelles.

A2.2.9 – La structure cellulaire atypique chez les eucaryotes

Utiliser le nombre de noyaux pour illustrer un type de structure cellulaire atypique chez les hyphes fongiques non cloisonnés ainsi que dans les muscles squelettiques, les globules rouges et les éléments du tube criblé du phloème.

A2.2.10 – Les types de cellules et les structures cellulaires visibles sur les photographies prises au microscope optique et au microscope électronique

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables d'identifier des cellules procaryotes, végétales ou animales, sur les photographies prises au microscope optique et au microscope électronique. Sur les photographies prises au microscope électronique, il leur faut pouvoir reconnaître les structures suivantes : le nucléoïde, la paroi cellulaire procaryote, le noyau, les mitochondries, les chloroplastes, la vacuole centrale, l'appareil de Golgi, le réticulum endoplasmique lisse et rugueux, les chromosomes, les ribosomes, la paroi cellulaire, la membrane plasmique et les microvillosités.

A2.2.11 – Le dessin et l'annotation à partir de photographies prises au microscope électronique

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de dessiner et d'annoter des diagrammes d'organites (noyau, mitochondries, chloroplastes, vacuole centrale, appareil de Golgi, réticulum endoplasmique lisse et rugueux, et chromosomes) ainsi que d'autres structures cellulaires (paroi cellulaire, membrane plasmique, vésicules de sécrétion et microvillosités) à partir de photographies prises au microscope électronique. Il faut inclure les fonctions dans leurs annotations.

## Module complémentaire du niveau supérieur

A2.2.12 – L'origine endosymbiotique des cellules eucaryotes

Les preuves suggèrent que tous les eucaryotes ont évolué à partir d'un ancêtre unicellulaire commun, qui possédait un noyau et se reproduisait sexuellement. Les mitochondries ont ensuite évolué par endosymbiose. Chez certains eucaryotes, les chloroplastes ont ensuite également eu une origine endosymbiotique. Les preuves doivent inclure la présence de ribosomes 70S et d'ADN circulaire nu dans les mitochondries et les chloroplastes ainsi que leur capacité à se répliquer.

**Nature de la science :** les élèves doivent comprendre que la force d'une théorie vient des observations qu'elle explique et des prédictions qu'elle corrobore. Un large éventail d'observations sont expliquées par la théorie endosymbiotique.

A2.2.13 – La différenciation cellulaire en tant que processus de développement des tissus spécialisés chez les organismes multicellulaires

Les élèves doivent savoir que la différenciation repose sur différents patterns d'expression génique souvent déclenchés par des changements dans l'environnement.

A2.2.14 – L'évolution de la multicellularité

Les élèves doivent savoir que la multicellularité a évolué à maintes reprises. Un grand nombre de champignons et d'algues eucaryotes ainsi que toutes les plantes et tous les animaux sont multicellulaires. La multicellularité présente l'avantage de permettre l'augmentation de la taille de l'organisme et la spécialisation cellulaire.

## Questions transversales

- Qu'est-ce qui explique l'utilisation de certains éléments moléculaires fondamentaux dans toutes les cellules vivantes ?
- Quelles sont les caractéristiques d'une théorie convaincante ?

## A2.3 Les virus

Unité et diversité – Cellules

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Comment les virus peuvent-ils exister avec si peu de gènes ?
- De quelles façons les virus varient-ils ?

### Module complémentaire du niveau supérieur

*Remarque : il n'y a aucun contenu pour le NM dans le sujet A2.3.*

#### A2.3.1 – Les caractéristiques structurales communes aux virus

Il y a relativement peu de caractéristiques communes à tous les virus : taille petite et fixe, acide nucléique (ADN ou ARN) constituant le matériel génétique, capsidite faite d'unités protéiques, absence de cytoplasme, et peu ou pas d'enzymes.

#### A2.3.2 – La diversité structurale des virus

Les élèves doivent comprendre que les virus présentent des formes et des structures très diverses. Leur matériel génétique est constitué d'ARN ou d'ADN, qui peut être simple brin ou double brin. Certains virus sont enveloppés par de la membrane de cellules hôtes et d'autres ne sont pas enveloppés. Le bactériophage lambda, les coronavirus et le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) sont autant d'exemples de virus.

#### A2.3.3 – Le cycle lytique d'un virus

Les élèves doivent savoir que les virus dépendent d'une cellule hôte pour l'apport énergétique, la nutrition, la synthèse des protéines et d'autres fonctions vitales. Utiliser le bactériophage lambda comme exemple pour illustrer les phases d'un cycle lytique.

#### A2.3.4 – Le cycle lysogénique d'un virus

Utiliser le bactériophage lambda comme exemple.

#### A2.3.5 – Les preuves des origines multiples des virus provenant d'autres organismes

La diversité des virus suggère plusieurs origines possibles. Les virus ont en commun une forme extrême de parasitisme obligatoire comme mode d'existence, et leurs caractéristiques structurales communes pourraient donc être considérées comme le résultat d'une évolution convergente. Le même code génétique est utilisé pour les virus et les organismes vivants.

#### A2.3.6 – L'évolution rapide des virus

Inclure les raisons des taux d'évolution très rapides de certains virus. Deux exemples d'évolution rapide peuvent être utilisés : l'évolution des virus de l'influenza et du VIH. Examiner également les conséquences pour le traitement des maladies causées par des virus qui évoluent rapidement.

### Questions transversales

- Quels mécanismes contribuent à l'évolution convergente ?
- Dans quelle mesure l'évolution naturelle de la vie est-elle caractérisée par une complexité ou une simplicité croissante ?

## A3.1 La diversité des organismes

Unité et diversité – Organismes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Qu'est-ce qu'une espèce ?
- Quels sont les patterns observés dans les divers génomes au sein des espèces et entre elles ?

### NM et NS

A3.1.1 – La variation entre les organismes en tant que caractéristique essentielle de la vie

Les élèves doivent comprendre qu'il n'existe pas deux individus dont tous les caractères sont identiques. Les patterns de variation sont complexes et servent de base pour nommer et classer les organismes.

A3.1.2 – Les espèces en tant que groupes d'organismes possédant des caractères communs

Il s'agit du concept morphologique de l'espèce original, tel qu'utilisé par Linné.

A3.1.3 – Le système binominal pour nommer les organismes

Les élèves doivent savoir que le premier nom indique le genre et le second celui de l'espèce. Les espèces d'un même genre ont des caractères similaires. Le nom du genre commence par une lettre majuscule, mais le nom de l'espèce est écrit avec une minuscule.

A3.1.4 – Le concept biologique de l'espèce

Selon le concept biologique de l'espèce, une espèce est un groupe d'organismes pouvant se reproduire et produire une descendance fertile. Mentionner les défis que peut poser cette définition de l'espèce et indiquer que des définitions divergentes existent.

A3.1.5 – Les difficultés à distinguer les populations des espèces en raison de la divergence des populations qui ne se croisent pas pendant la spéciation

Les élèves doivent comprendre que la spéciation est le résultat de la séparation d'une espèce en deux ou plus. Elle se produit généralement de façon progressive plutôt que par un acte unique, avec des populations dont les caractères deviennent de plus en plus différents. Considérer que deux populations font partie de la même espèce ou d'espèces différentes peut donc être une décision arbitraire.

A3.1.6 – La diversité du nombre de chromosomes des espèces végétales et animales

Les élèves doivent généralement savoir qu'il existe une diversité. Par exemple, il leur faut savoir que les êtres humains possèdent 46 chromosomes et que les chimpanzés en ont 48. Il ne leur est pas demandé de connaître d'autres nombres précis de chromosomes, mais il leur faut savoir que les cellules diploïdes ont un nombre pair de chromosomes.

A3.1.7 – Le caryotypage et les caryogrammes

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de classer les chromosomes en fonction du pattern des bandes, de leur taille et de la position du centromère. Il leur faut aussi évaluer les preuves appuyant l'hypothèse que le chromosome 2 chez les êtres humains résulte de la fusion des chromosomes 12 et 13 chez un ancêtre commun (primate).

**Nature de la science :** les élèves doivent être capables de distinguer les hypothèses vérifiables (par exemple, celle de l'origine du chromosome 2) des déclarations non vérifiables.

#### A3.1.8 – L'unité et la diversité des génomes au sein des espèces

Les élèves doivent comprendre que le génome est l'ensemble des informations génétiques d'un organisme. Le génome des organismes d'une même espèce est en grande partie identique, mais des variations comme les polymorphismes mononucléotidiques apportent une certaine diversité.

#### A3.1.9 – La diversité des génomes eucaryotes

Les génomes varient par leur taille globale, qui est déterminée par la quantité totale d'ADN. Ils varient également par la séquence de bases. La variation entre les espèces est beaucoup plus grande que la variation au sein d'une même espèce.

#### A3.1.10 – La comparaison de la taille des génomes

**Application des compétences :** les élèves doivent extraire des informations sur la taille du génome de différents groupes taxonomiques d'une base de données, afin de comparer la taille du génome à la complexité de l'organisme.

#### A3.1.11 – Les utilisations actuelles et potentielles du séquençage du génome entier

Mentionner la vitesse croissante et la diminution des coûts. Inclure la recherche sur les relations évolutives pour les utilisations actuelles, et la médecine personnalisée pour les utilisations potentielles.

## Module complémentaire du niveau supérieur

#### A3.1.12 – Les difficultés d'application du concept biologique de l'espèce aux espèces se reproduisant de manière asexuée et aux bactéries présentant un transfert horizontal de gènes

Le concept biologique de l'espèce ne fonctionne pas bien avec les groupes d'organismes qui ne se reproduisent pas sexuellement ou lorsque les gènes peuvent être transférés d'une espèce à une autre.

#### A3.1.13 – Le nombre de chromosomes en tant que caractère commun à une espèce

Les croisements entre espèces étroitement apparentées ont peu de chances de produire une descendance fertile si les parents ont un nombre de chromosomes différent.

#### A3.1.14 – L'étude des espèces végétales ou animales locales pour l'élaboration d'une clé dichotomique

**Application des compétences :** les élèves doivent étudier des espèces végétales ou animales locales afin d'élaborer une clé dichotomique.

#### A3.1.15 – L'identification des espèces à partir de l'ADN environnemental présent dans un habitat à l'aide du codage à barres

L'utilisation du codage à barres et de l'ADN environnemental permet d'étudier rapidement la biodiversité des habitats.

## Questions transversales

- Quelles sont les causes possibles de la persistance ou de l'extinction d'une espèce ?
- Comment les espèces illustrent-elles à la fois une variation continue et une variation discontinue ?

## A3.2 La classification et la cladistique

Unité et diversité – Organismes

**Module complémentaire du niveau supérieur : 3 heures**

### Questions d'orientation

- Quels sont les outils utilisés pour classer les organismes en groupes taxonomiques ?
- En quoi les méthodes cladistiques diffèrent-elles des méthodes taxonomiques traditionnelles ?

### Module complémentaire du niveau supérieur

*Remarque : il n'y a aucun contenu pour le NM dans le sujet A3.2.*

#### A3.2.1 – La nécessité d'une classification des organismes

Une classification est nécessaire en raison de l'immense diversité des espèces. Une fois la classification terminée, un large éventail d'études plus approfondies peuvent être effectuées.

#### A3.2.2 – Les difficultés de la classification des organismes selon la hiérarchie traditionnelle des taxons

La hiérarchie traditionnelle (règne, embranchement, classe, ordre, famille, genre et espèce) ne correspond pas toujours aux patterns de divergence produits par l'évolution.

**Nature de la science :** un classement fixe des taxons (règne, embranchement, etc.) est arbitraire, car il ne tient pas compte de la gradation de variation. La cladistique propose une autre approche de la classification, en utilisant des clades non classés. Il s'agit d'un exemple de changement de paradigme qui se produit parfois dans les théories scientifiques.

#### A3.2.3 – Les avantages de la classification correspondant aux relations évolutives

La classification idéale suit les relations évolutives. Ainsi, tous les membres d'un groupe taxonomique ont évolué à partir d'un ancêtre commun. Les caractéristiques des organismes au sein d'un tel groupe peuvent donc être prédites, car elles sont communes au clade.

#### A3.2.4 – Les clades en tant que groupes d'organismes ayant une ascendance et des caractéristiques communes

Les preuves les plus objectives pour étayer le placement des organismes dans un même clade proviennent des séquences de bases des gènes ou des séquences d'acides aminés des protéines. Les traits morphologiques peuvent être utilisés pour placer les organismes dans des clades.

#### A3.2.5 – L'accumulation progressive des différences dans les séquences en tant que base pour l'estimation du moment où les clades ont divergé d'un ancêtre commun

Cette méthode d'estimation du temps est connue sous le nom d'« horloge moléculaire ». L'horloge moléculaire peut fournir uniquement des estimations, car les taux de mutation sont influencés par la durée du temps de génération, la taille d'une population, l'intensité de la pression sélective et d'autres facteurs.

#### A3.2.6 – Les séquences de bases des gènes ou les séquences d'acides aminés des protéines en tant que base pour la construction des cladogrammes

Les exemples peuvent être simples et reposer sur un échantillon de données pour illustrer l'outil.

**Nature de la science :** les élèves doivent comprendre que des critères de jugement différents peuvent mener à des hypothèses différentes. Ici, l'analyse selon le principe de parcimonie est utilisée pour

sélectionner le cladogramme le plus probable, dans lequel la variation de séquence observée entre les clades est expliquée par le plus petit nombre de changements de séquence.

#### A3.2.7 – L'analyse des cladogrammes

Les élèves doivent être capables de déduire les relations évolutives, les ancêtres communs et les clades à partir d'un cladogramme. Il leur faut comprendre les termes « racine », « nœud » et « branche terminale » ainsi que le fait qu'un nœud représente un ancêtre commun hypothétique.

#### A3.2.8 – L'utilisation de la cladistique pour déterminer si la classification des groupes correspond aux relations évolutives

Il est possible d'utiliser une étude de cas d'un transfert d'espèces végétales entre familles pour développer la compréhension. Par exemple, on peut utiliser la reclassification de la famille des Scrophulariacées (*Scrophulariaceae*). Toutefois, il n'est pas nécessaire de mémoriser les détails de l'étude de cas.

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que les théories et autres assertions scientifiques peuvent éventuellement être réfutées. Dans cet exemple, les similarités morphologiques dues à l'évolution convergente plutôt qu'à une ascendance commune ont suggéré une classification qui s'est avérée erronée selon la cladistique.

*Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.*

#### A3.2.9 – La classification de tous les organismes en trois domaines à l'aide de preuves provenant des séquences de bases de l'ARNr

Il s'agit de la reclassification révolutionnaire ajoutant un niveau taxonomique supplémentaire au-dessus des règnes, qui a été proposée en 1977.

## Questions transversales

- Comment peut-on expliquer les similarités entre des organismes lointainement apparentés ?
- Quels sont les exemples d'idées sur lesquelles les biologistes ne sont pas d'accord ?

## A4.1 L'évolution et la spéciation

Unité et diversité – Écosystèmes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 4 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 1 heure**

### Questions d'orientation

- Quelles sont les preuves de l'évolution ?
- Comment les structures homologues et analogues illustrent-elles la similitude et la diversité ?

## NM et NS

#### A4.1.1 – L'évolution en tant que changement dans les caractères héréditaires d'une population

Cette définition aide à différencier l'évolution darwinienne du lamarckisme. Les changements acquis qui n'ont pas une origine génétique ne sont pas considérés comme une évolution.

**Nature de la science :** la théorie de l'évolution par sélection naturelle prédit et explique une large gamme d'observations, et il est peu probable qu'elle soit jamais réfutée. Toutefois, la nature de la science fait qu'il est impossible de prouver formellement qu'elle est vraie par correspondance. Il s'agit d'une vérité pragmatique et elle est donc qualifiée de théorie, malgré toutes les preuves à l'appui.

A4.1.2 – Les preuves de l'évolution provenant des séquences de bases de l'ADN ou de l'ARN et des séquences d'acides aminés des protéines

Les données sur les séquences fournissent des preuves solides d'une ascendance commune.

A4.1.3 – Les preuves de l'évolution provenant de l'élevage sélectif d'animaux domestiqués et de plantes cultivées

La variation entre les différentes races d'animaux domestiqués et les variétés de plantes cultivées, ainsi que la variation entre celles-ci et les espèces sauvages originales, montrent la rapidité avec laquelle les changements évolutifs peuvent se produire.

A4.1.4 – Les preuves de l'évolution provenant des structures homologues

Inclure l'exemple des membres pentadactyles.

A4.1.5 – L'évolution convergente en tant qu'origine des structures analogues

Les élèves doivent comprendre que les structures analogues ont la même fonction mais des origines évolutives différentes. Il leur faut connaître au moins un exemple de caractéristique analogue.

A4.1.6 – La spéciation par séparation des espèces préexistantes

Les élèves doivent savoir que c'est la seule façon dont les nouvelles espèces sont apparues. Il est nécessaire de comprendre que la spéciation augmente le nombre total d'espèces sur Terre et que l'extinction le fait diminuer. Il leur faut également comprendre que le changement évolutif progressif d'une espèce ne constitue pas une spéciation.

A4.1.7 – Le rôle de l'isolement reproductif et de la sélection différentielle dans la spéciation

Inclure l'isolement géographique comme moyen de parvenir à l'isolement reproductif. Utiliser la séparation des bonobos et des chimpanzés communs par le fleuve Congo comme exemple précis de divergence due à la sélection différentielle.

## Module complémentaire du niveau supérieur

A4.1.8 – Les différences et les similarités entre la spéciation sympatrique et la spéciation allopatrique

Les élèves doivent comprendre que l'isolement reproductif peut être géographique, comportemental ou temporel.

A4.1.9 – La radiation adaptative en tant que source de la biodiversité

La radiation adaptative permet aux espèces étroitement apparentées de coexister sans être en compétition, ce qui accroît la biodiversité dans les écosystèmes où il existe des niches vacantes.

A4.1.10 – Les obstacles à l'hybridation et la stérilité des hybrides interspécifiques en tant que mécanismes empêchant le mélange d'allèles entre espèces

La parade nuptiale empêche souvent l'hybridation chez les espèces animales. La mule est un exemple d'hybride stérile.

A4.1.11 – La spéciation brusque chez les plantes par hybridation et polyploïdie

Il faut utiliser les renouées ou les persicaires (genre *Persicaria*) comme exemple, car elles comprennent de nombreuses espèces qui se sont formées grâce à ces processus.

Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.

## Questions transversales

- Comment la théorie de l'évolution par sélection naturelle prédit-elle et explique-t-elle l'unité et la diversité de la vie sur Terre ?
- Qu'est-ce qui constitue une preuve solide en biologie ?

## A4.2 La conservation de la biodiversité

Unité et diversité – Écosystèmes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

### Questions d'orientation

- Quels sont les facteurs à l'origine de la sixième extinction massive d'espèces ?
- Comment est-il possible pour les protecteurs et protectrices de l'environnement de minimiser la perte de biodiversité ?

### NM et NS

A4.2.1 – La biodiversité en tant que variété de la vie sous toutes ses formes, à tous ses niveaux et dans toutes ses combinaisons

Inclure la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique.

A4.2.2 – Les comparaisons entre le nombre actuel d'espèces sur Terre et les niveaux de biodiversité du passé

Des millions d'espèces ont été découvertes, nommées et décrites, mais il reste encore beaucoup d'autres espèces à découvrir. Les preuves provenant des fossiles suggèrent qu'il existe actuellement sur la Terre un nombre d'espèces vivantes plus élevé que jamais.

**Nature de la science :** la classification est un exemple de reconnaissance des patterns, mais les mêmes observations peuvent être classées de différentes manières. Par exemple, les *splitters* reconnaissent plus d'espèces que les *lumpers* dans un groupe taxonomique.

A4.2.3 – Les causes de l'extinction anthropique d'espèces

Cette étude doit porter sur les causes de la sixième extinction massive actuelle plutôt que sur les causes non anthropiques des précédentes extinctions massives.

Pour donner un éventail de causes, il faut réaliser au moins trois brèves études de cas d'extinction d'espèces : les moas géants (*Dinornis novaeseelandiae*) de l'île du Nord doivent être utilisés comme exemple de perte de la mégafaune terrestre, les phoques moines des Caraïbes (*Neomonachus tropicalis*) doivent être utilisés comme exemple de perte d'une espèce marine et une autre espèce qui s'est éteinte dans une région connue des élèves doit être incluse.

Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.

A4.2.4 – Les causes de la perte des écosystèmes

Les élèves doivent étudier uniquement les causes qui sont directement ou indirectement anthropiques. Proposer deux études de cas de perte d'écosystèmes. L'une doit porter sur la perte de la forêt mixte à

Diptérocarpacées en Asie du Sud-Est et l'autre doit, si possible, porter sur un écosystème perdu dans une région connue des élèves.

#### A4.2.5 – Les preuves d'une crise de la biodiversité

Les preuves peuvent provenir des rapports publiés sur la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques ou d'autres sources. Des résultats d'inventaires fiables de la biodiversité d'un large éventail d'habitats du monde entier sont nécessaires. Les élèves doivent comprendre que les inventaires doivent être répétés pour fournir des preuves d'un changement dans la richesse et l'uniformité des espèces. Il faut noter que les contributions peuvent provenir de spécialistes des sciences, mais aussi de personnes ordinaires intéressées par les sciences.

**Nature de la science :** pour pouvoir être vérifiées, les preuves doivent généralement provenir de sources publiées, qui ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs et qui permettent un contrôle de la méthode. Les données consignées par des personnes ordinaires plutôt que par des scientifiques apportent des avantages mais aussi des préoccupations méthodologiques uniques.

#### A4.2.6 – Les causes de la crise actuelle de la biodiversité

Inclure la croissance de la population humaine comme cause principale ainsi que les causes spécifiques suivantes : la chasse et autres formes de surexploitation ; l'urbanisation ; la déforestation et le défrichement des terres pour l'agriculture avec pour conséquence une perte de l'habitat naturel ; la pollution et la propagation des espèces nuisibles, des maladies et des espèces exogènes envahissantes en raison des transports à l'échelle mondiale.

#### A4.2.7 – La nécessité d'adopter plusieurs approches de la conservation de la biodiversité

Aucune approche n'est suffisante en soi et différentes espèces nécessitent différentes mesures. Il faut mentionner la conservation in situ des espèces dans les habitats naturels, la gestion des réserves naturelles, la remise à l'état sauvage et la remise en état des écosystèmes dégradés, la conservation ex situ dans des zoos et des jardins botaniques ainsi que le stockage du plasma germinatif dans des banques de tissus ou de graines.

#### A4.2.8 – La sélection des espèces évolutivement distinctes et menacées à l'échelle mondiale en vue de leur conservation en priorité dans le programme EDGE of Existence

Les élèves doivent comprendre les raisons pour lesquelles les efforts de conservation se concentrent sur les espèces évolutivement distinctes et menacées à l'échelle mondiale.

**Nature de la science :** les questions telles que « Quelles espèces devraient être conservées en priorité ? » ont des répercussions éthiques, environnementales, politiques, sociales, culturelles et économiques complexes et doivent donc être débattues.

*Remarque : il n'y a aucun module complémentaire du niveau supérieur dans le sujet A4.2.*

## Questions transversales

- De quelles façons la diversité est-elle une propriété de la vie à tous les niveaux d'organisation biologique ?
- Comment la variation contribue-t-elle à la stabilité des communautés écologiques ?

## B1.1 Les glucides et les lipides

Forme et fonction – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 4 heures**

## Questions d'orientation

- De quelles façons les variations de forme permettent-elles la diversité des fonctions des glucides et des lipides ?
- Quels sont les rapports de ressemblance et de différence entre les glucides et les lipides en tant que composés de stockage d'énergie ?

## NM et NS

B1.1.1 – Les propriétés chimiques d'un atome de carbone permettant la formation des divers composés sur lesquels repose la vie

Les élèves doivent comprendre la nature d'une liaison covalente. Il leur faut également comprendre qu'un atome de carbone peut former jusqu'à quatre liaisons simples ou une combinaison de liaisons simples et doubles avec d'autres atomes de carbone ou des atomes d'autres éléments non métalliques. Présenter des exemples de molécules à chaînes ramifiées ou non branchées et à cycles simples ou multiples pour la diversité des composés carbonés.

**Nature de la science :** les élèves doivent comprendre que les conventions scientifiques reposent sur des accords internationaux (les préfixes « kilo- », « centi- », « milli- », « micro- » et « nano- » des unités métriques du système international d'unités fondamentales et dérivées [SI]).

B1.1.2 – La production de macromolécules par des réactions de condensation reliant les monomères pour former un polymère

Les élèves doivent connaître des exemples de polysaccharides, de polypeptides et d'acides nucléiques.

B1.1.3 – La digestion des polymères par des réactions d'hydrolyse pour libérer des monomères

Les molécules d'eau sont décomposées pour fournir les groupes -H et -OH qui sont fusionnés pour produire des monomères, d'où le nom donné à ce type de réaction.

B1.1.4 – La forme et la fonction des monosaccharides

Les élèves doivent être capables de reconnaître les pentoses et les hexoses comme des monosaccharides dans les diagrammes moléculaires les montrant sous forme cyclique. Utiliser le glucose comme exemple du lien entre les propriétés d'un monosaccharide et la façon dont il est utilisé, en mettant l'accent sur la solubilité, la transportabilité, la stabilité chimique et le rendement énergétique de l'oxydation en tant que propriétés.

B1.1.5 – Les polysaccharides en tant que composés de stockage d'énergie

Mentionner la nature compacte de l'amidon chez les plantes et du glycogène chez les animaux, due à l'enroulement et au branchement durant la polymérisation, l'insolubilité relative de ces composés en raison de leur grande taille moléculaire et la facilité relative d'ajouter ou de retirer des monomères d'alpha-glucose par condensation et hydrolyse pour constituer ou mobiliser des réserves d'énergie.

B1.1.6 – La structure de la cellulose liée à sa fonction de polysaccharide structural chez les plantes

Inclure l'orientation alternante des monomères de bêta-glucose, donnant des chaînes droites qui peuvent être groupées en faisceaux et réticulées avec des liaisons hydrogène.

B1.1.7 – Le rôle des glycoprotéines dans la reconnaissance intercellulaire

Mentionner les antigènes ABO comme exemple.

**B1.1.8 – Les propriétés hydrophobes des lipides**

Les lipides sont des substances présentes dans les organismes vivants, qui se dissolvent dans des solvants non polaires mais qui sont rarement solubles dans les solvants aqueux. Les lipides comprennent les graisses, les huiles, les cires et les stéroïdes.

**B1.1.9 – La formation des triglycérides et des phospholipides par des réactions de condensation**

Une molécule de glycérol peut relier trois molécules d'acides gras ou deux molécules d'acides gras et un groupement phosphate.

**B1.1.10 – La différence entre les acides gras saturés, les acides gras monoinsaturés et les acides gras polyinsaturés**

Inclure le nombre de doubles liaisons carbone-carbone (C = C) et la façon dont cela influe sur le point de fusion. Établir un lien avec la prévalence de différents types d'acides gras dans les huiles et les graisses utilisées pour le stockage d'énergie chez les plantes et dans les endothermes respectivement.

**B1.1.11 – Les triglycérides dans les tissus adipeux pour le stockage d'énergie et l'isolation thermique**

Les élèves doivent comprendre que les propriétés des triglycérides les rendent aptes à remplir leurs fonctions de stockage d'énergie à long terme. Il leur faut également être capables de relier l'utilisation des triglycérides comme isolants thermiques à la température corporelle et à l'habitat.

**B1.1.12 – La formation de bicouches phospholipidiques comme conséquence des régions hydrophobes et hydrophiles**

Les élèves doivent comprendre et utiliser l'adjectif « amphipathique ».

**B1.1.13 – La capacité des stéroïdes non polaires à traverser la bicouche phospholipidique**

Utiliser l'œstradiol et la testostérone comme exemples. Les élèves doivent être capables d'identifier des composés comme des stéroïdes dans les diagrammes moléculaires.

*Remarque : il n'y a aucun module complémentaire du niveau supérieur dans le sujet B1.1.*

## Questions transversales

- Comment les composés synthétisés par les organismes vivants peuvent-ils s'accumuler et devenir des puits de carbone ?
- Quels sont les rôles de l'oxydation et de la réduction dans les systèmes biologiques ?

## B1.2 Les protéines

Forme et fonction – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 2 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Quel est le lien entre la séquence d'acides aminés et la diversité des formes et des fonctions des protéines ?
- Comment les molécules de protéines sont-elles affectées par leur environnement chimique et physique ?

## NM et NS

### B1.2.1 – La structure générale d'un acide aminé

Les élèves doivent être capables de dessiner le diagramme d'un acide aminé montrant l'atome de carbone alpha auquel sont attachés le groupe amine, le groupe carboxyle, le groupe R et l'hydrogène.

### B1.2.2 – Les réactions de condensation formant les dipeptides et les chaînes plus longues d'acides aminés

Les élèves doivent être capables d'écrire l'équation de mots pour cette réaction et de dessiner un dipeptide général après avoir modélisé la réaction à l'aide de modèles moléculaires.

### B1.2.3 – Les besoins nutritionnels en acides aminés

Les acides aminés essentiels ne peuvent pas être synthétisés et doivent être apportés par l'alimentation. Les acides aminés non essentiels peuvent être produits à partir d'autres acides aminés. Les élèves ne doivent pas donner des exemples d'acides aminés essentiels et non essentiels. Les régimes alimentaires végétaliens requièrent une attention particulière afin de s'assurer que des acides aminés essentiels sont consommés.

### B1.2.4 – La variété infinie des chaînes peptidiques possibles

Mentionner que les 20 acides aminés sont codés par le code génétique, que les chaînes peptidiques peuvent comporter un nombre d'acides aminés allant de quelques-uns à des milliers, et que les acides aminés peuvent se présenter dans n'importe quel ordre. Les élèves doivent connaître des exemples de polypeptides.

### B1.2.5 – L'effet du pH et de la température sur la structure des protéines

Mentionner le terme « dénaturation ».

## Module complémentaire du niveau supérieur

### B1.2.6 – La diversité chimique des groupes R des acides aminés en tant que base de l'immense diversité de formes et de fonctions protéiques

Il n'est pas nécessaire que les élèves donnent des exemples précis de groupes R. Toutefois, il leur faut comprendre que les groupes R déterminent les propriétés des polypeptides assemblés. Les élèves doivent savoir que les groupes R sont hydrophobes ou hydrophiles et que les groupes R hydrophiles sont polaires ou chargés, acides ou basiques.

### B1.2.7 – L'incidence de la structure primaire sur la conformation des protéines

Les élèves doivent comprendre que la séquence d'acides aminés et la position précise de chaque acide aminé dans une structure déterminent la forme tridimensionnelle des protéines. Les protéines ont donc des structures précises, prévisibles et répétitives, malgré leur complexité.

### B1.2.8 – Le plissage et l'enroulement de la structure secondaire des protéines

Mentionner les liaisons hydrogène dans les positions régulières pour stabiliser les hélices alpha et les feuillets bêta plissés.

### B1.2.9 – La dépendance de la structure tertiaire aux liaisons hydrogène, aux liaisons ioniques, aux liaisons covalentes disulfures et aux interactions hydrophobes

Les élèves ne doivent pas citer des exemples d'acides aminés participant à ces types de liaisons, à l'exception des paires de cystéines formant les ponts disulfures. Il leur faut comprendre que les groupes amines et carboxyles dans les groupes R peuvent être chargés positivement ou négativement par la liaison ou la dissociation des ions hydrogène et qu'ils peuvent ensuite participer aux liaisons ioniques.

B1.2.10 – L'effet des acides aminés polaires et non polaires sur la structure tertiaire des protéines

Dans les protéines solubles dans l'eau, les acides aminés hydrophobes sont regroupés au cœur des protéines globulaires. Les protéines intégrales possèdent des régions constituées d'acides aminés hydrophobes, ce qui les aide à s'enchâsser dans les membranes.

B1.2.11 – La structure quaternaire des protéines non conjuguées et conjuguées

Utiliser l'insuline et le collagène comme exemples de protéines non conjuguées ainsi que l'hémoglobine comme exemple de protéine conjuguée.

**Nature de la science :** la technologie permet d'obtenir des images de structures qu'il serait impossible d'observer par les sens eux-mêmes, sans assistance. Par exemple, la cryo-microscopie électronique a permis d'obtenir des images des molécules d'une protéine et de leurs interactions avec d'autres molécules.

B1.2.12 – La relation entre la forme et la fonction dans les protéines globulaires et fibreuses

Les élèves doivent connaître la différence de forme des protéines globulaires et fibreuses, et comprendre que leurs formes les rendent aptes à certaines fonctions spécifiques. Utiliser l'insuline et le collagène pour illustrer la relation entre la forme et la fonction.

## Questions transversales

- Comment les facteurs abiotiques influencent-ils la forme des molécules ?
- Quel est le lien entre le génome et le protéome d'un organisme ?

## B2.1 Les membranes et le transport membranaire

Forme et fonction – Cellules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 4 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Comment les molécules des lipides et des protéines s'assemblent-elles en membranes biologiques ?
- Qu'est-ce qui détermine si une substance peut traverser une membrane biologique ?

### NM et NS

B2.1.1 – Les bicouches lipidiques en tant que base des membranes cellulaires

Les phospholipides et autres lipides amphipathiques forment naturellement des bicouches continues dans l'eau, qui ressemblent à des feuilletés.

B2.1.2 – Les bicouches lipidiques en tant que barrières

Les élèves doivent comprendre que les chaînes hydrocarbonées hydrophobes formant le cœur d'une membrane sont peu perméables aux larges molécules et aux particules hydrophiles, dont les ions et les

molécules polaires, et que les membranes fonctionnent donc comme des barrières efficaces entre les solutions aqueuses.

#### B2.1.3 – La diffusion simple à travers les membranes

Utiliser le déplacement des molécules d'oxygène et de dioxyde de carbone entre les phospholipides comme exemple de diffusion simple à travers les membranes.

#### B2.1.4 – Les protéines intégrales et périphériques dans les membranes

Souligner que les protéines membranaires ont diverses structures, positions et fonctions. Les protéines intégrales sont enchâssées dans une des deux couches lipidiques de la membrane ou dans les deux. Les protéines périphériques sont attachées à l'une ou l'autre des surfaces de la bicouche.

#### B2.1.5 – Le déplacement des molécules d'eau à travers les membranes par osmose et le rôle des aquaporines

Fournir une explication en tenant compte du mouvement aléatoire des particules, de l'imperméabilité des membranes aux solutés et des différences de concentration des solutés.

#### B2.1.6 – Les protéines de transport pour la diffusion facilitée

Les élèves doivent comprendre comment la structure des protéines de transport rend les membranes sélectivement perméables en permettant la diffusion d'ions spécifiques lorsque les canaux sont ouverts mais pas lorsqu'ils sont fermés.

#### B2.1.7 – Les protéines agissant comme des pompes pour le transport actif

Les élèves doivent savoir que les pompes utilisent l'énergie de l'adénosine triphosphate (ATP) pour transférer des particules spécifiques à travers les membranes et qu'elles peuvent donc déplacer des particules contre un gradient de concentration.

#### B2.1.8 – La sélectivité de la perméabilité membranaire

La diffusion facilitée et le transport actif permettent une perméabilité sélective des membranes. La perméabilité par diffusion simple n'est pas sélective et dépend uniquement de la taille et des propriétés hydrophiles ou hydrophobes des particules.

#### B2.1.9 – La structure et la fonction des glycoprotéines et des glycolipides

Il faut se limiter aux structures glucidiques liées aux protéines ou aux lipides dans les membranes, à la localisation des glucides sur la face extracellulaire des membranes, et à leurs rôles dans l'adhérence et la reconnaissance cellulaires.

#### B2.1.10 – Le modèle de la mosaïque fluide de la structure membranaire

Les élèves doivent être capables de dessiner une représentation bidimensionnelle du modèle et d'y inclure les protéines périphériques et intégrales, les glycoprotéines, les phospholipides et le cholestérol. Il leur faut également être capables d'indiquer les régions hydrophobes et hydrophiles.

## Module complémentaire du niveau supérieur

#### B2.1.11 – Les liens entre la composition en acides gras des bicouches lipidiques et leur fluidité

Les acides gras insaturés dans les bicouches lipidiques ont des points de fusion plus bas. Par conséquent, les membranes sont fluides et donc souples aux températures connues par la cellule. Les acides gras

saturés ont des points de fusion plus élevés et rendent les membranes plus rigides à des températures plus élevées. Les élèves doivent connaître un exemple d'adaptation de la composition de la membrane en fonction de l'habitat.

**B2.1.12 – Le cholestérol et la fluidité membranaire dans les cellules animales**

Les élèves doivent comprendre la position des molécules de cholestérol dans les membranes. Il leur faut aussi comprendre que le cholestérol régule (ajuste) la fluidité membranaire, en stabilisant les membranes à des températures plus élevées et en les empêchant de se rigidifier à des températures plus basses.

**B2.1.13 – La fluidité membranaire et la fusion et la formation de vésicules**

Utiliser les termes « endocytose » et « exocytose » ainsi que des exemples de chacun des processus.

**B2.1.14 – Les canaux ioniques dépendants dans les neurones**

Utiliser les récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine comme exemple d'un canal ionique neurotransmetteur-dépendant ainsi que les canaux sodiques et les canaux potassiques comme exemples de canaux tensiodépendants.

**B2.1.15 – La pompe sodium-potassium comme exemple de transporteur pour les échanges**

Mentionner l'importance des pompes sodium-potassium dans la génération des potentiels de membrane.

**B2.1.16 – Les cotransporteurs glucose sodium dépendants comme exemple de transport actif secondaire**

Mentionner l'importance de ces cotransporteurs pour l'absorption du glucose par les cellules de l'intestin grêle et la réabsorption du glucose par les cellules du néphron.

**B2.1.17 – L'adhérence cellulaire pour la formation de tissus**

Utiliser le terme « molécule d'adhérence cellulaire » et expliquer que diverses formes de molécules d'adhérence cellulaire sont utilisées pour différents types de jonctions intercellulaires. Les élèves ne doivent pas posséder des connaissances détaillées des différentes molécules d'adhérence cellulaire ou jonctions.

## Questions transversales

- Quels processus dépendent du transport actif dans les systèmes biologiques ?
- Quels sont les rôles des membranes cellulaires dans l'interaction d'une cellule avec son environnement ?

## B2.2 Les organites et la compartimentation

Forme et fonction – Cellules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 1 heure**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- En quoi les organites des cellules sont-ils adaptés à leurs fonctions ?
- Quels sont les avantages de la compartimentation dans les cellules ?

## NM et NS

B2.2.1 – Les organites en tant que sous-unités distinctes des cellules qui sont adaptées pour remplir des fonctions particulières

Les élèves doivent comprendre que la paroi cellulaire, le cytosquelette et le cytoplasme ne sont pas considérés comme des organites, mais que les noyaux, les vésicules, les ribosomes et la membrane plasmique le sont.

**Nature de la science :** les élèves doivent comprendre que les progrès scientifiques interviennent souvent à la suite du développement de nouvelles techniques. Par exemple, l'étude de la fonction de chaque organite est devenue possible lorsque les ultracentrifugeuses ont été inventées et que les méthodes permettant de les utiliser pour le fractionnement des cellules ont été développées.

B2.2.2 – L'avantage présenté par la séparation du noyau et du cytoplasme en compartiments distincts

Se limiter à la séparation des activités de transcription et de traduction : la modification post-transcriptionnelle de l'ARNm peut se produire avant que l'ARNm ne rencontre les ribosomes dans le cytoplasme. Chez les procaryotes, cela n'est pas possible : l'ARNm peut immédiatement rencontrer les ribosomes.

B2.2.3 – Les avantages de la compartimentation dans le cytoplasme des cellules

Inclure la concentration des métabolites et des enzymes ainsi que la séparation des processus biochimiques incompatibles. Utiliser les lysosomes et les vacuoles phagocytaires comme exemples.

## Module complémentaire du niveau supérieur

B2.2.4 – Les adaptations de la mitochondrie pour la production d'ATP par respiration cellulaire aérobie

Inclure les adaptations suivantes : une double membrane avec un petit volume d'espace intermembranaire, une grande surface de crêtes, et une compartimentation des enzymes et des substrats du cycle de Krebs dans la matrice.

B2.2.5 – Les adaptations du chloroplaste pour la photosynthèse

Inclure les adaptations suivantes : la grande surface des membranes thylakoïdes avec des photosystèmes, les petits volumes de fluide dans les thylakoïdes, et la compartimentation des enzymes et des substrats du cycle de Calvin dans le stroma.

B2.2.6 – Les avantages fonctionnels de la double membrane du noyau

Mentionner la nécessité d'avoir des pores dans l'enveloppe nucléaire et d'avoir une désagrégation de l'enveloppe nucléaire sous forme de vésicules pendant la mitose et la méiose.

B2.2.7 – La structure et la fonction des ribosomes libres et du réticulum endoplasmique rugueux

Opposer la synthèse des protéines par les ribosomes libres pour leur rétention dans la cellule et la synthèse des protéines par les ribosomes liés à la membrane sur le réticulum endoplasmique rugueux pour leur transport intracellulaire et leur sécrétion.

B2.2.8 – La structure et la fonction de l'appareil de Golgi

Se limiter aux rôles de l'appareil de Golgi dans la transformation et la sécrétion des protéines.

B2.2.9 – La structure et la fonction des vésicules dans les cellules

Inclure le rôle de la clathrine dans la formation des vésicules.

### Questions transversales

- Quels sont les exemples de corrélations entre la structure et la fonction à chaque niveau d'organisation biologique ?
- Quelles techniques de séparation sont utilisées par les biologistes ?

## B2.3 La spécialisation cellulaire

Forme et fonction – Cellules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 2 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 1 heure**

### Questions d'orientation

- Quels sont les rôles des cellules souches dans les organismes multicellulaires ?
- Comment les cellules différenciées sont-elles adaptées à leurs fonctions spécifiques ?

### NM et NS

B2.3.1 – La production de cellules non spécialisées après la fécondation et leur développement en cellules spécialisées par la différenciation

Les élèves doivent comprendre l'incidence des gradients sur l'expression génique chez un embryon au stade précoce.

B2.3.2 – Les propriétés des cellules souches

Se limiter à la capacité des cellules de se diviser indéfiniment et de se différencier selon différentes voies.

B2.3.3 – La localisation et la fonction des niches de cellules souches chez les êtres humains adultes

Se limiter à deux exemples de localisation et au fait que la niche de cellules souches peut maintenir les cellules à l'état indifférencié ou favoriser leur prolifération et leur différenciation. La moelle osseuse et les follicules pileux sont deux exemples appropriés.

B2.3.4 – Les différences entre les cellules souches totipotentes, pluripotentes et multipotentes

Les élèves doivent savoir que les cellules des embryons animaux au stade précoce sont totipotentes, mais qu'elles deviennent vite pluripotentes, tandis que les cellules souches dans les tissus adultes, comme la moelle osseuse, sont multipotentes.

B2.3.5 – La taille des cellules comme aspect de la spécialisation

Examiner les diverses tailles de cellules chez les êtres humains, notamment celles des gamètes mâles et femelles, des globules rouges et blancs, des neurones et des fibres musculaires striées.

B2.3.6 – Les rapports surface-volume et les limites de la taille des cellules

Les élèves doivent comprendre le rapport mathématique entre le volume et la surface. Il leur faut également comprendre que les échanges de matière à travers la surface d'une cellule dépendent de sa surface, alors que la nécessité de l'échange dépend du volume de la cellule.

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que les modèles sont des versions simplifiées de systèmes complexes. Dans ce cas, le rapport surface-volume peut être modélisé à l'aide de cubes ayant des côtés de

longueurs différentes. Bien que les cubes aient une forme plus simple que les organismes réels, les rapports d'une homothétie fonctionnent de la même façon.

## Module complémentaire du niveau supérieur

B2.3.7 – Les adaptations pour augmenter les rapports surface-volume des cellules

Inclure l'aplatissement des cellules, les microvillosités et l'invagination. Utiliser les érythrocytes et les cellules du tubule contourné proximal du néphron comme exemples.

B2.3.8 – Les adaptations des pneumocytes de types I et II dans les alvéoles

Se limiter à l'extrême minceur des pneumocytes de type I pour réduire la distance de diffusion et à la présence de nombreuses vésicules de sécrétion (corps lamellaires) dans le cytoplasme, qui libèrent du surfactant dans la lumière alvéolaire dans les pneumocytes de type II. L'épithélium alvéolaire est un exemple de tissu dans lequel plus d'un type de cellule est présent, car différentes adaptations sont nécessaires pour le fonctionnement global du tissu.

B2.3.9 – Les adaptations des cellules musculaires cardiaques et des fibres musculaires striées

Mentionner la présence des myofibrilles contractiles dans les deux types de muscles et les hypothèses proposées pour ces différences : le branchement (ramifié ou non branché), et la longueur et le nombre de noyaux. Une discussion sur la question de savoir si la fibre musculaire striée est une cellule doit également avoir lieu.

B2.3.10 – Les adaptations des spermatozoïdes et des ovules

Se limiter aux gamètes chez les êtres humains.

## Questions transversales

- Quels sont les avantages de la petite taille et de la grande taille dans les systèmes biologiques ?
- Comment les cellules se différencient-elles ?

## B3.1 Les échanges gazeux

Forme et fonction – Organismes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 1 heure**

### Questions d'orientation

- Comment les organismes multicellulaires s'adaptent-ils pour effectuer les échanges gazeux ?
- Quelles sont les similarités et les différences entre une plante à fleurs et un mammifère pour ce qui est des échanges gazeux ?

## NM et NS

B3.1.1 – L'échange gazeux en tant que fonction vitale chez tous les organismes

Les élèves doivent savoir que les difficultés sont d'autant plus grandes que la taille des organismes est importante, car le rapport surface-volume diminue avec l'accroissement de la taille, et la distance séparant le centre de l'organisme à l'extérieur augmente.

B3.1.2 – Les propriétés des surfaces d'échange gazeux

Mentionner la perméabilité, la fine couche tissulaire, l'humidité et la grande surface.

B3.1.3 – Le maintien des gradients de concentration aux surfaces d'échange chez les animaux

Mentionner les réseaux denses de vaisseaux sanguins, la circulation sanguine continue et la ventilation à l'aide de l'air pour les poumons et à l'aide de l'eau pour les branchies.

B3.1.4 – Les adaptations des poumons des mammifères pour les échanges gazeux

Se limiter aux poumons alvéolaires d'un mammifère. Les adaptations mentionnées doivent inclure la présence de surfactant, un réseau ramifié de bronchioles, des lits capillaires étendus et une vaste surface.

B3.1.5 – La ventilation des poumons

Les élèves doivent comprendre le rôle du diaphragme, des muscles intercostaux, des muscles abdominaux et des côtes.

B3.1.6 – La mesure du volume pulmonaire

**Application des compétences :** les élèves doivent prendre des mesures afin de déterminer le volume respiratoire, la capacité vitale, et les volumes de réserve inspiratoire et expiratoire.

B3.1.7 – Les adaptations en vue des échanges gazeux dans les feuilles

Les adaptations mentionnées pour la structure des feuilles doivent inclure la cuticule cireuse, l'épiderme, les chambres sous-stomatiques, le mésophylle spongieux, les cellules de garde des stomates et les nervures.

B3.1.8 – La répartition des tissus d'une feuille

Les élèves doivent être capables de dessiner et de légender une coupe schématique de la répartition des tissus dans la coupe transversale d'une feuille d'une plante dicotylédone.

B3.1.9 – La transpiration comme conséquence d'un échange gazeux dans la feuille

Les élèves doivent connaître les facteurs qui influent sur le taux de transpiration.

B3.1.10 – La densité des stomates

**Application des compétences :** les élèves doivent utiliser des photographies prises au microscope ou réaliser des moulages de feuilles afin de déterminer la densité des stomates.

**Nature de la science :** la répétition des mesures accroît la fiabilité des données quantitatives. Dans ce cas, les comptages répétés du nombre de stomates visibles dans le champ de vision à haute puissance illustrent la variabilité du matériel biologique et la nécessité de répéter les essais.

## Module complémentaire du niveau supérieur

B3.1.11 – Les adaptations de l'hémoglobine fœtale et adulte pour le transport de l'oxygène

Inclure la liaison coopérative de l'oxygène aux groupes d'hèmes et la liaison allostérique du dioxyde de carbone.

B3.1.12 – L'effet de Bohr

Les élèves doivent comprendre que l'augmentation du dioxyde de carbone entraîne une dissociation accrue de l'oxygène. Il leur faut également comprendre les avantages que cela présente pour les tissus qui respirent activement.

B3.1.13 – Les courbes de dissociation de l'oxygène comme moyen de représenter l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène à différentes concentrations d'oxygène

Expliquer la forme en S de la courbe pour ce qui est de la liaison coopérative.

## Questions transversales

- Comment les organismes multicellulaires résolvent-ils le problème de l'accès aux matériaux pour toutes leurs cellules ?
- Quel est le lien entre les échanges gazeux et les processus métaboliques dans les cellules ?

## B3.2 Le transport

Forme et fonction – Organismes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Quelles adaptations permettent le transport des fluides chez les animaux et les plantes ?
- Quelles sont les différences et les similarités entre le transport chez les animaux et le transport chez les plantes ?

### NM et NS

B3.2.1 – Les adaptations des capillaires pour l'échange de matériaux entre le sang et l'environnement interne ou externe

Les adaptations doivent inclure une grande surface due à la ramification ainsi que les diamètres étroits, les fines parois et la présence de perforations dans certains capillaires où l'échange doit être particulièrement rapide.

B3.2.2 – La structure des artères et des veines

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de reconnaître les artères et les veines sur les photographies prises au microscope, à partir de la structure de la paroi d'un vaisseau et de son épaisseur par rapport au diamètre de la lumière.

B3.2.3 – Les adaptations des artères pour transporter le sang loin du cœur

Les élèves doivent comprendre comment les couches de tissu musculaire et élastique des parois artérielles aident les artères à résister aux pressions sanguines élevées et à les maintenir.

B3.2.4 – La mesure du rythme cardiaque

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de déterminer la fréquence cardiaque en sentant battre le pouls carotidien ou radial avec le bout des doigts. Les méthodes traditionnelles peuvent être comparées aux méthodes numériques.

B3.2.5 – Les adaptations des veines pour le retour du sang vers le cœur

Mentionner les valves qui empêchent le reflux ainsi que la flexibilité de la paroi qui permet sa compression par l'action des muscles.

B3.2.6 – Les causes et les conséquences de l'occlusion des artères coronaires

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables d'évaluer des données épidémiologiques relatives à l'incidence de la coronaropathie.

**Nature de la science :** les élèves doivent comprendre que les coefficients de corrélation quantifient les corrélations entre les variables et qu'ils permettent d'évaluer la force de la relation. Des coefficients de corrélation faibles ou l'absence de corrélation peuvent fournir des preuves réfutant une hypothèse, mais même les corrélations fortes comme celle entre la consommation de graisses saturées et la coronaropathie ne prouvent pas l'existence d'un lien causal.

B3.2.7 – Le transport de l'eau des racines jusqu'aux feuilles durant la transpiration

Les élèves doivent comprendre que la perte d'eau par transpiration des parois cellulaires des feuilles entraîne l'aspiration de l'eau hors des vaisseaux du xylème et le long des parois cellulaires par action capillaire, ce qui génère une tension (potentiels de pression négative). C'est cette tension qui fait remonter l'eau dans le xylème. La cohésion permet l'obtention d'une colonne d'eau continue.

B3.2.8 – Les adaptations des vaisseaux du xylème pour le transport de l'eau

Mentionner l'absence de contenu cellulaire et les parois terminales incomplètes ou absentes pour un écoulement sans entrave, les parois lignifiées pour résister aux tensions, et les ponctuations pour l'entrée et la sortie de l'eau.

B3.2.9 – La répartition des tissus dans une coupe transversale de la tige d'une plante dicotylédone

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de dessiner des coupes schématiques à partir de photographies prises au microscope afin d'indiquer les positions respectives des faisceaux libéro-ligneux, du xylème, du phloème, du cortex et de l'épiderme. Il leur faut annoter leur diagramme en indiquant les principales fonctions de ces structures.

B3.2.10 – La répartition des tissus dans une coupe transversale de la racine d'une plante dicotylédone

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de dessiner des diagrammes à partir de photographies prises au microscope pour mettre en évidence les faisceaux libéro-ligneux, le xylème et le phloème, le cortex et l'épiderme.

## Module complémentaire du niveau supérieur

B3.2.11 – La libération et la réabsorption du liquide tissulaire dans les capillaires

La filtration sous pression du plasma dans les capillaires forme le liquide tissulaire. Cela est favorisé par la pression plus élevée du sang provenant des artérioles. La pression plus faible dans les veinules permet au liquide tissulaire d'être à nouveau drainé dans les capillaires.

B3.2.12 – Les échanges de substances entre le liquide tissulaire et les cellules des tissus

Discuter de la composition du plasma et du liquide tissulaire.

B3.2.13 – Le drainage de l'excès de liquide tissulaire dans les canaux lymphatiques

Se limiter à la présence de valves et de parois fines avec des interstices dans les canaux lymphatiques et au retour de la lymphe dans la circulation sanguine.

B3.2.14 – Les différences entre la circulation sanguine simple des poissons osseux et la circulation sanguine double des mammifères

De simples diagrammes des circuits sont suffisants pour montrer la série d'organes par lesquels le sang passe.

B3.2.15 – Les adaptations du cœur des mammifères pour fournir du sang sous pression aux artères

Inclure les adaptations forme-fonction des structures suivantes : muscle cardiaque, centre rythmogène, oreillettes, ventricules, valvules auriculo-ventriculaires et semi-lunaires, septum et vaisseaux coronaires. Les élèves doivent être capables de reconnaître ces éléments sur un diagramme du cœur dans le plan frontal et de tracer le flux unidirectionnel du sang des veines vers les artères en indiquant leurs noms.

B3.2.16 – Les étapes du cycle cardiaque

**Application des compétences :** les élèves doivent comprendre la séquence d'événements survenant dans la partie gauche du cœur, qui suit le déclenchement du battement cardiaque par le nœud sino-auriculaire (le centre rythmogène). Il leur faut pouvoir interpréter des mesures de la pression sanguine systolique et diastolique à partir de données et de graphiques.

B3.2.17 – La production de la pression racinaire dans les vaisseaux du xylème par le transport actif d'ions minéraux

La pression racinaire est un potentiel de pression positif produit pour provoquer un mouvement de l'eau dans les racines et les tiges lorsque le transport dans le xylème dû à la transpiration est insuffisant (par exemple, lorsque l'humidité élevée empêche la transpiration ou au printemps, avant l'ouverture des feuilles des plantes à feuilles caduques).

B3.2.18 – Les adaptations des tubes criblés du phloème et des cellules compagnes en vue du transport de la sève élaborée

Inclure les cribles, le cytoplasme et les organites réduits, l'absence de noyau dans les éléments du tube criblé, la présence de nombreuses mitochondries dans les cellules compagnes et les plasmodesmes entre les cellules compagnes. Les élèves doivent savoir comment ces adaptations facilitent l'écoulement de la sève élaborée et améliorent le chargement des composés carbonés dans les tubes criblés du phloème aux sources et leur déchargement aux puits.

## Questions transversales

- Comment les différences de pression contribuent-elles au mouvement des matériaux dans un organisme ?
- Quels processus se déroulent de manière cyclique à chaque niveau d'organisation biologique ?

## B3.3 Les muscles et la motilité

Forme et fonction – Organismes

**Module complémentaire du niveau supérieur : 3 heures**

### Questions d'orientation

- Comment les muscles se contractent-ils et provoquent-ils le mouvement ?
- Quels sont les avantages pour les animaux de posséder du tissu musculaire ?

## Module complémentaire du niveau supérieur

Remarque : il n'y a aucun contenu pour le NM dans le sujet B3.3.

B3.3.1 – Les adaptations en vue du mouvement comme caractéristique universelle des organismes vivants

Les élèves doivent explorer le concept du mouvement en examinant un éventail d'organismes, notamment une espèce mobile et une espèce sessile.

B3.3.2 – La contraction musculaire selon le modèle de glissement des filaments

Les élèves doivent comprendre comment un sarcomère se contracte grâce au glissement des filaments d'actine et de myosine.

B3.3.3 – Le rôle de la titine et des muscles antagonistes dans le relâchement musculaire

La titine, une protéine géante, aide les sarcomères à se rétracter après leur étirement et empêche aussi un étirement excessif. Les muscles antagonistes sont nécessaires, car le tissu musculaire ne peut exercer une force que lorsqu'il se contracte.

B3.3.4 – La structure et la fonction des unités motrices dans le muscle squelettique

Inclure le neurone moteur, les fibres musculaires et les jonctions neuromusculaires qui les relient.

B3.3.5 – Les rôles du squelette en tant que points d'attache des muscles et levier

Les élèves doivent savoir que les arthropodes possèdent un exosquelette et que les vertébrés ont un endosquelette.

B3.3.6 – Le mouvement d'une articulation synoviale

Mentionner les rôles des os, du cartilage, du liquide synovial, des ligaments, des muscles et des tendons. L'articulation de la hanche humaine doit être utilisée comme exemple. Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent le nom des muscles et des ligaments, mais il leur faut pouvoir nommer le fémur et le pelvis.

B3.3.7 – L'amplitude de mouvement d'une articulation

**Application des compétences :** les élèves doivent comparer l'amplitude de mouvement d'une articulation dans un certain nombre de dimensions. Il leur faut mesurer les angles d'articulation, en analysant des images sur un ordinateur ou en utilisant un goniomètre.

B3.3.8 – Les muscles intercostaux internes et externes comme exemple d'action des muscles antagonistes pour faciliter les mouvements internes du corps

Les élèves doivent savoir que les différentes orientations des fibres musculaires dans les couches internes et externes des muscles intercostaux leur permettent de bouger la cage thoracique dans des directions opposées et que, lorsqu'une de ces couches se contracte, elle en étire une autre, stockant de l'énergie potentielle dans la titine du sarcomère.

B3.3.9 – Les raisons de la locomotion

Inclure la recherche de nourriture, la fuite face au danger, la recherche d'un partenaire et la migration, et donner au moins un exemple pour chacune de ces raisons.

B3.3.10 – Les adaptations en vue de la nage chez les mammifères marins

Inclure la morphologie hydrodynamique, l'adaptation des membres pour former des nageoires et l'adaptation de la queue pour former une nageoire caudale capable de se mouvoir de haut en bas, et les modifications des voies respiratoires permettant une respiration périodique entre les plongées.

## Questions transversales

- Quels sont les avantages et les inconvénients de la dispersion de la descendance loin des parents ?
- De quelles façons la locomotion participe-t-elle à l'évolution chez les organismes vivants ?

## B4.1 L'adaptation à l'environnement

Forme et fonction – Écosystèmes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

### Questions d'orientation

- Comment les adaptations et les habitats des espèces sont-ils liés ?
- Quelles sont les causes des similarités entre les écosystèmes d'un biome terrestre ?

### NM et NS

B4.1.1 – L'habitat en tant que lieu dans lequel vit une communauté, une espèce, une population ou un organisme

La description de l'habitat d'une espèce peut comprendre à la fois sa situation géographique et son emplacement physique ainsi que le type d'écosystème.

B4.1.2 – Les adaptations des organismes à l'environnement abiotique de leur habitat

Mentionner une espèce d'herbe adaptée aux dunes de sable et une espèce d'arbre adaptée à la mangrove.

B4.1.3 – Les variables abiotiques influant sur la répartition des espèces

Utiliser des exemples de variables abiotiques pour les plantes et les animaux. Les élèves doivent comprendre que les adaptations d'une espèce lui confèrent son amplitude écologique.

B4.1.4 – L'amplitude écologique pour un facteur limitant

**Application des compétences :** les élèves doivent utiliser les données d'un transect pour corrélérer la répartition d'une espèce végétale ou animale à une variable abiotique. Il leur faut personnellement collecter ces données dans un habitat naturel ou semi-naturel. Les habitats semi-naturels ont été influencés par les êtres humains, mais ils sont dominés par des espèces sauvages plutôt que des espèces cultivées. Des capteurs peuvent être utilisés pour mesurer des variables abiotiques comme la température, l'intensité lumineuse et le pH du sol.

B4.1.5 – Les conditions requises pour la formation du récif corallien

Les récifs coralliens sont utilisés ici comme un exemple d'écosystème marin. Les facteurs doivent inclure la profondeur, le pH, la salinité, la clarté et la température de l'eau.

B4.1.6 – Les facteurs abiotiques en tant que déterminants de la répartition des biomes terrestres

Les élèves doivent comprendre que, pour toute température et toute configuration des pluies donnée, un type d'écosystème naturel est susceptible de se développer. Illustrer ce point à l'aide d'un diagramme montrant la répartition des biomes avec ces deux variables climatiques sur l'axe horizontal et l'axe vertical.

B4.1.7 – Les biomes en tant que groupes d'écosystèmes ayant des communautés semblables en raison des conditions abiotiques similaires et de l'évolution convergente

Les élèves doivent connaître les conditions climatiques qui caractérisent les biomes de la forêt tropicale, de la forêt tempérée, de la taïga, des prairies, de la toundra et du désert chaud.

B4.1.8 – Les adaptations à la vie dans les déserts chauds et la forêt tropicale humide

Donner des exemples d'adaptations chez des espèces de plantes et d'animaux mentionnées par leurs noms.

*Remarque : il n'y a aucun module complémentaire du niveau supérieur dans le sujet B4.1.*

## Questions transversales

- Quelles sont les propriétés des composantes des systèmes biologiques ?
- La lumière est-elle essentielle à la vie ?

## B4.2 Les niches écologiques

Forme et fonction – Écosystèmes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 4 heures**

### Questions d'orientation

- Quels sont les avantages des modes de nutrition spécialisés pour les organismes vivants ?
- Comment les adaptations d'une espèce sont-elles liées à sa niche dans un écosystème ?

### NM et NS

B4.2.1 – La niche écologique en tant que rôle d'une espèce dans un écosystème

Mentionner les interactions biotiques et abiotiques qui influent sur la croissance, la survie et la reproduction, y compris la façon dont une espèce obtient sa nourriture.

B4.2.2 – Les différences entre les organismes qui sont des anaérobies stricts, des anaérobies facultatifs et des aérobies stricts

Se limiter à la tolérance de ces groupes d'organismes à la présence ou à l'absence de gaz oxygène dans leur environnement.

B4.2.3 – La photosynthèse en tant que mode de nutrition chez les plantes, les algues et plusieurs groupes de procaryotes photosynthétiques

Les détails des différents types de photosynthèse chez les procaryotes ne sont pas requis.

B4.2.4 – La nutrition holozoïque chez les animaux

Les élèves doivent comprendre que tous les animaux sont hétérotrophes. Dans la nutrition holozoïque, les aliments sont ingérés, digérés en interne, absorbés et assimilés.

B4.2.5 – La nutrition mixotrophe chez quelques protistes

L'*Euglena* est un exemple bien connu de protiste d'eau douce qui est à la fois autotrophe et hétérotrophe, mais un grand nombre d'autres espèces mixotrophes font partie du plancton océanique. Les élèves doivent comprendre que certains organismes mixotrophes sont stricts et d'autres sont facultatifs.

## B4.2.6 – La nutrition saprotrophe chez quelques champignons et bactéries

Les champignons et les bactéries ayant ce mode de nutrition hétérotrophe peuvent être qualifiés de décomposeurs.

## B4.2.7 – La diversité de la nutrition chez les archées

Les élèves doivent comprendre que les archées constituent l'un des trois domaines de la vie et savoir qu'elles ont des manières très variées d'obtenir l'énergie nécessaire à la production d'ATP. Il n'est pas nécessaire que les élèves puissent citer des exemples.

B4.2.8 – Le lien entre la dentition et le régime alimentaire des membres omnivores et herbivores représentatifs de la famille des *Hominidae*

**Application des compétences :** les élèves doivent examiner des modèles de crânes ou des collections numériques de photographies de crânes afin de déduire le régime alimentaire à partir des caractéristiques anatomiques. Il peut s'agir, par exemple, de crânes d'*Homo sapiens* (êtres humains), d'*Homo floresiensis* et de *Paranthropus robustus*.

**Nature de la science :** les déductions peuvent être faites à partir de théories. Dans cet exemple, l'observation de mammifères vivants a conduit à des théories reliant la dentition aux régimes alimentaires herbivores ou carnivores. Ces théories ont permis de déduire le régime alimentaire des organismes éteints.

## B4.2.9 – Les adaptations des herbivores pour se nourrir de plantes et des plantes pour résister aux herbivores

Inclure les pièces buccales permettant de perforer et de broyer chez les insectes mangeurs de feuilles pour les adaptations des herbivores. Les plantes résistent aux herbivores en utilisant des épines et d'autres structures physiques. Elles produisent aussi des composés secondaires toxiques dans les graines et les feuilles. Certains animaux ont des adaptations métaboliques pour supprimer ces toxines.

## B4.2.10 – Les adaptations des prédateurs pour trouver, attraper et tuer leurs proies et des proies animales pour résister à la prédation

Les élèves doivent avoir conscience des adaptations chimiques, physiques et comportementales chez les prédateurs et les proies.

## B4.2.11 – Les adaptations de la forme des plantes pour capter la lumière

Donner des exemples tirés des écosystèmes forestiers pour illustrer la façon dont les plantes des forêts utilisent différentes stratégies pour atteindre les sources de lumière, notamment les arbres atteignant la canopée, les lianes, les épiphytes poussant sur les branches des arbres, les épiphytes étrangleurs, les arbustes d'ombre et les herbes poussant sur le tapis forestier.

## B4.2.12 – Les niches fondamentales et réalisées

Les élèves doivent savoir que la niche fondamentale est le potentiel d'une espèce, basé sur ses adaptations et ses limites de tolérance, et que la niche réalisée est l'étendue réelle de la niche d'une espèce lorsqu'elle est en compétition avec d'autres espèces.

## B4.2.13 – L'exclusion compétitive et le caractère unique des niches écologiques

Mentionner l'élimination de l'espèce concurrente ou la restriction des deux espèces à une partie de leur niche fondamentale comme résultat possible de la compétition entre deux espèces.

Remarque : il n'y a aucun module complémentaire du niveau supérieur dans le sujet B4.2.

## Questions transversales

- Quels sont les avantages respectifs de la spécificité et de la polyvalence ?
- Pour chaque forme de nutrition, quels sont les entrées, les sorties et les processus particuliers ?

## C1.1 Les enzymes et le métabolisme

Interaction et interdépendance – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- De quelles façons les enzymes interagissent-elles avec d'autres molécules ?
- Quelles sont les composantes interdépendantes du métabolisme ?

### NM et NS

C1.1.1 – Les enzymes en tant que catalyseurs

Les élèves doivent comprendre l'avantage de l'augmentation des vitesses de réaction des cellules.

C1.1.2 – Le rôle des enzymes dans le métabolisme

Les élèves doivent comprendre que le métabolisme est le réseau complexe de réactions chimiques interdépendantes et interactives qui se produisent chez les organismes vivants. En raison de la spécificité des enzymes, un grand nombre d'enzymes différentes sont nécessaires aux organismes vivants et il est possible d'exercer un contrôle sur le métabolisme au moyen de ces enzymes.

C1.1.3 – Les réactions anaboliques et cataboliques

Les exemples d'anabolisme doivent comprendre la formation de macromolécules à partir de monomères par réactions de condensation, notamment la synthèse des protéines, la formation de glycogène et la photosynthèse. Les exemples de catabolisme doivent comprendre l'hydrolyse de macromolécules en monomères lors de la digestion et l'oxydation des substrats dans le cadre de la respiration.

C1.1.4 – Les enzymes en tant que protéines globulaires dotées d'un site actif pour la catalyse

Mentionner que le site actif est composé de quelques acides aminés seulement, mais que les interactions entre les acides aminés dans la structure tridimensionnelle globale de l'enzyme garantissent que le site actif possède les propriétés requises pour la catalyse.

C1.1.5 – Les interactions entre le substrat et le site actif pour permettre une liaison par ajustement induit

Les élèves doivent comprendre que le substrat et les enzymes changent tous deux de forme lors de la liaison.

C1.1.6 – Le rôle du mouvement moléculaire et des collisions entre le substrat et le site actif dans la catalyse enzymatique

Un mouvement est nécessaire pour qu'une molécule de substrat se lie au site actif. Les grandes molécules de substrat sont parfois immobilisées, tandis que les enzymes peuvent parfois être immobilisées en étant intégrées dans les membranes.

C1.1.7 – Les liens entre la structure du site actif, la spécificité enzyme-substrat et la dénaturation

Les élèves doivent être capables d'expliquer ces liens.

C1.1.8 – Les effets de la température, du pH et de la concentration en substrat sur le taux de l'activité enzymatique

Les effets doivent être expliqués en faisant référence à la théorie des collisions et à la dénaturation.

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables d'interpréter des graphiques montrant les effets.

**Nature de la science :** les élèves doivent être capables de décrire la relation entre les variables, comme montré dans les graphiques. Il leur faut savoir que les esquisses générales des relations sont des exemples de modèles en biologie. Les modèles sous forme d'esquisses de graphiques peuvent être évalués, en utilisant les résultats des expériences sur les enzymes.

C1.1.9 – Les mesures des réactions catalysées par des enzymes

**Application des compétences :** les élèves doivent déterminer les taux de réaction au moyen de l'expérimentation et des données secondaires.

C1.1.10 – L'effet des enzymes sur l'énergie d'activation

**Application des compétences :** les élèves doivent savoir qu'il faut de l'énergie pour rompre les liaisons au sein du substrat et qu'il y a libération d'énergie lorsque les liaisons se forment pour créer les produits d'une réaction catalysée par les enzymes. Il leur faut être capables d'interpréter des graphiques montrant cet effet.

## Module complémentaire du niveau supérieur

C1.1.11 – Les réactions catalysées par des enzymes intracellulaires et extracellulaires

Utiliser la glycolyse et le cycle de Krebs comme exemples intracellulaires et la digestion chimique dans le tube digestif comme exemple extracellulaire.

C1.1.12 – La production d'énergie thermique par les réactions métaboliques

Mentionner le fait que la production de chaleur est inévitable, car les réactions métaboliques ne sont pas efficaces à 100 % dans le transfert d'énergie. Les mammifères, les oiseaux et certains autres animaux dépendent de cette production de chaleur pour maintenir une température corporelle constante.

C1.1.13 – Les voies cycliques et linéaires du métabolisme

Utiliser la glycolyse, le cycle de Krebs et le cycle de Calvin comme exemples.

C1.1.14 – Les sites allostériques et l'inhibition non compétitive

Les élèves doivent savoir que seules certaines substances peuvent se lier à un site allostérique. Les liaisons entraînent des interactions qui provoquent des changements de conformation au sein d'une enzyme, lesquels vont à leur tour modifier suffisamment le site actif pour empêcher la catalyse. Les liaisons sont réversibles.

C1.1.15 – L'inhibition compétitive en tant que conséquence de la liaison réversible d'un inhibiteur à un site actif

Les statines doivent être utilisées comme exemple d'inhibiteurs compétitifs. Mentionner la différence entre l'inhibition compétitive et l'inhibition non compétitive dans les interactions entre le substrat et l'inhibiteur, et donc dans l'effet de la concentration de substrat.

C1.1.16 – La régulation des voies métaboliques par rétro-inhibition

Utiliser la voie qui produit l'isoleucine comme exemple de produit final agissant en tant qu'inhibiteur.

C1.1.17 – L'inhibition fondée sur un mécanisme comme conséquence des modifications chimiques du site actif causées par la liaison irréversible d'un inhibiteur

La pénicilline doit être utilisée comme exemple. Mentionner la modification des transpeptidases, qui confère la résistance à la pénicilline.

## Questions transversales

- Quels sont les exemples de relations entre la structure et la fonction dans les macromolécules biologiques ?
- Quels processus biologiques dépendent des différences ou des changements de concentration ?

## C1.2 La respiration cellulaire

Interaction et interdépendance – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 2 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 3 heures**

### Questions d'orientation

- Quels sont les rôles de l'hydrogène et de l'oxygène dans la libération d'énergie dans les cellules ?
- Comment l'énergie est-elle distribuée et utilisée au sein des cellules ?

## NM et NS

C1.2.1 – L'ATP en tant que molécule distribuant l'énergie au sein des cellules

Mentionner le nom complet de l'ATP (adénosine triphosphate) et indiquer qu'il s'agit d'un nucléotide. Les élèves doivent connaître les propriétés de l'ATP qui la rendent utilisable comme devise énergétique dans les cellules.

C1.2.2 – Les processus vitaux au sein des cellules pour lesquels l'ATP fournit de l'énergie

Inclure le transport actif à travers les membranes, la synthèse des macromolécules (anabolisme), le déplacement de toute la cellule ou de composantes cellulaires telles que les chromosomes.

C1.2.3 – Les transferts d'énergie durant les interconversions entre ATP et ADP

Les élèves doivent savoir que l'énergie est libérée par l'hydrolyse de l'ATP (adénosine triphosphate) en ADP (adénosine diphosphate) et phosphate, mais que de l'énergie est nécessaire pour synthétiser l'ATP à partir de l'ADP et du phosphate. Il ne leur est pas nécessaire de connaître la quantité d'énergie en kilojoules, mais il leur faut savoir qu'elle est suffisante pour l'accomplissement d'un grand nombre de tâches dans la cellule.

C1.2.4 – La respiration cellulaire en tant que système permettant de produire de l'ATP au sein de la cellule en utilisant l'énergie libérée à partir des composés carbonés

Les élèves doivent savoir que le glucose et les acides gras sont les principaux substrats pour la respiration cellulaire, mais qu'un large éventail de composés carbonés/organiques peuvent être utilisés. Il leur faut être capables de faire la distinction entre les processus de la respiration cellulaire et des échanges gazeux.

C1.2.5 – Les différences entre la respiration cellulaire anaérobie et la respiration cellulaire aérobie chez les êtres humains

Indiquer les substrats respiratoires pouvant être utilisés, si l'oxygène est nécessaire, les rendements respectifs en ATP, les types de déchets et les endroits où les réactions se produisent dans une cellule. Les élèves doivent être capables d'écrire des équations de mots simples pour ces deux types de respiration, avec le glucose en tant que substrat. Il leur faut savoir que les mitochondries sont nécessaires pour la respiration aérobie mais pas pour la respiration anaérobie.

C1.2.6 – Les variables influençant le taux de respiration cellulaire

**Application des compétences :** les élèves doivent effectuer des mesures, qui permettent la détermination du taux de respiration cellulaire. Il leur faut aussi être capables de calculer le taux de respiration cellulaire à partir des données brutes produites expérimentalement ou à partir de données secondaires.

## Module complémentaire du niveau supérieur

C1.2.7 – Le rôle du NAD en tant que transporteur d'hydrogène et l'oxydation par retrait d'hydrogène lors de la respiration cellulaire

Les élèves doivent comprendre que l'oxydation est un processus de perte d'électrons, de sorte que lorsque de l'hydrogène avec un électron est retiré d'un substrat (déshydrogénation), ce substrat a été oxydé. Il leur faut savoir que les réactions redox impliquent à la fois une oxydation et une réduction, et que le NAD est réduit quand il accepte l'hydrogène.

C1.2.8 – La conversion du glucose en pyruvate par des réactions par étapes dans la glycolyse avec un rendement net en ATP et en NAD réduit

Mentionner la phosphorylation, la lyse, l'oxydation et la formation d'ATP. Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent les noms des intermédiaires, mais il leur faut savoir que chaque étape de la voie est catalysée par une enzyme différente.

C1.2.9 – La conversion du pyruvate en lactate comme moyen de régénération du NAD dans la respiration cellulaire anaérobie

La régénération du NAD permet la poursuite de la glycolyse, avec un rendement net de deux molécules d'ATP pour une molécule de glucose.

C1.2.10 – La respiration cellulaire anaérobie chez les levures et son utilisation pour le brassage et la boulangerie

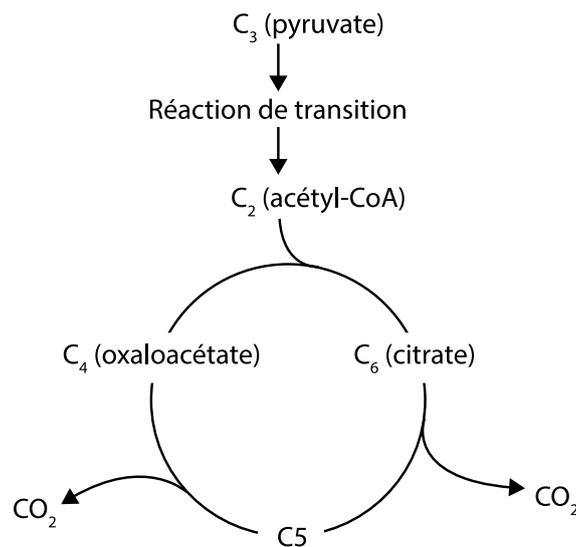
Les élèves doivent comprendre que les voies de la respiration anaérobie sont identiques chez les êtres humains et les levures, à l'exception de la régénération du NAD au moyen du pyruvate et, par conséquent, des produits finals.

C1.2.11 – L'oxydation et la décarboxylation du pyruvate comme réaction de transition dans la respiration cellulaire aérobie

Les élèves doivent comprendre que les lipides et les glucides sont métabolisés pour former des groupes acétyles (C<sub>2</sub>), qui sont transférés par la coenzyme A dans le cycle de Krebs.

C1.2.12 – L'oxydation et la décarboxylation des groupes acétyles dans le cycle de Krebs avec un rendement en ATP et en NAD réduit

Les élèves doivent nommer uniquement les intermédiaires suivants : le citrate (C<sub>6</sub>) et l'oxaloacétate (C<sub>4</sub>). Il leur faut savoir que le citrate est produit par transfert d'un groupe acétyle à l'oxaloacétate et que l'oxaloacétate est régénéré par les réactions du cycle de Krebs, dont quatre oxydations et deux décarboxylations. Il leur faut aussi savoir que les oxydations sont des réactions de déshydrogénation.



C1.2.13 – Le transfert d'énergie par le NAD réduit vers la chaîne de transport des électrons dans la mitochondrie

L'énergie est transférée lorsque deux électrons sont transmis au premier transporteur de la chaîne, reconvertissant le NAD réduit en NAD. Les élèves doivent comprendre que le NAD réduit provient de la glycolyse, de la réaction de transition et du cycle de Krebs.

C1.2.14 – La production d'un gradient de protons par la circulation des électrons le long de la chaîne de transport des électrons

Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent les noms des complexes protéiques.

C1.2.15 – La chimiosmose et la synthèse d'ATP dans la mitochondrie

Les élèves doivent comprendre que l'ATP-synthase associe la libération de l'énergie du gradient de protons à la phosphorylation de l'ADP.

C1.2.16 – Le rôle de l'oxygène en tant qu'accepteur final d'électrons dans la respiration cellulaire aérobie

L'oxygène accepte des électrons de la chaîne de transport des électrons et des protons provenant de la matrice de la mitochondrie, produisant ainsi de l'eau métabolique et permettant la circulation continue des électrons le long de la chaîne.

C.1.2.17 – Les différences entre les lipides et les glucides en tant que substrats respiratoires

Mentionner le rendement énergétique plus élevé par gramme de lipides, car il y a moins d'oxygène et plus d'hydrogène et de carbone oxydables. Mentionner également que la glycolyse et la respiration anaérobie ne se produisent que si les glucides sont le substrat, avec des groupes acétyles (C2) issus de la dégradation des acides gras entrant dans la voie par l'acétyl-CoA (acétylcoenzyme A).

### Questions transversales

- Sous quelles formes l'énergie est-elle stockée chez les organismes vivants ?
- Quelles sont les conséquences de la respiration pour les écosystèmes ?

## C1.3 La photosynthèse

Interaction et interdépendance – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 3 heures**

### Questions d'orientation

- Comment l'énergie solaire est-elle absorbée et utilisée dans la photosynthèse ?
- Comment les facteurs abiotiques interagissent-ils avec la photosynthèse ?

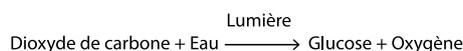
### NM et NS

C1.3.1 – La transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique lors de la production de composés carbonés pendant la photosynthèse

Cette transformation de l'énergie fournit la majeure partie de l'énergie chimique nécessaire pour les processus vitaux dans les écosystèmes.

C1.3.2 – La conversion du dioxyde de carbone en glucose lors de la photosynthèse en utilisant l'hydrogène obtenu par le fractionnement de l'eau

Les élèves doivent être capables d'écrire une équation de mots simple pour la photosynthèse, avec le glucose en tant que produit.



C1.3.3 – L'oxygène en tant que sous-produit de la photosynthèse chez les plantes, les algues et les cyanobactéries

Les élèves doivent connaître l'équation de mots simple pour la photosynthèse. Il leur faut savoir que l'oxygène produit par la photosynthèse provient du fractionnement de l'eau.

C1.3.4 – La séparation et l'identification des pigments photosynthétiques par chromatographie

**Application des compétences** : les élèves doivent être capables de calculer les valeurs  $R_f$  à partir des résultats de la séparation chromatographique des pigments photosynthétiques et de les identifier en se fondant sur la couleur et les valeurs. La chromatographie sur couche mince ou la chromatographie sur papier peut être utilisée.

C1.3.5 – L'absorption de longueurs d'onde particulières de la lumière par les pigments photosynthétiques

Mentionner l'excitation des électrons au sein d'une molécule de pigment, la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique et la raison pour laquelle seules certaines longueurs d'onde sont absorbées. Les élèves doivent connaître les spectres d'absorption. Inclure les longueurs d'onde et les couleurs de la lumière dans les axes horizontaux des spectres d'absorption.

C1.3.6 – Les similarités et les différences entre le spectre d'absorption et le spectre d'action

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de déterminer les taux de photosynthèse à partir des données concernant la production d'oxygène et la consommation de dioxyde de carbone pour diverses longueurs d'onde. Il leur faut aussi être capables d'utiliser ces données pour produire un spectre d'action.

C1.3.7 – Les techniques permettant de faire varier expérimentalement les concentrations de dioxyde de carbone, l'intensité lumineuse ou la température afin d'étudier les effets des facteurs limitants sur le taux de photosynthèse

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de proposer des hypothèses sur les effets de ces facteurs limitants et de les vérifier par l'expérimentation.

**Nature de la science :** les hypothèses sont des explications provisoires qui nécessitent des vérifications répétées. Au cours d'une recherche scientifique, les hypothèses peuvent être fondées sur des théories puis vérifiées dans le cadre d'une expérience ou être fondées sur des preuves provenant d'une expérience déjà réalisée. Dans ce cas, les élèves peuvent décider s'ils souhaitent proposer des hypothèses sur les effets des facteurs limitants sur la photosynthèse avant ou après avoir réalisé leurs expériences. Il leur faut être capables d'identifier la variable dépendante et la variable indépendante dans une expérience.

C1.3.8 – Les expériences d'enrichissement en dioxyde de carbone en tant que moyen de prédire les futurs taux de photosynthèse et de croissance des plantes

Inclure les expériences en serre fermée et les expériences d'enrichissement en dioxyde de carbone à l'air libre.

**Nature de la science :** le fait de trouver des méthodes pour contrôler soigneusement les variables fait partie de la conception expérimentale. Cela peut se révéler plus facile en laboratoire, mais certaines expériences ne peuvent être réalisées que sur le terrain. Les expériences sur le terrain comprennent celles réalisées dans des écosystèmes naturels. Les élèves doivent être capables de trouver une variable contrôlée dans une expérience.

## Module complémentaire du niveau supérieur

C1.3.9 – Les photosystèmes en tant que réseaux de molécules de pigments capables de générer et de libérer des électrons excités

Les élèves doivent savoir que les photosystèmes sont toujours dans les membranes et qu'ils sont présents chez les cyanobactéries et dans les chloroplastes des eucaryotes photosynthétiques. Les photosystèmes doivent être décrits comme des réseaux moléculaires de pigments chlorophylliens et de pigments accessoires, avec une chlorophylle spécifique constituant le centre réactionnel à partir duquel un électron excité est libéré.

C1.3.10 – Les avantages du réseau structuré de différents types de molécules de pigments dans un photosystème

Les élèves doivent savoir qu'une seule molécule de chlorophylle ou de tout autre pigment ne pourrait pas réaliser une partie quelconque de la photosynthèse.

**C1.3.11 – La production d'oxygène par la photolyse de l'eau dans le photosystème II**

Souligner que les protons et les électrons produits par la photolyse sont utilisés dans la photosynthèse, mais que l'oxygène constitue un déchet. L'apparition de la production d'oxygène par photolyse a eu des conséquences considérables pour les organismes vivants et les processus géologiques sur Terre.

**C1.3.12 – La production d'ATP par chimiosmose dans les thylakoïdes**

Mentionner le gradient de protons, l'ATP-synthase et le pompage des protons par les transporteurs de la chaîne de transport d'électrons. Les élèves doivent savoir que les électrons proviennent du photosystème I dans la photophosphorylation cyclique ou du photosystème II dans la photophosphorylation non cyclique, et qu'ils sont ensuite utilisés pour la production d'ATP.

**C1.3.13 – La réduction du NADP par le photosystème I**

Les élèves doivent savoir que le NADP est réduit en acceptant deux électrons provenant du photosystème I. Il accepte également un ion d'hydrogène provenant du stroma. Les termes « NADP et NADP réduit » ou « NADP<sup>+</sup> et NADPH » doivent systématiquement être associés.

**C1.3.14 – Les thylakoïdes en tant que systèmes permettant la réalisation des réactions photo-dépendantes de la photosynthèse**

Les élèves doivent savoir où se produisent la photolyse de l'eau, la synthèse de l'ATP par chimiosmose et la réduction du NADP dans un thylakoïde.

**C1.3.15 – La fixation du carbone par la Rubisco**

Les élèves doivent connaître les noms des substrats RuBP et CO<sub>2</sub> ainsi que celui du produit 3-phosphoglycérate. Il leur faut également savoir que la Rubisco est l'enzyme la plus abondante sur Terre et que de fortes concentrations de Rubisco sont nécessaires dans le stroma des chloroplastes, car elle fonctionne assez lentement et est inefficace dans les faibles concentrations en dioxyde de carbone.

**C1.3.16 – La synthèse du triose phosphate à l'aide du NADP réduit et de l'ATP**

Les élèves doivent savoir que le 3-phosphoglycérate (3PG) est converti en triose phosphate (TP) à l'aide du NADPH et de l'ATP.

**C1.3.17 – La régénération du RuBP dans le cycle de Calvin à l'aide de l'ATP**

Les élèves ne doivent pas connaître les détails de chaque réaction, mais doivent comprendre que cinq molécules de triose phosphate sont converties en trois molécules de RuBP, ce qui permet la poursuite du cycle de Calvin. Si le glucose est le produit de la photosynthèse, les cinq sixièmes de la totalité du triose phosphate produit doivent être reconvertis en RuBP.

**C1.3.18 – La synthèse des glucides, des acides aminés et d'autres composés carbonés à l'aide des produits du cycle de Calvin et de nutriments minéraux**

Les élèves ne doivent pas connaître en détail les voies métaboliques, mais comprendre que tout le carbone contenu dans les composés des organismes photosynthétiques est fixé dans le cycle de Calvin et que les composés carbonés autres que le glucose sont produits par des voies métaboliques pouvant remonter à un intermédiaire dans le cycle.

**C1.3.19 – L'interdépendance des réactions photo-dépendantes et des réactions photo-indépendantes**

Les élèves doivent comprendre que le manque de lumière stoppe les réactions photo-dépendantes et que le manque de CO<sub>2</sub> empêche le fonctionnement du photosystème II.

## Questions transversales

- Quelles sont les conséquences de la photosynthèse pour les écosystèmes ?
- Quelles sont les fonctions des pigments chez les organismes vivants ?

## C2.1 La signalisation chimique

Interaction et interdépendance – Cellules

**Module complémentaire du niveau supérieur : 4 heures**

### Questions d'orientation

- Comment les cellules font-elles la distinction entre les nombreux signaux différents qu'elles reçoivent ?
- Quelles interactions se produisent dans les cellules animales en réponse aux signaux chimiques ?

### Module complémentaire du niveau supérieur

*Remarque : il n'y a aucun contenu pour le NM dans le sujet C2.1.*

C2.1.1 – Les récepteurs en tant que protéines dotées de sites de liaison pour certaines substances chimiques de signalisation

Les élèves doivent utiliser le terme « ligand » pour désigner la substance chimique de signalisation.

C.2.1.2 – La signalisation cellulaire par les bactéries dans la détection du quorum

Utiliser l'exemple de la bioluminescence de la bactérie marine *Vibrio fischeri*.

C2.1.3 – Les hormones, les neurotransmetteurs, les cytokines et les ions calcium comme exemples de catégories fonctionnelles de substances chimiques de signalisation chez les animaux

Les élèves doivent connaître les différences entre ces catégories.

C2.1.4 – La diversité chimique des hormones et des neurotransmetteurs

Examiner les raisons pour lesquelles de nombreuses substances chimiques sont utilisées comme des substances chimiques de signalisation. Inclure les amines, les protéines et les stéroïdes en tant que groupes chimiques des hormones. Diverses substances peuvent servir de neurotransmetteurs, dont les acides aminés, les peptides, les amines et l'oxyde nitrique.

C2.1.5 – Les effets localisés et lointains des molécules de signalisation

Les différences entre les hormones transportées par le système sanguin et les neurotransmetteurs diffusant dans la fente synaptique peuvent être établies.

C2.1.6 – Les différences entre les récepteurs transmembranaires d'une membrane plasmique et les récepteurs intracellulaires du cytoplasme ou du noyau

Inclure la répartition des acides aminés hydrophiles ou hydrophobes dans le récepteur et le fait que la substance chimique de signalisation pénètre dans la cellule ou reste à l'extérieur.

C2.1.7 – Le déclenchement des voies de transduction du signal par les récepteurs

Les élèves doivent comprendre que la liaison de la substance chimique de signalisation et du récepteur déclenche une série de réponses au sein de la cellule.

C2.1.8 – Les récepteurs transmembranaires des neurotransmetteurs et les modifications du potentiel de membrane

Utiliser le récepteur de l'acétylcholine comme exemple. La liaison à un récepteur provoque l'ouverture d'un canal ionique dans le récepteur, qui permet la diffusion des ions chargés positivement dans la cellule. Cela modifie la tension dans la membrane plasmique, ce qui peut entraîner d'autres changements.

C2.1.9 – Les récepteurs transmembranaires activant les protéines G

Les élèves doivent comprendre que les récepteurs couplés aux protéines G transmettent un signal dans les cellules. Il leur faut savoir qu'il existe un grand nombre de récepteurs de ce type chez les êtres humains.

C2.1.10 – Le mécanisme d'action des récepteurs de l'épinéphrine (adrénaline)

Mentionner les rôles de la protéine G et de l'AMP cyclique (AMPc) en tant que deuxième messager.

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que les conventions de dénomination sont un exemple de coopération internationale dans le domaine de la science pour un bénéfice mutuel. Les termes « épinéphrine » et « adrénaline » ont tous deux été inventés par des spécialistes de la recherche et leur dénomination repose sur la production de l'hormone par la glande surrénale. Le terme « épinéphrine » vient du grec ancien (*ἐπί* = au-dessus et *νεφρός* = rein) tandis que le terme « adrénaline » vient du latin (*ad* = au et *ren* = rein). Fait inhabituel, ils continuent d'être couramment utilisés dans différentes régions du monde.

C2.1.11 – Les récepteurs transmembranaires à activité de tyrosine kinase

L'hormone protéique insuline doit être utilisée comme exemple. Se limiter à la liaison de l'insuline à un récepteur de la membrane plasmique qui provoque la phosphorylation de la tyrosine à l'intérieur de la cellule. Cela entraîne une série de réactions qui se terminent par le déplacement des vésicules contenant les transporteurs de glucose vers la membrane plasmique.

C2.1.12 – Les récepteurs intracellulaires influençant l'expression génique

Il faut utiliser les hormones stéroïdes suivantes comme exemples : l'œstradiol, la progestérone et la testostérone. Les élèves doivent comprendre que la substance chimique de signalisation se lie à un site sur un récepteur et l'active. Le récepteur activé se lie ensuite à des séquences d'ADN spécifiques pour favoriser la transcription.

C2.1.13 – Les effets des hormones (œstradiol et progestérone) sur les cellules cibles

Pour l'œstradiol, il faut se limiter aux cellules de l'hypothalamus qui sécrètent la gonadolibérine. Pour la progestérone, il faut se limiter aux cellules de l'endomètre.

C2.1.14 – La régulation des voies de signalisation cellulaire par la rétroaction positive et la rétroaction négative

Il faut se limiter à une compréhension des différences entre ces deux formes de régulation et à une brève présentation d'un exemple de chacune.

## Questions transversales

- Quels sont les patterns de communication dans les systèmes biologiques ?

- De quelles façons la rétroaction négative est-elle évidente à tous les niveaux d'organisation biologique ?

## C2.2 La signalisation neuronale

Interaction et interdépendance – Cellules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 3 heures**

### Questions d'orientation

- Comment les signaux électriques sont-ils produits et transportés dans les neurones ?
- Comment les neurones peuvent-ils interagir avec d'autres cellules ?

### NM et NS

C2.2.1 – Les neurones en tant que cellules du système nerveux transmettant des impulsions électriques

Les élèves doivent comprendre que le cytoplasme et un noyau forment le corps cellulaire d'un neurone, duquel partent des fibres nerveuses allongées de longueur variable. L'axone est une longue fibre unique. Les dendrites sont des fibres plus courtes. Les impulsions électriques sont transmises le long de ces fibres.

C2.2.2 – La production du potentiel de repos par pompage pour établir et maintenir des gradients de concentration des ions sodium et potassium

Les élèves doivent comprendre que l'énergie de l'ATP entraîne le pompage des ions sodium et potassium dans des directions opposées à travers la membrane plasmique des neurones. Il leur faut également comprendre les concepts de polarisation membranaire et de potentiel de membrane ainsi que les raisons pour lesquelles le potentiel de repos est négatif.

C2.2.3 – Les influx nerveux en tant que potentiels d'action propagés le long des fibres nerveuses

Les élèves doivent savoir qu'un influx nerveux est électrique, car il implique un mouvement des ions chargés positivement.

C2.2.4 – Les variations dans la vitesse des influx nerveux

Comparer la vitesse de transmission dans les axones géants du calmar et les fibres nerveuses non myélinisées plus petites. Comparer également la vitesse dans les fibres myélinisées à celle des fibres non myélinisées.

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de décrire les corrélations positives et négatives, et d'utiliser les coefficients de corrélation comme un outil mathématique pour déterminer la force de ces corrélations. Il leur faut également être capables d'appliquer le coefficient de détermination ( $R^2$ ) pour évaluer la mesure dans laquelle la variation de la variable indépendante explique la variation de la variable dépendante. Par exemple, la vitesse de conduction des influx nerveux présente une corrélation négative avec la taille de l'animal, mais elle est positivement corrélée au diamètre de l'axone.

C2.2.5 – Les synapses en tant que jonctions entre les neurones, et entre les neurones et les cellules effectrices

Se limiter aux synapses chimiques (les synapses électriques ne doivent pas être étudiées), et celles-ci peuvent tout simplement être appelées « synapses ». Les élèves doivent comprendre qu'un signal ne peut passer que dans un sens dans une synapse typique.

## C2.2.6 – La libération des neurotransmetteurs par une membrane présynaptique

Mentionner l'absorption du calcium en réponse à la dépolarisation d'une membrane présynaptique et son action en tant que substance chimique de signalisation au sein d'un neurone.

## C2.2.7 – La production d'un potentiel postsynaptique excitateur

Inclure la diffusion des neurotransmetteurs à travers la fente synaptique et la liaison avec les récepteurs transmembranaires. L'acétylcholine doit être utilisée comme exemple. Les élèves doivent savoir que ce neurotransmetteur existe dans de nombreux types de synapses, dont les jonctions neuromusculaires.

## Module complémentaire du niveau supérieur

## C2.2.8 – La dépolarisation et la repolarisation lors des potentiels d'action

Mentionner l'action des canaux sodiques et potassiques tensiodépendants ainsi que la nécessité d'atteindre un seuil d'excitation pour que les canaux sodiques s'ouvrent.

## C2.2.9 – La propagation d'un potentiel d'action le long d'une fibre nerveuse / d'un axone du fait des courants locaux

Les élèves doivent comprendre que la diffusion des ions sodium tant à l'intérieur qu'à l'extérieur d'un axone peut provoquer l'atteinte du seuil d'excitation.

## C2.2.10 – Les tracés d'oscilloscope montrant des potentiels de repos et des potentiels d'action

**Application des compétences :** les élèves doivent interpréter les tracés d'oscilloscope par rapport aux événements cellulaires. Le nombre d'influx par seconde peut être mesuré.

## C2.2.11 – La conduction saltatoire dans les fibres myélinisées pour obtenir des influx plus rapides

Les élèves doivent comprendre que les pompes et les canaux ioniques sont regroupés aux nœuds de Ranvier, et qu'un potentiel d'action est propagé de nœud en nœud.

## C2.2.12 – Les effets des substances chimiques exogènes sur la transmission synaptique

Il faut utiliser les néonicotinoïdes comme exemple de pesticide bloquant la transmission synaptique ainsi que la cocaïne comme exemple de drogue bloquant la réabsorption du neurotransmetteur.

## C2.2.13 – Les neurotransmetteurs inhibiteurs et la production de potentiels postsynaptiques inhibiteurs

Les élèves doivent savoir que la membrane postsynaptique devient hyperpolarisée.

## C2.2.14 – La sommation des effets des neurotransmetteurs inhibiteurs et excitateurs dans un neurone postsynaptique

La conséquence de l'interaction de plusieurs neurones présynaptiques pour ce qui est de la dépolarisation postsynaptique est de type « tout ou rien ».

## C2.2.15 – La perception de la douleur par les neurones dotés de terminaisons nerveuses libres dans la peau

Les élèves doivent savoir que ces terminaisons nerveuses ont des canaux pour les ions chargés positivement, qui s'ouvrent en réponse à un stimulus tel qu'une température élevée, de l'acide ou certaines substances chimiques comme la capsaïcine des piments. L'entrée d'ions chargés positivement

provoque l'atteinte du seuil d'excitation et les influx nerveux voyagent alors par les neurones jusqu'au cerveau, où la douleur est perçue.

C2.2.16 – La conscience en tant que propriété émergente de l'interaction des neurones dans le cerveau

Les propriétés émergentes, telles que la conscience, sont un autre exemple des conséquences de l'interaction.

## Questions transversales

- De quelles façons les systèmes biologiques sont-ils régulés ?
- En quoi la structure des cellules spécialisées est-elle liée à leur fonction ?

# C3.1 L'intégration des systèmes de l'organisme

Interaction et interdépendance – Organismes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 5 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

## Questions d'orientation

- Quels sont les rôles des nerfs et des hormones dans l'intégration des systèmes de l'organisme ?
- Quels sont les rôles des mécanismes de rétroaction dans la régulation des systèmes de l'organisme ?

## NM et NS

C3.1.1 – L'intégration des systèmes

Il s'agit d'un processus essentiel dans les systèmes vivants. Une coordination est nécessaire pour que les éléments constitutifs d'un système remplissent collectivement une fonction globale.

C3.1.2 – Les cellules, les tissus, les organes et les systèmes de l'organisme en tant que hiérarchie de sous-systèmes intégrés dans un organisme vivant multicellulaire

Les élèves doivent savoir que cette intégration est responsable des propriétés émergentes. Par exemple, un guépard devient un prédateur efficace grâce à l'intégration des systèmes de son organisme.

C3.1.3 – L'intégration des organes dans le corps des animaux par la signalisation hormonale et nerveuse ainsi que par le transport de matériaux et d'énergie

Faire la distinction entre les rôles du système nerveux et du système endocrinien dans l'envoi des messages. Utiliser des exemples pour souligner le rôle du système sanguin dans le transport des matériaux entre organes.

C3.1.4 – Le cerveau en tant qu'organe central chargé de l'intégration des informations

Se limiter au rôle du cerveau dans le traitement d'une combinaison d'informations provenant de plusieurs sources ainsi que dans l'apprentissage et la mémoire. Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent des détails comme le rôle des neurotransmetteurs à action lente.

C3.1.5 – La moelle épinière en tant que centre intégrateur pour les processus inconscients

Les élèves doivent comprendre la différence entre les processus conscients et les processus inconscients.

C3.1.6 – L'entrée d'informations dans la moelle épinière et les hémisphères cérébraux par l'intermédiaire des neurones sensoriels

Les élèves doivent comprendre que les neurones sensoriels transmettent les messages des cellules réceptrices jusqu'au système nerveux central.

C3.1.7 – La sortie d'informations depuis les hémisphères cérébraux vers les muscles par l'intermédiaire des motoneurones

Les élèves doivent comprendre que les muscles sont stimulés pour se contracter.

C3.1.8 – Les nerfs en tant que faisceaux de fibres nerveuses à la fois de neurones sensoriels et de motoneurones

Utiliser une coupe transversale d'un nerf pour montrer la gaine protectrice ainsi que les fibres nerveuses myélinisées et non myélinisées.

C3.1.9 – Les arcs réflexes de la douleur comme exemple de réponses involontaires avec le muscle squelettique comme effecteur

Utiliser l'exemple d'un arc réflexe avec un seul interneurone dans la matière grise de la moelle épinière et une terminaison nerveuse sensorielle libre d'un neurone sensoriel comme récepteur nociceptif dans la main.

C3.1.10 – Le rôle du cervelet dans la coordination de la contraction des muscles squelettiques et de l'équilibre

Se limiter à une compréhension générale du rôle du cervelet dans le contrôle global des mouvements du corps.

C3.1.11 – La modulation de la structure du sommeil par la sécrétion de mélatonine dans le cadre des rythmes circadiens

Les élèves doivent comprendre le pattern journalier de la sécrétion de mélatonine par la glande pinéale et la façon dont elle aide à établir un cycle de sommeil et d'éveil.

C3.1.12 – La sécrétion d'épinéphrine (adrénaline) par les glandes surrénales pour préparer le corps à une activité vigoureuse

Examiner les effets étendus de l'épinéphrine (adrénaline) dans le corps et la façon dont ces effets facilitent la contraction intense des muscles.

C3.1.13 – Le contrôle du système endocrinien par l'hypothalamus et l'hypophyse

Les élèves doivent avoir une compréhension générale, mais ne doivent pas connaître les différences entre les mécanismes utilisés dans les lobes antérieur et postérieur de l'hypophyse.

C3.1.14 – Le rétrocontrôle de la fréquence cardiaque après la réception d'informations sensorielles provenant des barorécepteurs et des chimiorécepteurs

Indiquer l'emplacement des barorécepteurs et des chimiorécepteurs.

Les barorécepteurs mesurent la pression sanguine. Les chimiorécepteurs mesurent le pH du sang et les concentrations d'oxygène et de dioxyde de carbone. Les élèves doivent comprendre le rôle du bulbe rachidien dans la coordination des réponses et l'envoi d'influx nerveux vers le cœur pour changer son volume d'éjection systolique et la fréquence cardiaque.

C3.1.14 – Le rétrocontrôle de la fréquence ventilatoire après la réception d'informations sensorielles provenant des chimiorécepteurs

Les élèves doivent comprendre les causes des changements de pH dans le sang. Ces changements sont mesurés par les chimiorécepteurs dans le tronc cérébral et entraînent le contrôle de la fréquence ventilatoire à l'aide de signaux envoyés au diaphragme et aux muscles intercostaux.

C3.1.16 – Le contrôle du péristaltisme dans le système digestif par le système nerveux central et le système nerveux entérique

Se limiter au déclenchement de la déglutition des aliments et à l'expulsion des fèces sous le contrôle volontaire du système nerveux central ainsi qu'au péristaltisme entre ces étapes du système digestif qui lui est sous le contrôle involontaire du système nerveux entérique. L'action du système nerveux entérique garantit la coordination du passage des substances dans l'intestin.

## Module complémentaire du niveau supérieur

C3.1.17 – Les observations de réponses tropiques dans des semis

**Application des compétences :** les élèves doivent rassembler des données qualitatives, en utilisant des diagrammes pour consigner leurs observations de semis illustrant des réponses tropiques. Ils peuvent également collecter des données quantitatives, en mesurant l'angle de courbure des semis.

**Nature de la science :** les élèves doivent être capables de faire la distinction entre les observations qualitatives et quantitatives, et de comprendre les facteurs qui limitent la précision des mesures et leur exactitude. Les stratégies visant à accroître la précision, l'exactitude et la fiabilité des mesures dans les expériences sur le tropisme peuvent être examinées.

C3.1.18 – Le phototropisme positif en tant que croissance directionnelle en réponse à la lumière latérale dans les pousses de plantes

Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent des exemples précis d'autres tropismes.

C3.1.19 – Les phytohormones en tant que substances chimiques de signalisation contrôlant la croissance, le développement et la réponse aux stimulus chez les plantes

Les élèves doivent savoir que diverses substances chimiques sont utilisées comme phytohormones chez les plantes.

C3.1.20 – Les transporteurs d'efflux d'auxine comme exemple de maintien des gradients de concentration des phytohormones

L'auxine peut diffuser librement dans les cellules végétales, mais pas hors de celles-ci. Les transporteurs d'efflux d'auxine peuvent être situés dans la membrane cellulaire d'un côté de la cellule. Si toutes les cellules s'organisent pour concentrer ces transporteurs du même côté, l'auxine est alors activement transportée de cellule en cellule à travers le tissu végétal et se concentre dans une partie de la plante.

C3.1.21 – La stimulation de la croissance cellulaire par l'auxine

Mentionner la stimulation par l'auxine de la sécrétion d'ions hydrogène dans l'apoplasme, ce qui acidifie la paroi cellulaire et relâche donc les liaisons doubles entre les molécules de cellulose et facilite l'allongement des cellules. Les gradients de concentration d'auxine provoquent les différences de taux de croissance nécessaires pour le phototropisme.

C3.1.22 – Les interactions entre l’auxine et la cytokinine comme moyen de réguler la croissance de la racine et de la pousse

Les élèves doivent comprendre que les extrémités racinaires produisent de la cytokinine, qui est transportée vers les pousses, et que les extrémités des pousses produisent de l’auxine, qui est transportée vers les racines. Les interactions entre ces phytohormones contribuent à garantir que la croissance de la racine et celle de la pousse sont intégrées.

C3.1.23 – La rétroaction positive dans la maturation des fruits et la production d’éthylène

L’éthylène (nom UICPA : éthène) stimule les changements se produisant pendant la maturation des fruits, et la maturation stimule également une production accrue d’éthylène. Les élèves doivent comprendre l’intérêt de ce mécanisme de rétroaction positive, qui garantit la rapidité et la synchronisation de la maturation des fruits.

## Questions transversales

- Quels sont les exemples de modèles d’organisation ramifiée (dendritique) et en réseau (réticulée) ?
- Quelles sont les conséquences de la rétroaction positive dans les systèmes biologiques ?

## C3.2 Les défenses contre les maladies

Interaction et interdépendance – Organismes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 5 heures**

### Questions d’orientation

- Comment les systèmes de l’organisme reconnaissent-ils les agents pathogènes et combattent-ils les infections ?
- Quels facteurs influencent l’incidence des maladies dans les populations ?

### NM et NS

C3.2.1 – Les agents pathogènes en tant que cause des maladies infectieuses

Les élèves doivent comprendre qu’un large éventail d’organismes provoquant des maladies peut infecter les êtres humains. Un organisme provoquant une maladie est appelé « agent pathogène », mais ce terme est généralement réservé aux virus, bactéries, champignons et protistes. Les archées ne sont pas réputées causer des maladies chez les êtres humains.

**Nature de la science :** les élèves doivent comprendre qu’une observation minutieuse peut conduire à des progrès importants. Par exemple, des observations minutieuses faites au cours de l’épidémie de fièvre puerpérale (due à une infection après l’accouchement) à Vienne et de l’épidémie de choléra à Londres, au XIX<sup>e</sup> siècle, ont mené à des progrès décisifs dans le contrôle des maladies infectieuses.

C3.2.2 – La peau et les membranes muqueuses comme défense primaire

La peau constitue une barrière tant physique que chimique contre les agents pathogènes. Il n’est pas nécessaire que les élèves sachent dessiner ou légèrer des diagrammes de la peau.

C3.2.3 – La fermeture des coupures de la peau par coagulation du sang

Inclure la libération de facteurs de coagulation par les plaquettes et les réactions en cascade qui s’ensuivent et qui aboutissent à la conversion rapide du fibrinogène en fibrine par la thrombine ainsi qu’à la rétention des érythrocytes pour former un caillot. Aucun autre détail n’est nécessaire.

C3.2.4 – Les différences entre le système immunitaire inné et le système immunitaire adaptatif

Inclure le fait que le système inné répond à de grandes catégories d'agents pathogènes et qu'il ne change pas durant la vie d'un organisme, alors que le système adaptatif répond de façon spécifique à des agents pathogènes particuliers et développe une mémoire des agents pathogènes rencontrés, afin que la réponse immunitaire devienne plus efficace. Outre les phagocytes, il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent d'autres composantes du système immunitaire inné.

C3.2.5 – Le contrôle des infections par les phagocytes

Inclure le mouvement amoiboïde du sang vers les sites d'infection, où les phagocytes reconnaissent les agents pathogènes, les englobent par endocytose et les digèrent en utilisant les enzymes des lysosomes.

C3.2.6 – Les lymphocytes en tant que cellules du système immunitaire adaptatif coopérant pour produire des anticorps

Les élèves doivent comprendre que les lymphocytes circulent dans le sang et sont contenus dans les ganglions lymphatiques. Il leur faut savoir qu'un individu possède un très grand nombre de lymphocytes B et que chacun d'entre eux produit un type spécifique d'anticorps.

C3.2.7 – Les antigènes en tant que molécules de reconnaissance déclenchant la production d'anticorps

Les élèves doivent savoir que la plupart des antigènes sont des glycoprotéines ou d'autres protéines et qu'ils sont généralement situés sur la surface externe des agents pathogènes. Les antigènes à la surface des érythrocytes peuvent stimuler la production d'anticorps s'ils sont transfusés à une personne de groupe sanguin différent.

C3.2.8 – L'activation des lymphocytes B par les lymphocytes T auxiliaires

Les élèves doivent comprendre qu'il existe des lymphocytes B spécifiques de l'antigène et des lymphocytes T auxiliaires. Les lymphocytes B ne produisent des anticorps et ne deviennent des cellules-mémoire que lorsqu'ils ont été activés. Pour que l'activation ait lieu, il faut à la fois une interaction directe avec l'antigène spécifique et un contact avec un lymphocyte T auxiliaire qui a également été activé par le même type d'antigène.

C3.2.9 – La multiplication des lymphocytes B activés pour former des clones de plasmocytes sécrétant des anticorps

Un nombre relativement petit de lymphocytes B répondent à un antigène spécifique. Pour produire des quantités suffisantes d'anticorps, les lymphocytes B activés se divisent d'abord par mitose pour produire un grand nombre de plasmocytes capables de produire le même type d'anticorps.

C3.2.10 – L'immunité en tant que conséquence de la conservation des cellules-mémoire

Les élèves doivent comprendre que l'immunité est la capacité d'éliminer une maladie infectieuse du corps. Elle est due à la survie à long terme des lymphocytes, qui sont capables de fabriquer les anticorps spécifiques nécessaires pour combattre l'infection. Il s'agit des cellules-mémoire.

C3.2.11 – La transmission du VIH par les liquides corporels

Donner des exemples des mécanismes de transmission du VIH (virus de l'immunodéficience humaine).

C3.2.12 – L'infection des lymphocytes par le VIH avec pour conséquence le développement du sida

Les élèves doivent comprendre que seuls certains types de lymphocytes sont infectés et tués mais qu'une réduction de ces lymphocytes limite la capacité à produire des anticorps et à combattre les infections opportunistes.

C3.2.13 – Les antibiotiques en tant que substances chimiques bloquant les processus ayant lieu dans les bactéries mais pas dans les cellules eucaryotes

Mentionner les raisons pour lesquelles les antibiotiques ne réussissent pas à contrôler les infections virales.

C3.2.14 – L'évolution de la résistance à plusieurs antibiotiques dans les souches de bactéries pathogènes

Les élèves doivent comprendre que l'utilisation judicieuse des antibiotiques est nécessaire pour ralentir l'émergence des bactéries multirésistantes.

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que la mise au point de nouvelles techniques peut mener à de nouveaux axes de recherche. Ainsi, la technique récente consistant à faire des recherches en chimiothèques permet de produire de nouveaux antibiotiques.

C3.2.15 – Les zoonoses en tant que maladies infectieuses d'autres espèces pouvant être transmises aux êtres humains

La prévalence des zoonoses en tant que maladies infectieuses chez les êtres humains et leurs divers modes d'infection doivent être illustrés par plusieurs exemples, dont la tuberculose, la rage et l'encéphalite japonaise. Inclure la COVID-19 comme une maladie infectieuse récemment transmise d'une autre espèce, avec des conséquences graves pour les êtres humains.

C3.2.16 – Les vaccins et l'immunisation

Les élèves doivent comprendre que les vaccins contiennent des antigènes, ou des acides nucléiques (ADN ou ARN) avec des séquences codant pour les antigènes, et qu'ils stimulent le développement de l'immunité contre un agent pathogène spécifique sans provoquer l'apparition de la maladie.

C3.2.17 – L'immunité collective et la prévention des épidémies

Les élèves doivent comprendre que les membres de la population sont interdépendants dans la construction de l'immunité collective. Si un pourcentage suffisant de la population est immunisé contre une maladie, sa transmission s'en trouve grandement entravée.

**Nature de la science :** les scientifiques publient leurs recherches afin que d'autres scientifiques puissent les évaluer. Les médias parlent souvent des recherches alors qu'elles sont encore en cours d'évaluation et le public doit en être conscient. Les vaccins font l'objet de tests rigoureux et les risques d'effets secondaires sont minimes mais pas nuls. La différence entre les vérités pragmatiques et les certitudes est mal comprise.

C3.2.18 – L'évaluation des données relatives à la pandémie de COVID-19

**Application des compétences :** les élèves doivent avoir l'occasion de calculer à la fois des différences de pourcentage et des changements en pourcentage.

*Remarque : il n'y a aucun module complémentaire du niveau supérieur dans le sujet C3.2.*

## Questions transversales

- Comment les animaux se protègent-ils des menaces ?
- Comment les faux positifs et les faux négatifs peuvent-ils être évités dans les tests diagnostiques ?

## C4.1 Les populations et les communautés

Interaction et interdépendance – Écosystèmes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 5 heures**

### Questions d'orientation

- Comment les interactions entre les organismes régulent-elles la taille des populations d'une communauté ?
- Quelles interactions au sein d'une communauté rendent ses populations interdépendantes ?

### NM et NS

C4.1.1 – Les populations en tant que groupes interactifs d'organismes de la même espèce vivant dans une zone

Les élèves doivent comprendre que les membres d'une population se reproduisent généralement et que l'isolement reproductif sert à distinguer une population d'une espèce d'une autre population.

C4.1.2 – L'estimation de la taille d'une population par échantillonnage aléatoire

Les élèves doivent comprendre les raisons pour lesquelles on estime la taille d'une population au lieu de compter chaque individu ainsi que la nécessité du caractère aléatoire des procédures d'échantillonnage.

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que l'utilisation de l'échantillonnage aléatoire, au lieu de compter tous les individus d'une population, entraîne inévitablement une erreur d'échantillonnage. Dans ce cas, la différence entre l'estimation de la taille de la population et la taille réelle de la population entière est l'erreur d'échantillonnage.

C4.1.3 – L'échantillonnage aléatoire de quadrats pour estimer la taille d'une population d'organismes sessiles

Les plantes et les animaux sessiles, dont le nombre d'individus peut être compté, conviennent.

**Application des compétences :** les élèves doivent comprendre ce que l'écart type d'une moyenne indique, mais il n'est pas nécessaire de mémoriser la formule utilisée pour son calcul. Dans cet exemple, l'écart type du nombre moyen d'individus par quadrat pourrait être déterminé à l'aide d'une calculatrice pour donner une mesure de la variation et de l'uniformité de la répartition de la population.

C4.1.4 – La méthode « capture-marquage-libération-recapture » et l'indice de Lincoln pour estimer la taille d'une population d'organismes mobiles

**Application des compétences :** les élèves doivent utiliser l'indice de Lincoln pour estimer la taille d'une population.

Estimation de la taille d'une population =  $M \times \frac{N}{R}$ , où  $M$  est le nombre d'individus initialement capturés et marqués,  $N$  est le nombre total d'individus recapturés et  $R$  est le nombre d'individus marqués qui sont recapturés. Les élèves doivent comprendre les présomptions formulées lors de l'utilisation de cette méthode.

C4.1.5 – La capacité de charge et la compétition pour des ressources limitées

Il est suffisant de fournir une définition simple de la capacité de charge, avec quelques exemples de ressources qui peuvent limiter cette capacité.

C4.1.6 – Le rétrocontrôle négatif de la taille d'une population par des facteurs liés à la densité

Le nombre d'individus dans une population peut fluctuer en raison de facteurs indépendants de la densité, mais les facteurs liés à la densité ramènent généralement la population vers la capacité de charge. Outre la compétition pour des ressources limitées, il faut mentionner le risque accru de prédation et le transfert d'agents pathogènes ou d'espèces nuisibles dans les populations denses.

#### C4.1.7 – Les courbes de croissance démographique

Les élèves doivent réaliser au moins une étude de cas dans un écosystème. Il leur faut comprendre les raisons de la croissance exponentielle dans les phases initiales. Il n'est pas nécessaire de connaître la phase de latence dans une courbe sigmoïde de croissance démographique.

**Nature de la science :** la courbe représente un modèle graphique idéal. Les élèves doivent savoir que les modèles sont souvent des versions simplifiées de systèmes complexes.

**Application des compétences :** les élèves doivent évaluer la croissance d'une population en la comparant au modèle de croissance exponentielle. Pour ce faire, il leur faut utiliser un graphique avec une échelle logarithmique pour la taille de la population sur l'axe vertical et une échelle non logarithmique pour le temps sur l'axe horizontal.

#### C4.1.8 – La modélisation de la courbe sigmoïde de croissance démographique

**Application des compétences :** les élèves doivent collecter des données sur la croissance démographique. Il est recommandé d'utiliser la levure et la lentille d'eau, mais d'autres organismes proliférant dans des conditions expérimentales peuvent être employés.

#### C4.1.9 – La compétition et la coopération dans les relations intraspécifiques

Mentionner les raisons de la compétition intraspécifique au sein d'une population. Présenter également divers exemples réels de compétition et de coopération.

#### C4.1.10 – La communauté en tant qu'ensemble d'organismes interagissant dans un écosystème

Les communautés comprennent toutes les populations d'une zone, dont les plantes, les animaux, les champignons et les bactéries.

#### C4.1.11 – L'alimentation herbivore, la prédation, la compétition interspécifique, le mutualisme, le parasitisme et le pouvoir pathogène en tant que catégories de relations interspécifiques au sein des communautés

Mentionner chaque type d'interaction biotique, en fournissant au moins un exemple.

#### C4.1.12 – Le mutualisme en tant que relation interspécifique profitant aux deux espèces

Utiliser les exemples suivants : les nodules des racines des *Fabaceae* (famille des légumineuses), la mycorhize des *Orchidaceae* (famille des orchidées) et les zooxanthelles des coraux durs. Dans chaque cas, les bénéfices retirés par les deux organismes doivent être présentés.

*Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.*

#### C4.1.13 – La compétition pour les ressources entre les espèces endémiques et les espèces envahissantes

Choisir un exemple local pour illustrer l'avantage compétitif sur les espèces endémiques dans l'acquisition des ressources comme base pour qu'une espèce introduite devienne envahissante.

#### C4.1.14 – Les tests pour déceler la compétition interspécifique

La compétition interspécifique est montrée, mais non prouvée, si une espèce a plus de succès en l'absence d'une autre espèce. Les élèves doivent connaître l'éventail d'approches de recherche possibles : expériences en laboratoire, observations de terrain par échantillonnage aléatoire et manipulation sur le terrain par retrait d'une espèce.

**Nature de la science :** les élèves doivent savoir que les hypothèses sont susceptibles d'être vérifiées à l'aide d'expériences et d'observations, et doivent comprendre la différence entre ces deux processus.

C4.1.15 – L'utilisation du test du Khi carré pour l'association de deux espèces

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables d'appliquer des tests du Khi carré à la présence ou à l'absence de deux espèces sur plusieurs sites d'échantillonnage, en explorant les différences ou les similarités dans la répartition. Cela peut fournir des preuves d'une compétition interspécifique.

C4.1.16 – La relation prédateur-proie comme exemple de contrôle des populations animales en fonction de la densité

Utiliser une étude de cas réelle.

C4.1.17 – Le contrôle descendant et le contrôle ascendant des populations des communautés

Les élèves doivent comprendre que ces deux types de contrôle sont possibles mais que l'un ou l'autre est susceptible d'être dominant dans une communauté.

C4.1.18 – L'allélopathie et la sécrétion d'antibiotiques

Ces deux processus sont similaires en ce sens qu'une substance chimique est libérée dans l'environnement pour décourager une éventuelle compétition. Utiliser un exemple précis pour chaque processus et, dans la mesure du possible, choisir un exemple local.

*Remarque : il n'y a aucun module complémentaire du niveau supérieur dans le sujet C4.1.*

## Questions transversales

- Quels sont les avantages des modèles dans l'étude de la biologie ?
- Quels facteurs peuvent limiter la capacité dans les systèmes biologiques ?

## C4.2 Le transfert de l'énergie et de la matière

Interaction et interdépendance – Écosystèmes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 5 heures**

### Questions d'orientation

- Pour quelle raison la matière peut-elle être recyclée dans les écosystèmes, mais pas l'énergie ?
- Comment l'énergie perdue par chaque groupe d'organismes dans un écosystème est-elle remplacée ?

### NM et NS

C4.2.1 – Les écosystèmes en tant que systèmes ouverts dans lesquels l'énergie et la matière peuvent toutes deux entrer et sortir

Les élèves doivent savoir que, dans les systèmes fermés, seule l'énergie peut entrer et sortir.

C4.2.2 – La lumière du soleil comme source principale d'énergie soutenant la plupart des écosystèmes

Mentionner les exceptions, telles que les écosystèmes situés dans des grottes et sous le niveau de pénétration de la lumière dans les océans.

**Nature de la science :** en science, les lois sont des principes généraux, ou des règles générales, formulés pour décrire des patterns observés dans la nature. Contrairement aux théories, les lois scientifiques ne proposent pas d'explications mais décrivent des phénomènes. À l'instar des théories, elles peuvent être utilisées pour faire des prédictions. Les élèves doivent être capables de résumer les caractéristiques des généralisations utiles.

C4.2.3 – Le flux d'énergie chimique circulant à travers les chaînes alimentaires

Les élèves doivent savoir que l'énergie chimique passe dans un consommateur lorsque ce dernier se nourrit d'un organisme qui était le stade précédent dans une chaîne alimentaire.

C4.2.4 – La construction de chaînes alimentaires et de réseaux alimentaires pour représenter les relations d'alimentation dans une communauté

Représenter les relations dans une communauté locale, dans la mesure du possible. Les flèches indiquent la direction du transfert d'énergie et de biomasse.

C4.2.5 – L'apport d'énergie aux décomposeurs sous forme de composés carbonés dans la matière organique provenant d'organismes morts

Inclure les fèces, les parties mortes d'organismes et les organismes entiers morts.

C4.2.6 – Les autotrophes en tant qu'organismes utilisant des sources d'énergie externes pour synthétiser des composés carbonés à partir de substances inorganiques simples

Les élèves doivent comprendre que l'énergie est nécessaire pour la fixation du carbone et pour les réactions anaboliques qui produisent des macromolécules.

C4.2.7 – L'utilisation de la lumière comme source d'énergie externe chez les photoautotrophes et les réactions d'oxydation comme source d'énergie chez les chimiotrophes

Les élèves doivent comprendre que les réactions d'oxydation libèrent de l'énergie et qu'elles sont donc utiles aux organismes vivants. Utiliser les bactéries oxydant le fer comme exemple de chimiotrophe.

C4.2.8 – Les hétérotrophes en tant qu'organismes utilisant des composés carbonés obtenus à partir d'autres organismes pour synthétiser les composés carbonés dont ils ont besoin

Les élèves doivent savoir que les composés carbonés complexes, tels que les protéines et les acides nucléiques, sont digérés en externe ou en interne, puis sont assimilés en construisant les composés carbonés nécessaires.

C4.2.9 – La libération d'énergie chez les autotrophes et les hétérotrophes par oxydation des composés carbonés dans la respiration cellulaire

Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent les photohétérotrophes.

C4.2.10 – La classification des organismes en niveaux trophiques

Utiliser les termes « producteur », « consommateur primaire », « consommateur secondaire » et « consommateur tertiaire ». Les élèves doivent savoir que beaucoup d'organismes ont un régime alimentaire varié et qu'ils occupent différents niveaux trophiques dans différentes chaînes alimentaires.

C4.2.11 – La construction de pyramides des énergies

**Application des compétences** : les élèves doivent utiliser les données de recherche relatives à des écosystèmes spécifiques pour représenter le transfert d'énergie et la perte d'énergie entre les niveaux trophiques des chaînes alimentaires.

C4.2.12 – La réduction de la disponibilité de l'énergie à chaque étape successive des chaînes alimentaires en raison de grandes pertes d'énergie entre les niveaux trophiques

Les décomposeurs et les détritivores ne sont généralement pas considérés comme des éléments des chaînes alimentaires. Cependant, les élèves doivent comprendre le rôle joué par ces organismes dans les transformations de l'énergie au sein des chaînes alimentaires. Examiner les causes de la perte d'énergie.

C4.2.13 – La perte de chaleur dans l'environnement chez les autotrophes et les hétérotrophes en raison de la conversion de l'énergie chimique en chaleur dans la respiration cellulaire

Mentionner le fait que les transferts d'énergie ne sont pas efficaces à 100 % et que de la chaleur est donc émise lorsque l'ATP est produite lors de la respiration cellulaire et lorsqu'elle est utilisée dans les cellules.

C4.2.14 – Les restrictions du nombre de niveaux trophiques dans les écosystèmes en raison des pertes d'énergie

À chaque étape successive des chaînes alimentaires, il y a moins d'organismes ou des organismes plus petits. Par conséquent, il y a moins de biomasse, mais le contenu énergétique par unité de masse n'est pas réduit.

C4.2.15 – La production primaire en tant qu'accumulation de composés carbonés dans la biomasse par les autotrophes

Les unités doivent être la masse (de carbone) par unité de surface et par unité de temps, et sont en général  $\text{g m}^{-2} \text{an}^{-1}$ . Les élèves doivent comprendre que la capacité des biomes à accumuler de la biomasse varie. La biomasse s'accumule lorsque les autotrophes et les hétérotrophes se développent ou se reproduisent.

C4.2.15 – La production secondaire en tant qu'accumulation de composés carbonés dans la biomasse par les hétérotrophes

Les élèves doivent comprendre que la production secondaire est inférieure à la production primaire dans un écosystème en raison de la perte de biomasse lors de la conversion des composés carbonés en dioxyde de carbone et en eau dans la respiration cellulaire.

C4.2.17 – La construction de diagrammes du cycle du carbone

Les élèves doivent illustrer à l'aide d'un diagramme la façon dont le carbone est recyclé dans les écosystèmes par la photosynthèse, l'alimentation et la respiration.

C4.2.18 – Les écosystèmes en tant que puits de carbone et sources de carbone

Lorsque la photosynthèse dépasse la respiration, il y a une absorption nette de dioxyde de carbone et lorsque la respiration dépasse la photosynthèse, il y a une libération nette de dioxyde de carbone.

C4.2.19 – La libération de dioxyde de carbone dans l'atmosphère durant la combustion de la biomasse, de la tourbe, du charbon, du pétrole et du gaz naturel

Les élèves doivent savoir que la date de formation de ces puits de carbone varie et que leur combustion survient parfois naturellement après que la foudre frappe, mais que les activités humaines ont considérablement augmenté les taux de combustion.

C4.2.20 – L'analyse de la courbe de Keeling pour ce qui est de la photosynthèse, de la respiration et de la combustion

Inclure l'analyse des fluctuations annuelles et de la tendance à long terme.

C4.2.21 – La dépendance de la respiration aérobie à l'oxygène atmosphérique produit par la photosynthèse et de la photosynthèse au dioxyde de carbone atmosphérique produit par la respiration

Les flux annuels sont énormes et il y a donc une interaction très importante entre les autotrophes et les hétérotrophes.

C4.2.22 – Le recyclage de tous les éléments chimiques nécessaires aux organismes vivants dans les écosystèmes

Les élèves doivent savoir que tous les éléments utilisés par les organismes vivants sont recyclés, et pas uniquement le carbone, et que les décomposeurs jouent un rôle essentiel. Il n'est pas nécessaire de connaître les détails du cycle de l'azote et d'autres cycles de nutriments.

*Remarque : il n'y a aucun module complémentaire du niveau supérieur dans le sujet C4.2.*

## Questions transversales

- Quelles sont les conséquences directes et indirectes de l'augmentation des niveaux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère ?
- Comment la transformation de l'énergie d'une forme à une autre rend-elle possible les processus biologiques ?

## D1.1 La réplication de l'ADN

Continuité et changement – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 2 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Comment le nouvel ADN est-il produit ?
- Comment la connaissance de la réplication de l'ADN a-t-elle permis des applications en biotechnologie ?

## NM et NS

D1.1.1 – La réplication de l'ADN en tant que production de copies exactes de l'ADN avec des séquences de bases identiques

Les élèves doivent savoir que la réplication de l'ADN est nécessaire à la reproduction ainsi qu'à la croissance et au remplacement des tissus chez les organismes multicellulaires.

D1.1.2 – La nature semi-conservative de la réplication de l'ADN et le rôle de l'appariement des bases complémentaires

Les élèves doivent comprendre que ces processus permettent un haut degré d'exactitude lors de la copie des séquences de bases.

D1.1.3 – Le rôle de l'hélicase et de l'ADN polymérase dans la réplication de l'ADN

Se limiter au rôle de l'hélicase dans le déroulement des deux brins d'ADN et la rupture des liaisons hydrogène entre ces brins ainsi qu'au rôle général de l'ADN polymérase.

D1.1.4 – La réaction en chaîne par polymérase et l'électrophorèse sur gel en tant qu'outils pour l'amplification et la séparation de l'ADN

Les élèves doivent comprendre l'utilisation des amorces, des changements de température et de la *Taq* polymérase dans la réaction en chaîne par polymérase (PCR) et le fondement de la séparation des fragments d'ADN dans l'électrophorèse sur gel.

D1.1.5 – Les applications de la réaction en chaîne par polymérase et de l'électrophorèse sur gel

Les élèves doivent avoir conscience du large éventail d'applications, dont le profilage de l'ADN pour la recherche de maternité ou de paternité et les enquêtes médico-légales.

**Nature de la science :** la fiabilité est améliorée en augmentant le nombre de mesures lors d'une expérience ou d'un test. Lors du profilage de l'ADN, l'augmentation du nombre de marqueurs utilisés réduit la probabilité d'une correspondance erronée.

## Module complémentaire du niveau supérieur

D1.1.6 – L'orientation des ADN polymérases

Les élèves doivent comprendre la différence entre les extrémités 5' et 3' des brins de nucléotides. Il leur faut également comprendre que les ADN polymérases ajoutent l'extrémité 5' d'un nucléotide d'ADN à l'extrémité 3' d'un brin de nucléotides.

D1.1.7 – Les différences entre la réplication sur le brin directeur et le brin discontinu

Utiliser les termes « continu », « discontinu » et « fragments d'Okazaki ». Les élèves doivent savoir que la réplication doit débuter par une amorce d'ARN une seule fois sur le brin directeur, mais à maintes reprises sur le brin discontinu.

D1.1.8 – Les fonctions de l'ADN primase, de l'ADN polymérase I, de l'ADN polymérase III et de l'ADN ligase dans la réplication

Se limiter au système procaryotique.

D1.1.9 – La correction sur épreuves de l'ADN

Se limiter à l'action de l'ADN polymérase III, qui enlève tout nucléotide de l'extrémité 3' avec une base mal appariée, suivie du remplacement par un nucléotide correctement apparié.

## Questions transversales

- Comment la continuité génétique est-elle assurée entre les générations ?
- Quels mécanismes biologiques reposent sur l'orientation ?

## D1.2 La synthèse des protéines

Continuité et changement – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 3 heures**

## Questions d'orientation

- Comment une cellule produit-elle une séquence d'acides aminés à partir d'une séquence de bases d'ADN ?
- Comment la fiabilité de la synthèse des protéines est-elle assurée ?

## NM et NS

D1.2.1 – La transcription en tant que synthèse de l'ARN à l'aide d'une matrice d'ADN

Les élèves doivent comprendre les rôles de l'ARN polymérase dans ce processus.

D1.2.2 – Le rôle des liaisons hydrogène et de l'appariement des bases complémentaires dans la transcription

Mentionner l'appariement de l'adénine (A) de la matrice d'ADN avec l'uracile (U) dans le brin d'ARN.

D1.2.3 – La stabilité des matrices d'ADN

Un seul brin d'ADN peut être utilisé comme matrice pour transcrire une séquence de bases, sans que la séquence de bases d'ADN ne change. Dans les cellules somatiques qui ne se divisent pas, ces séquences doivent être conservées pendant toute la durée de vie de la cellule.

D1.2.4 – La transcription en tant que processus nécessaire à l'expression des gènes

Se limiter à la compréhension du fait que tous les gènes d'une cellule ne sont pas exprimés à tout moment et que la transcription, en tant que première étape de l'expression génique, est une étape essentielle au cours de laquelle l'expression d'un gène peut être activée ou désactivée.

D1.2.5 – La traduction en tant que synthèse des polypeptides à partir de l'ARNm

La séquence de bases de l'ARNm est traduite en séquence d'acides aminés d'un polypeptide.

D1.2.6 – Les rôles de l'ARNm, des ribosomes et de l'ARNt dans la traduction

Les élèves doivent savoir que l'ARNm se lie à la petite sous-unité du ribosome et que deux ARNt peuvent se lier simultanément à la grande sous-unité.

D1.2.7 – L'appariement des bases complémentaires entre l'ARNt et l'ARNm

Utiliser les termes « codon » et « anticodon ».

D1.2.8 – Les caractéristiques du code génétique

Les élèves doivent comprendre la raison d'être d'un code de triplets. Il leur faut aussi comprendre et utiliser les termes « dégénérescence » et « universalité ».

D1.2.9 – L'utilisation du code génétique exprimé sous forme de tableau de codons de l'ARNm

Les élèves doivent être capables de déduire la séquence d'acides aminés codés par un brin d'ARNm.

D1.2.10 – Le déplacement séquentiel du ribosome le long de l'ARNm et l'accrochage des acides aminés par liaison peptidique à la chaîne grandissante de polypeptides

Se concentrer sur l'élongation du polypeptide plutôt que sur l'initiation et la terminaison.

D1.2.11 – Les mutations modifiant la structure des protéines

Utiliser un exemple de mutation ponctuelle ayant une incidence sur la structure des protéines.

## Module complémentaire du niveau supérieur

D1.2.12 – Orientation de la transcription et de la traduction

Les élèves doivent comprendre la signification des expressions « transcription dans le sens 5' vers 3' » et « traduction dans le sens 5' vers 3' ».

D1.2.13 – L'initiation de la transcription au niveau du promoteur

Prendre pour exemple les facteurs de transcription qui se lient au promoteur. Toutefois, il n'est pas nécessaire que les élèves sachent nommer les facteurs de transcription.

D1.2.14 – Les séquences non codantes de l'ADN ne codent pas pour des polypeptides

Les exemples doivent se limiter aux régulateurs de l'expression génique, aux introns, aux télomères et aux gènes pour les ARNr et les ARNt chez les eucaryotes.

D1.2.15 – La modification post-transcriptionnelle dans les cellules eucaryotes

Mentionner l'excision des introns et l'épissage des exons pour former l'ARNm mature ainsi que l'ajout de coiffes à l'extrémité 5' et de queues polyA à l'extrémité 3' des ARNm pour stabiliser les transcrits.

D1.2.16 – L'épissage alternatif des exons pour produire des variants d'une protéine à partir d'un seul gène

Utiliser l'épissage alternatif des transcrits du gène de la troponine T dans le muscle cardiaque fœtal et adulte comme exemple.

D1.2.17 – L'initiation de la traduction

Inclure la liaison de la petite sous-unité du ribosome avec l'extrémité 5' de l'ARNm, le déplacement vers le codon d'initiation, l'ARNt initiateur et un autre ARNt, et l'accrochage de la grande sous-unité. Les élèves doivent comprendre les rôles des trois sites de liaison (A, P et E) pour l'ARNt sur le ribosome durant l'élongation.

D1.2.18 – La modification des polypeptides en vue d'atteindre leur état fonctionnel

Les élèves doivent savoir que beaucoup de polypeptides ont besoin d'être modifiés avant de pouvoir fonctionner. Parmi les exemples choisis, il faut inclure celui de la modification en deux étapes de la préproinsuline en insuline.

D1.2.19 – Le recyclage des acides aminés par les protéasomes

Se limiter à la compréhension du fait que le maintien d'un protéome fonctionnel nécessite une dégradation et une synthèse continues des protéines.

## Questions transversales

- Comment la diversité des protéines produites contribue-t-elle au fonctionnement d'une cellule ?
- Quels processus biologiques dépendent des liaisons hydrogène ?

## D1.3 La mutation et la modification génomique

Continuité et changement – Molécules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Comment les mutations génétiques se produisent-elles ?
- Quelles sont les conséquences de la mutation génétique ?

### NM et NS

D1.3.1 – Les mutations génétiques en tant que changements dans la structure des gènes au niveau moléculaire

Faire la distinction entre les substitutions, les insertions et les délétions.

D1.3.2 – Les conséquences des substitutions de bases

Les élèves doivent comprendre que les polymorphismes mononucléotidiques (SNP) sont le résultat de mutations par substitution de bases et que la dégénérescence du code génétique fait qu'ils peuvent ou pas modifier un seul acide aminé d'un polypeptide.

D1.3.3 – Les conséquences des insertions et des délétions

Inclure la probabilité que les polypeptides cessent de fonctionner, en raison de décalages du cadre de lecture ou encore d'insertions ou de délétions majeures. Utiliser les répétitions de trinuéclotides du gène *HTT* comme exemple d'insertion et la mutation delta-32 du gène *CCR5* comme exemple de délétion.

D1.3.4 – Les causes de la mutation génétique

Les élèves doivent comprendre que la mutation génétique peut être causée par des mutagènes et par des erreurs dans la réplication ou la réparation de l'ADN. Donner des exemples de mutagènes chimiques et de formes de radiations mutagènes.

D1.3.5 – Le caractère aléatoire de la mutation

Les élèves doivent comprendre que les mutations peuvent survenir partout dans les séquences de bases d'un génome, même si certaines bases ont une plus forte probabilité de muter que d'autres. Il leur faut également comprendre qu'aucun mécanisme naturel n'est connu pour apporter un changement délibéré à une base particulière dans le but de changer un caractère.

D1.3.6 – Les conséquences de la mutation dans les cellules germinales et les cellules somatiques

Inclure la transmission héréditaire des gènes mutés dans les cellules germinales et du cancer dans les cellules somatiques.

D1.3.7 – La mutation en tant que source de variation génétique

Les élèves doivent savoir que la mutation génétique est la source originale de toutes les variations génétiques. Bien que la plupart des mutations soient nocives ou neutres pour un organisme, elles sont essentielles à long terme pour l'évolution de l'espèce par sélection naturelle.

**Nature de la science :** les tests génétiques commerciaux peuvent donner des informations sur les risques potentiels en matière de santé et de maladies. Cependant, sans l'interprétation d'un ou une spécialiste, ces informations pourraient se révéler problématiques.

## Module complémentaire du niveau supérieur

D1.3.8 – L'inactivation génique en tant que technique pour étudier la fonction d'un gène en le modifiant pour le rendre inopérant

Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent les détails des techniques. Il leur faut savoir qu'une bibliothèque d'organismes ayant un ou plusieurs gènes inactivés est disponible pour certaines espèces utilisées comme modèles dans la recherche.

D1.3.9 – L'utilisation des séquences CRISPR et de l'enzyme Cas9 dans la modification génomique

Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent le rôle du système CRISPR-Cas chez les procaryotes. Il leur faut cependant connaître un exemple d'utilisation réussie de cette technique.

**Nature de la science :** certaines utilisations potentielles de la CRISPR soulèvent des questions éthiques qui doivent être examinées avant leur concrétisation. Les élèves doivent comprendre que des systèmes de réglementation différents s'appliquent aux scientifiques du monde entier. C'est la raison pour laquelle il existe un effort international pour harmoniser la réglementation en matière d'utilisation des technologies de modification génomique, comme la CRISPR.

D1.3.10 – Les hypothèses expliquant les séquences conservées ou hautement conservées dans les gènes

Les séquences conservées sont identiques ou similaires dans une espèce ou un groupe d'espèces. Les séquences hautement conservées sont identiques ou similaires sur de longues périodes d'évolution. Deux hypothèses sont avancées pour ce mécanisme : la nécessité des produits géniques pour le bon fonctionnement de l'organisme et les taux de mutation plus lents.

## Questions transversales

- Comment la sélection naturelle peut-elle conduire à la fois à une réduction de variation et à une augmentation de la diversité biologique ?
- Comment la variation de la composition des sous-unités des polymères contribue-t-elle à la fonction ?

## D2.1 La division cellulaire et la division nucléaire

Continuité et changement – Cellules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 1 heure**

### Questions d'orientation

- Comment est-il possible de produire un grand nombre de cellules génétiquement identiques ?
- Comment les eucaryotes produisent-ils des cellules génétiquement variées pouvant se développer en gamètes ?

## NM et NS

D2.1.1 – La production de nouvelles cellules chez les organismes vivants par la division cellulaire

Chez tous les organismes vivants, une cellule-parent (souvent appelée « cellule-mère ») se divise pour produire deux cellules-filles.

## D2.1.2 – La cytokinèse en tant que scission du cytoplasme de la cellule-parent en cellules-filles

Les élèves doivent savoir que la cellule animale comporte un anneau contractile, composé de protéines d'actine et de myosine, qui pince la membrane cellulaire pour scinder le cytoplasme, alors que les vésicules de la cellule végétale assemblent les sections de la membrane et la paroi cellulaire pour parvenir à la scission.

## D2.1.3 – La cytokinèse égale et inégale

Mentionner le fait que la division du cytoplasme est généralement égale (mais pas dans tous les cas) et que les deux cellules-filles doivent recevoir au moins une mitochondrie et tout autre organite qui ne peut être produit qu'en divisant une structure préexistante. Utiliser également l'ovogenèse chez les êtres humains et le bourgeonnement chez les levures comme exemples de cytokinèse inégale.

## D2.1.4 – Les rôles de la mitose et de la méiose chez les eucaryotes

Insister sur le fait que la division nucléaire est nécessaire avant que la division cellulaire ait lieu pour éviter la production de cellules anucléées. La mitose maintient le nombre de chromosomes et le génome des cellules, tandis que la méiose réduit de moitié le nombre de chromosomes et produit une diversité génétique.

## D2.1.5 – La réplication de l'ADN en tant que condition préalable de la mitose et de la méiose

Les élèves doivent comprendre que, après la réplication, chaque chromosome consiste en deux molécules d'ADN allongées (chromatides), maintenues ensemble par un centromère.

## D2.1.6 – La condensation et le déplacement des chromosomes en tant que caractéristiques communes à la mitose et la méiose

Mentionner le rôle des histones dans la condensation de l'ADN par surenroulement ainsi que l'utilisation des microtubules et des moteurs moléculaires pour déplacer les chromosomes.

## D2.1.7 – Les phases de la mitose

Les élèves doivent connaître les noms des phases et savoir que le processus dans son ensemble produit deux cellules-filles génétiquement identiques.

## D2.1.8 – L'identification des phases de la mitose

**Application des compétences :** les élèves doivent identifier les phases de la mitose, en utilisant des diagrammes ainsi que des cellules observées au microscope ou sur une photographie prise au microscope.

## D2.1.9 – La méiose en tant que division réductionnelle

Les élèves doivent comprendre les termes « diploïde » et « haploïde » ainsi que la façon dont les deux divisions de la méiose produisent quatre noyaux haploïdes à partir d'un noyau diploïde. Il leur faut également comprendre la nécessité de la méiose dans un cycle de vie sexué. Les élèves doivent être capables de résumer les deux cycles de ségrégation de la méiose.

## D2.1.10 – Le syndrome de Down et la non-disjonction

Utiliser le syndrome de Down comme exemple d'erreur au cours de la méiose.

## D2.1.11 – La méiose en tant que source de variation

Les élèves doivent comprendre que la méiose produit une diversité génétique par l'orientation aléatoire des chromosomes homologues et par l'enjambement.

## Module complémentaire du niveau supérieur

D2.1.12 – La prolifération cellulaire pour la croissance, le remplacement des cellules et la réparation des tissus

Utiliser la prolifération pour la croissance dans les méristèmes des plantes et les embryons animaux au stade précoce comme exemples. Utiliser la peau comme exemple de prolifération cellulaire durant le remplacement systématique des cellules et pendant la cicatrisation des blessures. Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent les détails de la structure de la peau.

D2.1.13 – Les phases du cycle cellulaire

Les élèves doivent comprendre que la prolifération cellulaire s'effectue à l'aide du cycle cellulaire. Il leur faut également comprendre la suite des étapes, notamment les phases G1, S et G2 de l'interphase, suivies de la mitose puis de la cytokinèse.

D2.1.14 – La croissance cellulaire durant l'interphase

Les élèves doivent savoir que l'interphase est une période active sur le plan métabolique et que la croissance implique une biosynthèse des composantes cellulaires, dont les protéines et l'ADN. Le nombre de mitochondries et de chloroplastes est augmenté par la croissance et la division de ces organites.

D2.1.15 – Le contrôle du cycle cellulaire à l'aide des cyclines

Se limiter à l'augmentation et à la diminution de la concentration des différentes cyclines durant le cycle cellulaire ainsi qu'au niveau seuil d'une cycline particulière nécessaire pour passer d'une phase du cycle cellulaire à la suivante. Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent en détail le rôle de chaque cycline particulière.

D2.1.16 – Les conséquences des mutations des gènes contrôlant le cycle cellulaire

Inclure les mutations des proto-oncogènes les convertissant en oncogènes et les mutations des gènes suppresseurs de tumeurs, qui entraînent une division cellulaire incontrôlée.

D2.1.17 – Les différences entre les tumeurs pour ce qui est de leurs taux de division et de croissance cellulaires ainsi que de leur capacité de métastase et d'invasion des tissus environnants

Utiliser les termes « bénin », « malin », « tumeur primitive » et « tumeur secondaire », et faire la distinction entre les tumeurs qui provoquent un cancer et celles qui n'en provoquent pas.

**Application des compétences :** les élèves doivent observer des populations de cellules pour déterminer l'indice mitotique.

## Questions transversales

- Quels processus permettent la croissance des organismes ?
- Comment la variation produite par la reproduction sexuée contribue-t-elle à l'évolution ?

## D2.2 L'expression génique

Continuité et changement – Cellules

**Module complémentaire du niveau supérieur : 3 heures**

## Questions d'orientation

- Comment l'expression génique est-elle modifiée dans une cellule ?
- Comment les patterns d'expression génique peuvent-ils être conservés grâce à l'hérédité ?

## Module complémentaire du niveau supérieur

Remarque : il n'y a aucun contenu pour le NM dans le sujet D2.2.

D2.2.1 – L'expression génique en tant que mécanisme permettant aux informations contenues dans les gènes d'avoir un effet sur le phénotype

Les élèves doivent savoir que les étapes les plus courantes de ce processus sont la transcription et la traduction, et connaître la fonction d'un produit protéique, tel qu'une enzyme.

D2.2.2 – La régulation de la transcription par les protéines qui se lient à des séquences de bases spécifiques dans l'ADN

Mentionner le rôle des promoteurs, des amplificateurs et des facteurs de transcription.

D2.2.3 – Le contrôle de la dégradation de l'ARNm comme moyen de réguler la traduction

Dans les cellules humaines, l'ARNm peut persister pendant des périodes allant de quelques minutes à plusieurs jours, avant d'être dégradé par les nucléases.

D2.2.4 – L'épigénèse en tant que développement de patterns de différenciation dans les cellules d'un organisme multicellulaire

Insister sur le fait que les séquences de bases de l'ADN ne sont pas altérées par les modifications épigénétiques et que, par conséquent, le phénotype est modifié, mais pas le génotype.

D2.2.5 – Les différences entre le génome, le transcriptome et le protéome de chaque cellule

Aucune cellule n'exprime tous ses gènes. Le pattern d'expression génique dans une cellule détermine la façon dont elle se différencie.

D2.2.6 – La méthylation du promoteur et des histones dans les nucléosomes comme exemples de marques épigénétiques

La méthylation de la cytosine de l'ADN d'un promoteur réprime la transcription, et donc l'expression, du gène en aval.

La méthylation des acides aminés des histones peut provoquer la répression ou l'activation de la transcription. Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent dans le détail la façon dont cela se produit.

D2.2.7 – L'hérédité épigénétique par les modifications héréditaires de l'expression génique

Se limiter à la possibilité que des modifications phénotypiques dans une cellule ou un organisme soient transmises aux cellules-filles ou à la descendance sans modification de la séquence nucléotidique de l'ADN. Cela peut se produire si les marqueurs épigénétiques, tels que la méthylation de l'ADN ou la modification des histones, restent en place durant la mitose ou la méiose.

D2.2.8 – Les exemples d'effets environnementaux sur l'expression génique dans les cellules et les organismes

Utiliser la modification des marqueurs de méthylation sur l'ADN en réponse à la pollution atmosphérique comme exemple.

D2.2.9 – Les conséquences du retrait de la plus grande partie des marqueurs épigénétiques de l’ovule et du sperme

Les élèves peuvent montrer ces conséquences en présentant les origines épigénétiques des différences phénotypiques chez les tigrons et les ligres (hybrides lions-tigres).

D2.2.10 – Les études sur les jumeaux monozygotes

Se limiter à l’étude des effets de l’environnement sur l’expression génique.

D2.2.11 – Les facteurs externes ayant une incidence sur le pattern d’expression génique

Se limiter à un exemple d’hormone et à un exemple de substance biochimique, telle que le lactose ou le tryptophane dans les bactéries.

## Questions transversales

- Quels sont les mécanismes d’inhibition dans les systèmes biologiques ?
- De quelles façons l’environnement stimule-t-il la diversification ?

## D2.3 Le potentiel hydrique

Continuité et changement – Cellules

**Niveau moyen et niveau supérieur : 2 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d’orientation

- Quels facteurs influencent le mouvement de l’eau vers ou hors des cellules ?
- Comment les cellules animales et végétales diffèrent-elles dans leur régulation du mouvement de l’eau ?

## NM et NS

D2.3.1 – La solvatation avec l’eau comme solvant

Inclure la formation de liaisons hydrogène entre le soluté et les molécules d’eau ainsi que l’attraction entre les deux ions chargés positivement et négativement et les molécules d’eau polaires.

D2.3.2 – Le mouvement de l’eau des solutions moins concentrées vers les solutions plus concentrées

Les élèves doivent exprimer la direction du mouvement en fonction de la concentration du soluté, et non de la concentration de l’eau. Il leur faut utiliser les termes « hypertonique », « hypotonique » et « isotonique » pour comparer les concentrations des solutions.

D2.3.3 – Le mouvement de l’eau vers ou hors des cellules par osmose

Les élèves doivent être capables de prédire la direction du mouvement net de l’eau si l’environnement de la cellule est hypotonique ou hypertonique. Il leur faut comprendre que, dans un environnement isotonique, il y a un équilibre dynamique plutôt qu’une absence de mouvement de l’eau.

D2.3.4 – Les changements dus au mouvement de l’eau dans les tissus végétaux baignant dans des solutions hypotoniques et ceux baignant dans des solutions hypertoniques

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de mesurer les changements de longueur et de masse des tissus, et d’analyser des données pour déduire la concentration des solutés

isotoniques. Il leur faut également être capables d'utiliser l'écart type et l'erreur type pour faciliter l'analyse des données. Il n'est pas nécessaire de mémoriser les formules pour le calcul de ces statistiques. L'écart type et l'erreur type pourraient être déterminés pour les résultats de cette expérience si des répétitions étaient faites pour chaque concentration. Cela permettrait de comparer la fiabilité des mesures de longueur et de masse. L'erreur type pourrait être montrée graphiquement sous forme de barres d'erreur.

#### D2.3.5 – Les effets du mouvement de l'eau sur les cellules sans paroi cellulaire

Inclure le gonflement et l'éclatement dans un milieu hypotonique ainsi que le rétrécissement et la crénelure dans un milieu hypertonique. Mentionner également la nécessité d'éliminer l'eau par des vacuoles contractiles chez les organismes unicellulaires d'eau douce et la nécessité de maintenir un liquide tissulaire isotonique chez les organismes multicellulaires, afin d'éviter des changements néfastes.

#### D2.3.6 – Les effets du mouvement de l'eau sur les cellules avec paroi cellulaire

Inclure le développement de la pression de turgescence dans un milieu hypotonique et la plasmolyse dans un milieu hypertonique.

#### D2.3.7 – Les applications médicales des solutions isotoniques

Utiliser les solutions intraveineuses administrées dans le cadre d'un traitement médical et le produit dans lequel baignent les organes prêts à être transplantés comme exemples.

## Module complémentaire du niveau supérieur

#### D2.3.8 – Le potentiel hydrique en tant qu'énergie potentielle de l'eau par unité de volume

Les élèves doivent comprendre qu'il est impossible de mesurer la quantité absolue d'énergie potentielle de l'eau et qu'il faut donc utiliser les valeurs relatives à l'eau pure à la pression atmosphérique et à 20 °C. L'unité est généralement le kilopascal (kPa).

#### D2.3.9 – Le mouvement de l'eau d'un potentiel hydrique supérieur à un potentiel hydrique inférieur

Les élèves doivent connaître les raisons de ce mouvement pour ce qui est de l'énergie potentielle.

#### D2.3.10 – Les contributions du potentiel osmotique et du potentiel de pression au potentiel hydrique des cellules à paroi

L'équation  $\psi_w = \psi_s + \psi_p$  doit être utilisée. Les élèves doivent savoir que les potentiels osmotiques peuvent aller de zéro à une valeur négative et que les potentiels de pression sont généralement positifs à l'intérieur des cellules, même si des potentiels de pression négatifs se retrouvent dans les vaisseaux du xylème où la sève élaborée est transportée sous tension.

#### D2.3.11 – Le potentiel hydrique et les mouvements de l'eau dans les tissus végétaux

Les élèves doivent être capables d'expliquer les changements qui se produisent lorsque les tissus végétaux baignent dans une solution hypotonique ou hypertonique pour ce qui est du potentiel osmotique et du potentiel de pression.

## Questions transversales

- Quelles variables influencent la direction du déplacement des matériaux dans les tissus ?
- Quelles sont les implications pour les organismes vivants des différences de solubilité entre les substances chimiques ?

## D3.1 La reproduction

Continuité et changement – Organismes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 5 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 3 heures**

### Questions d'orientation

- Comment la reproduction asexuée ou la reproduction sexuée illustre-t-elle le thème du changement ou de la continuité ?
- Quels changements doivent se produire au sein des organismes pour la reproduction ?

### NM et NS

D3.1.1 – Les différences entre la reproduction asexuée et la reproduction sexuée

Indiquer ces avantages relatifs : la reproduction asexuée permet à des individus adaptés à un environnement existant de produire une descendance génétiquement identique et la reproduction sexuée permet de produire une descendance possédant de nouvelles combinaisons de gènes et donc la variation nécessaire à l'adaptation à un environnement modifié.

D3.1.2 – Le rôle de la méiose et de la fusion des gamètes dans le cycle de vie sexué

Les élèves doivent savoir que la méiose sépare les combinaisons parentales d'allèles et que la fusion des gamètes produit de nouvelles combinaisons. La fusion des gamètes est aussi appelée « fécondation ».

D3.1.3 – Les différences entre le sexe masculin et le sexe féminin dans la reproduction sexuée

Inclure la différence principale que le gamète mâle voyage jusqu'au gamète femelle. Il est donc plus petit et possède moins de réserves nutritives que le gamète femelle. Il en découle des différences dans le nombre de gamètes et les stratégies de reproduction des mâles et des femelles.

D3.1.4 – L'anatomie des systèmes reproducteurs mâle et femelle chez les êtres humains

Les élèves doivent être capables de dessiner des schémas des systèmes reproducteurs mâle et femelle typiques, et de les annoter en indiquant les noms des structures et leurs fonctions.

D3.1.5 – Les changements au cours du cycle ovarien et du cycle utérin, et leur régulation hormonale

Indiquer les rôles de l'œstradiol, de la progestérone, de l'hormone lutéinisante (LH), de l'hormone folliculostimulante (FSH) ainsi que des rétroactions positives et négatives. Ensemble, le cycle ovarien et le cycle utérin constituent le cycle menstruel.

D3.1.6 – La fécondation humaine

Mentionner la fusion de la membrane cellulaire d'un spermatozoïde et de la membrane d'un ovule, et l'entrée dans l'ovule du noyau du spermatozoïde avec la destruction du flagelle et des mitochondries. Mentionner également la dissolution des membranes nucléaires des noyaux du spermatozoïde et de l'ovule ainsi que la participation de tous les chromosomes condensés à une mitose commune pour produire deux noyaux diploïdes.

D3.1.7 – L'utilisation des hormones dans le traitement de la fécondation in vitro (FIV)

La sécrétion normale d'hormones est suspendue et des doses artificielles d'hormones déclenchent une superovulation.

## D3.1.8 – La reproduction sexuée chez les plantes à fleurs

Inclure la production de gamètes à l'intérieur des ovules et des grains de pollen, la pollinisation, le développement du pollen et la fécondation pour produire un embryon. Les élèves doivent comprendre que la reproduction chez les plantes à fleurs est sexuée, même si une espèce de plante est hermaphrodite.

## D3.1.9 – Les caractéristiques d'une fleur pollinisée par les insectes

Les élèves doivent dessiner des schémas annotés indiquant les noms des structures et leurs fonctions.

## D3.1.10 – Les méthodes pour favoriser la pollinisation croisée

Mentionner les temps de maturation différents pour le pollen et le stigmate ainsi que le fait que les fleurs ou les plantes mâles et femelles sont séparées. Inclure également le rôle des animaux et du vent dans le transport du pollen d'une plante à l'autre.

## D3.1.11 – Les mécanismes d'auto-incompatibilité pour accroître la variation génétique au sein d'une espèce

Les élèves doivent comprendre que l'autopollinisation conduit à la consanguinisation, qui diminue la diversité et la vigueur génétiques. Il leur faut également comprendre que les mécanismes génétiques de nombreuses espèces végétales garantissent que les gamètes mâles et femelles fusionnant lors de la fécondation proviennent de plantes différentes.

## D3.1.12 – La dispersion et la germination des graines

Distinguer la dispersion des graines de la pollinisation, et mentionner la croissance et le développement de l'embryon ainsi que la mobilisation des réserves nutritives.

## Module complémentaire du niveau supérieur

## D3.1.13 – Le contrôle des changements développementaux de la puberté par la gonadolibérine et les hormones sexuelles stéroïdes

Il faut se limiter à la libération accrue de gonadolibérine (Gn-RH) par l'hypothalamus dans l'enfance, qui déclenche le début de la sécrétion accrue de l'hormone lutéinisante (LH) et de l'hormone folliculostimulante (FSH). Par la suite, la production accrue des hormones sexuelles entraîne les changements associés à la puberté.

## D3.1.14 – La spermatogenèse et l'ovogenèse chez les êtres humains

Inclure la mitose, la croissance cellulaire, les deux divisions de la méiose et la différenciation. Les élèves doivent comprendre que la gamétogenèse dans un corps masculin et un corps féminin typiques aboutit à des nombres différents de spermatozoïdes et d'ovules ainsi qu'à des quantités différentes de cytoplasme.

## D3.1.15 – Les mécanismes pour empêcher la polyspermie

La réaction acrosomique permet à un spermatozoïde de pénétrer la zone pellucide et la réaction corticale empêche les autres spermatozoïdes de passer.

## D3.1.16 – Le développement d'un blastocyste et l'implantation dans l'endomètre

Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent les noms des autres étapes du développement embryonnaire.

D3.1.17 – Les tests de grossesse par détection de la sécrétion de l'hormone gonadotrophine chorionique humaine

Inclure la production de l'hormone gonadotrophine chorionique humaine (hCG) dans l'embryon ou le placenta en développement et l'utilisation d'anticorps monoclonaux qui se lient à l'hCG.

D3.1.18 – Le rôle du placenta dans le développement du fœtus dans l'utérus

Il n'est pas nécessaire que les élèves connaissent les détails de la structure placentaire, sauf en ce qui concerne la grande surface des villosités placentaires. Il leur faut comprendre quels processus d'échange se déroulent dans le placenta et que cela permet de maintenir le fœtus dans l'utérus jusqu'à un stade de développement plus avancé que chez les mammifères qui ne développent pas de placenta.

D3.1.19 – Le contrôle hormonal de la grossesse et de l'accouchement

Insister sur le fait que la continuité de la grossesse est assurée par la sécrétion de progestérone, dans un premier temps par le corps jaune puis par le placenta, tandis que les changements pendant l'accouchement sont provoqués par une diminution des taux de progestérone, qui permet une augmentation de la sécrétion d'ocytocine due à une rétroaction positive.

D3.1.20 – Le traitement hormonal substitutif et le risque de coronaropathie

**Nature de la science :** dans les premières études épidémiologiques, il a été avancé que les femmes suivant un traitement hormonal substitutif (THS) présentaient une diminution de l'incidence des coronaropathies et cela a été considéré comme une relation de cause à effet. Plus tard, des essais cliniques randomisés ont montré que l'utilisation du THS provoquait une légère augmentation du risque de coronaropathie. La corrélation entre le THS et la diminution de l'incidence des coronaropathies n'est pas réellement une relation de cause à effet. Les patientes sous THS ont un statut socioéconomique plus élevé et ce statut a une relation de cause à effet avec le risque plus faible de coronaropathie.

## Questions transversales

- Comment les relations interspécifiques peuvent-elles contribuer aux stratégies de reproduction des organismes vivants ?
- Quels sont les rôles des barrières dans les systèmes vivants ?

## D3.2 L'hérédité

Continuité et changement – Organismes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 5 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 3 heures**

### Questions d'orientation

- Quels modèles d'hérédité existent chez les plantes et les animaux ?
- Quelle est la base moléculaire des modèles d'hérédité ?

## NM et NS

D3.2.1 – La production de gamètes haploïdes chez les parents et leur fusion pour former un zygote diploïde comme une source d'hérédité

Les élèves doivent comprendre que ce modèle d'hérédité est commun à tous les eucaryotes ayant un cycle de vie sexué. Il leur faut également comprendre que la cellule diploïde a deux copies de chaque gène autosomique.

**D3.2.2 – Les méthodes de croisement génétique chez les plantes à fleurs**

Il faut utiliser les termes « génération P », « génération F1 », « génération F2 » et « grille de Punnett ». Les élèves doivent comprendre que le pollen contient des gamètes mâles et que les gamètes femelles sont situés dans l'ovaire, et que la pollinisation est donc nécessaire pour réaliser un croisement. Il leur faut également comprendre que les plantes comme les pois produisent à la fois des gamètes mâles et des gamètes femelles sur la même plante, ce qui permet une autopolinisation, et donc une autofécondation. Mentionner que les croisements génétiques sont largement utilisés pour produire de nouvelles variétés de plantes cultivées ou ornementales.

**D3.2.3 – Le génotype en tant que combinaison d'allèles hérités par un organisme**

Les élèves doivent comprendre et utiliser les termes « homozygote » et « hétérozygote », et connaître la différence entre les gènes et les allèles.

**D3.2.4 – Le phénotype en tant que caractères observables d'un organisme résultant du génotype et des facteurs environnementaux**

Les élèves doivent être capables de proposer des exemples de caractères chez les êtres humains, qui sont dus uniquement au génotype et uniquement à l'environnement, mais aussi des exemples de caractères dus à l'interaction entre le génotype et l'environnement.

**D3.2.5 – Les effets des allèles dominants et des allèles récessifs sur le phénotype**

Les élèves doivent comprendre les raisons pour lesquelles un génotype homozygote dominant et un génotype hétérozygote pour un caractère particulier produiront le même phénotype.

**D3.2.6 – La plasticité phénotypique en tant que capacité à développer des caractères adaptés à l'environnement dans lequel vit un organisme, en variant les patterns d'expression génique**

La plasticité phénotypique n'est pas due à des changements dans le génotype et les modifications des caractères peuvent être réversibles durant la vie d'un individu.

**D3.2.7 – La phénylcétonurie comme exemple de maladie humaine due à un allèle récessif**

La phénylcétonurie (PCU) est une maladie génétique récessive causée par la mutation d'un gène autosomique qui code pour l'enzyme nécessaire à la transformation de la phénylalanine en tyrosine.

**D3.2.8 – Les polymorphismes mononucléotidiques et les allèles multiples dans les pools géniques**

Les élèves doivent comprendre qu'un nombre variable d'allèles d'un gène peuvent exister dans le pool génique, mais qu'un individu n'en hérite que de deux.

**D3.2.9 – Les groupes sanguins ABO comme exemple d'allèles multiples**

Il faut utiliser  $I^A$ ,  $I^B$  et  $i$  pour désigner les allèles.

**D3.2.10 – La dominance incomplète et la codominance**

Les élèves doivent comprendre les différences qui existent entre ces modèles d'hérédité au niveau phénotypique. Dans la codominance, les hétérozygotes ont un phénotype double. Utiliser le type sanguin AB ( $I^A I^B$ ) comme exemple. Dans la dominance incomplète, les hétérozygotes ont un phénotype intermédiaire. Utiliser la belle-de-nuit (*Mirabilis jalapa*), également appelée « merveille du Pérou », comme exemple.

*Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.*

D3.2.11 – La détermination du sexe chez les êtres humains et la transmission héréditaire des gènes sur les chromosomes sexuels

Les élèves doivent comprendre que le chromosome sexuel présent dans le spermatozoïde détermine si le zygote développe certaines caractéristiques physiques typiquement masculines ou féminines, et que le chromosome X porte beaucoup plus de gènes que le chromosome Y.

D3.2.12 – L'hémophilie comme exemple de maladie génétique liée au sexe

Les allèles portés par les chromosomes X doivent être indiqués par des lettres présentées en exposant à côté d'un X majuscule.

D3.2.13 – Les arbres généalogiques pour déduire les modèles d'hérédité des maladies génétiques

Les élèves doivent comprendre le fondement génétique de l'interdiction du mariage entre proches parents dans un grand nombre de sociétés.

**Nature de la science :** les scientifiques tirent des conclusions générales à l'aide du raisonnement inductif lorsqu'ils fondent une théorie sur des observations de quelques cas uniquement. Un modèle d'hérédité peut être déduit à partir de certaines parties d'un arbre généalogique et cette théorie peut ensuite permettre de déduire les génotypes de certains individus dans cet arbre. Les élèves doivent être capables de faire la distinction entre un raisonnement inductif et un raisonnement déductif.

D3.2.14 – La variation continue due à l'hérédité polygénique et/ou aux facteurs environnementaux

Utiliser la couleur de peau des êtres humains comme exemple.

**Application des compétences :** les élèves doivent comprendre la différence qui existe entre les variables continues, telles que la couleur de peau, et les variables discrètes comme le groupe sanguin ABO. Il leur faut également être capables d'utiliser les mesures de tendance centrale, telles que la moyenne, la médiane et le mode.

D3.2.15 – Les diagrammes en boîtes et moustaches pour représenter les données d'une variable continue comme la taille des élèves

**Application des compétences :** les élèves doivent utiliser un diagramme en boîtes et moustaches pour montrer six aspects des données : les valeurs aberrantes, le minimum, le premier quartile, la médiane, le troisième quartile et le maximum. Un point de données est considéré comme une valeur aberrante s'il se situe à plus de  $1,5 \times EI$  (écart interquartile) au-dessus du troisième quartile ou en dessous du premier quartile.

## Module complémentaire du niveau supérieur

D3.2.16 – La ségrégation et l'assortiment indépendant des gènes non liés lors de la méiose

Les élèves doivent comprendre le lien entre les mouvements des chromosomes lors de la méiose et le résultat des croisements dihybrides impliquant des paires de gènes non liés.

D3.2.17 – Les grilles de Punnett pour prédire les rapports génotypiques et phénotypiques dans les croisements dihybrides impliquant des gènes autosomiques non liés

Les élèves doivent comprendre comment les rapports 9:3:3:1 et 1:1:1:1 sont déduits.

**Nature de la science :** les rapports 9:3:3:1 et 1:1:1:1 pour les croisements dihybrides reposent sur ce qui a été appelé la seconde loi de Mendel. Cette loi ne s'applique que lorsque les gènes sont sur des chromosomes différents ou sont suffisamment éloignés sur un chromosome pour que les taux de recombinaison atteignent 50 %. Les élèves doivent reconnaître qu'il existe des exceptions à toutes les « lois » biologiques dans certaines conditions.

D3.2.18 – Les loci des gènes humains et leurs produits polypeptidiques

**Application des compétences :** les élèves doivent explorer les gènes et leurs produits polypeptidiques dans des bases de données. Il leur faut trouver des paires de gènes dont les loci sont sur des chromosomes différents et aussi à proximité l'un de l'autre sur le même chromosome.

D3.2.19 – La liaison des gènes autosomiques

Dans les croisements impliquant une liaison, les symboles utilisés pour indiquer les allèles doivent être présentés le long de lignes verticales représentant les chromosomes homologues. Les élèves doivent comprendre la raison pour laquelle les allèles des gènes liés peuvent ne pas s'assortir indépendamment.

D3.2.20 – Les recombinants dans les croisements impliquant deux gènes liés ou non liés

Les élèves doivent comprendre comment déterminer les résultats de croisements entre un individu hétérozygote pour les deux gènes et un individu homozygote récessif pour les deux gènes. Identifier les recombinants dans les gamètes, les génotypes de la descendance et les phénotypes de la descendance.

D3.2.21 – L'utilisation d'un test du Khi carré avec des données obtenues de croisements dihybrides

Les élèves doivent comprendre le concept de la signification statistique, le niveau de signification  $p = 0,05$ , l'hypothèse nulle/alternative et la notion de résultats observés par opposition aux résultats attendus.

**Nature de la science :** les élèves doivent comprendre que les tests statistiques impliquent souvent d'utiliser un échantillon pour représenter une population. Ici, l'échantillon est la génération F2. Dans un grand nombre d'expériences, les mesures répliquées ou répétées constituent l'échantillon.

## Questions transversales

- Quels sont les principes de l'échantillonnage efficace dans la recherche biologique ?
- Quels processus biologiques impliquent le doublement et la réduction de moitié ?

## D3.3 L'homéostasie

Continuité et changement – Organismes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 2 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Comment les conditions internes constantes sont-elles maintenues chez les êtres humains ?
- Quels sont les avantages du maintien des conditions internes constantes pour les organismes ?

## NM et NS

D3.3.1 – L'homéostasie en tant que maintien de l'environnement interne d'un organisme

Les variables sont maintenues dans des limites prédéfinies, et ce, malgré les fluctuations dans l'environnement externe. Indiquer que la température corporelle, le pH du sang, la concentration de

glucose dans le sang et la concentration osmotique du sang sont des variables homéostatiques chez les êtres humains.

D3.3.2 – Les boucles de rétroaction négative dans l'homéostasie

Les élèves doivent comprendre la raison de l'utilisation d'un contrôle par rétroaction négative plutôt que positive dans l'homéostasie. Il leur faut également comprendre que la rétroaction négative ramène les variables homéostatiques à la valeur de consigne à partir de valeurs supérieures et inférieures à cette valeur de consigne.

D3.3.3 – La régulation de la glycémie comme exemple du rôle des hormones dans l'homéostasie

Inclure la sécrétion de l'insuline et du glucagon par les cellules endocrines du pancréas, leur transport dans le sang et leurs effets sur les cellules cibles.

D3.3.4 – Les changements physiologiques à la base du diabète de type 1 et du diabète de type 2

Les élèves doivent comprendre les changements physiologiques ainsi que les facteurs de risque, les moyens de prévention et les méthodes de traitement.

D3.3.5 – La thermorégulation comme exemple de contrôle par rétroaction négative

Mentionner les rôles des thermorécepteurs périphériques, de l'hypothalamus et de l'hypophyse ainsi que de la thyroxine, et donner des exemples de tissus musculaires et adipeux qui agissent comme des effecteurs du changement de température.

D3.3.6 – Les mécanismes de la thermorégulation chez les êtres humains

Les élèves doivent savoir que les oiseaux et les mammifères utilisent des moyens physiologiques et comportementaux pour réguler leur température corporelle. Il leur faut uniquement comprendre les détails de la thermorégulation chez les êtres humains. Inclure la vasodilatation, la vasoconstriction, le frisson, la transpiration, la respiration découplée dans les tissus adipeux bruns et l'érection des follicules pileux.

## Module complémentaire du niveau supérieur

D3.3.7 – Le rôle du rein dans l'osmorégulation et l'excrétion

Les élèves doivent comprendre la différence qui existe entre l'excrétion et l'osmorégulation. L'osmorégulation est la régulation de la concentration osmotique. Cette concentration osmotique se mesure en osmoles par litre ( $\text{Osm/l}^{-1}$ ).

D3.3.8 – Le rôle du glomérule, de la capsule de Bowman et du tubule contourné proximal dans l'excrétion

Les élèves doivent savoir que l'ultrafiltration retire les solutés du plasma sanguin et que les substances utiles sont ensuite réabsorbées pour laisser les toxines et autres solutés indésirables dans le filtrat afin qu'ils soient excrétés dans l'urine.

D3.3.9 – Le rôle de l'anse de Henle

Se limiter au transport actif des ions sodium dans le membre ascendant pour maintenir des concentrations osmotiques élevées dans la zone médullaire, ce qui facilite la réabsorption de l'eau dans les tubes collecteurs.

D3.3.10 – L'osmorégulation par la réabsorption de l'eau dans les tubes collecteurs

Mentionner les rôles joués par les osmorécepteurs dans l'hypothalamus, les changements du taux de sécrétion de l'hormone antidiurétique par l'hypophyse et les changements résultants dans la localisation des aquaporines entre les membranes cellulaires et les vésicules intracellulaires dans les cellules des tubes collecteurs.

D3.3.11 – Les changements d'irrigation sanguine des organes en réponse à des changements d'activité

À titre d'exemple, utiliser le pattern d'irrigation sanguine des muscles squelettiques, du tube digestif, du cerveau et des reins durant le sommeil, une activité physique intense et le repos éveillé.

## Questions transversales

- Pour quelles raisons les organismes doivent-ils distribuer des matériaux et de l'énergie ?
- Quels systèmes biologiques sont sensibles aux variations de température ?

## D4.1 La sélection naturelle

Continuité et changement – Écosystèmes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 2 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Quels processus peuvent provoquer des changements dans les fréquences alléliques au sein d'une population ?
- Quel est le rôle de la reproduction dans le processus de la sélection naturelle ?

## NM et NS

D4.1.1 – La sélection naturelle en tant que mécanisme entraînant le changement évolutif

Les élèves doivent savoir que la sélection naturelle s'opère de manière continue sur des milliards d'années et qu'elle se traduit par la biodiversité de la vie sur Terre.

**Nature de la science :** à l'époque de Darwin, il était largement admis que les espèces évoluaient, mais le mécanisme n'était pas bien compris. La théorie de Darwin a fourni un mécanisme convaincant et a remplacé le lamarckisme. Cela constitue un exemple de changement de paradigme. Les élèves doivent comprendre la signification du terme « changement de paradigme ».

D4.1.2 – Les rôles de la mutation et de la reproduction sexuée dans la production des variations sur lesquelles se base la sélection naturelle

La mutation génère de nouveaux allèles et la reproduction sexuée produit de nouvelles combinaisons d'allèles.

D4.1.3 – La surproduction de descendants et la compétition pour les ressources en tant que facteurs favorisant la sélection naturelle

Utiliser des exemples d'aliments et d'autres ressources qui peuvent restreindre la capacité de charge.

D4.1.4 – Les facteurs abiotiques en tant que pressions sélectives

Utiliser des exemples de facteurs indépendants de la densité tels que les températures élevées ou basses susceptibles de menacer la survie des individus d'une population.

D4.1.5 – Les différences entre les individus en matière d'adaptation, de survie et de reproduction en tant que fondement de la sélection naturelle

Les élèves doivent étudier la sélection naturelle due à la compétition intraspécifique, notamment le concept de valeur sélective lors de l'examen de la valeur de survie et du potentiel de reproduction d'un génotype.

D4.1.6 – La nécessité que des caractères soient héréditaires pour que des changements évolutifs se produisent

Les élèves doivent comprendre que les caractères acquis durant la vie d'un individu en raison de facteurs environnementaux ne sont pas encodés dans la séquence de bases des gènes et qu'ils ne sont donc pas héréditaires.

D4.1.7 – La sélection sexuelle en tant que pression sélective chez les espèces animales

Les différences de caractères physiques et comportementaux susceptibles d'être utilisées comme des signes d'aptitude globale peuvent influencer la capacité à attirer un ou une partenaire et ainsi entraîner l'évolution d'une population animale. Cela peut être illustré à l'aide d'exemples adéquats comme l'évolution du plumage des paradisiers.

D4.1.8 – La modélisation de la sélection sexuelle et de la sélection naturelle fondée sur le contrôle expérimental des pressions sélectives

**Application des compétences :** les élèves doivent interpréter les données des expériences de John Endler sur les guppies.

## Module complémentaire du niveau supérieur

D4.1.9 – Le concept de pool génique

Un pool génique est composé de tous les gènes (et de leurs divers allèles) présents dans une population.

D4.1.10 – Les fréquences alléliques des populations géographiquement isolées

**Application des compétences :** les élèves doivent utiliser des banques de données pour rechercher les fréquences alléliques. Utiliser au moins un exemple humain.

D4.1.11 – Les changements dans la fréquence allélique dans le pool génique comme conséquence de la sélection naturelle entre les individus en fonction des différences dans leurs caractères héréditaires

Darwin a élaboré la théorie de l'évolution par sélection naturelle. Par la suite, les biologistes ont associé la génétique et la sélection naturelle dans ce qui est maintenant connu sous le nom de « néodarwinisme ».

D4.1.12 – Les différences entre la sélection directionnelle, la sélection divergente et la sélection stabilisatrice

Les élèves doivent savoir que ces trois types de sélection aboutissent à une modification de la fréquence allélique.

D4.1.13 – L'équation de Hardy-Weinberg et le calcul des fréquences alléliques ou génotypiques

Il faut utiliser  $p$  et  $q$  pour indiquer les deux fréquences alléliques. Les élèves doivent comprendre que  $p + q = 1$  et que les fréquences génotypiques sont donc prédites par l'équation de Hardy-Weinberg :  $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ .

Si l'une des fréquences génotypiques est connue, les fréquences alléliques peuvent être calculées à l'aide des mêmes équations.

D4.1.14 – Les conditions de Hardy-Weinberg devant être remplies pour qu'une population soit en équilibre génétique

Les élèves doivent comprendre que si les fréquences génotypiques dans une population ne correspondent pas à l'équation de Hardy-Weinberg, cela indique qu'une ou plusieurs des conditions ne sont pas remplies (par exemple, l'accouplement n'est pas aléatoire ou les taux de survie varient entre les génotypes).

D4.1.15 – La sélection artificielle par le choix délibéré des caractères

Une sélection artificielle est réalisée chez les plantes cultivées et les animaux domestiqués, en choisissant des individus qui présentent des caractères souhaitables pour la reproduction. Les conséquences imprévues des actions humaines, telles que l'évolution de la résistance des bactéries lors de l'utilisation d'un antibiotique, sont dues à la sélection naturelle plutôt qu'à la sélection artificielle.

## Questions transversales

- En quoi les interactions intraspécifiques diffèrent-elles des interactions interspécifiques ?
- Quels mécanismes réduisent au minimum la compétition ?

## D4.2 La stabilité et le changement

Continuité et changement – Écosystèmes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 4 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 2 heures**

### Questions d'orientation

- Quelles caractéristiques des écosystèmes permettent d'avoir une stabilité sur des périodes illimitées ?
- Quels changements provoqués par les êtres humains menacent la stabilité des écosystèmes ?

## NM et NS

D4.2.1 – La stabilité en tant que propriété des écosystèmes naturels

Illustrer la stabilité des écosystèmes à l'aide d'exemples de forêts, de déserts ou d'autres écosystèmes ayant fait preuve de continuité sur de longues périodes. Des preuves montrent que certains écosystèmes subsistent pendant des millions d'années.

D4.2.2 – Les conditions nécessaires pour la stabilité des écosystèmes

Mentionner l'apport d'énergie, le recyclage des nutriments, la diversité génétique et le maintien des variables climatiques dans les limites de tolérance.

D4.2.3 – La déforestation de la forêt tropicale humide amazonienne comme exemple de point de basculement possible dans la stabilité d'un écosystème

Mentionner la nécessité d'avoir une grande superficie de forêt tropicale pour la production de vapeur d'eau atmosphérique par transpiration, avec le refroidissement, les flux d'air et les précipitations qui en découlent. Évoquer l'incertitude concernant la superficie minimum de forêt tropicale qui est suffisante pour maintenir ces processus.

**Application des compétences :** les élèves doivent être capables de calculer les changements en pourcentage. Dans ce cas, l'étendue de la déforestation peut être évaluée en calculant le changement en pourcentage par rapport à la superficie initiale de la forêt.

D4.2.4 – L'utilisation d'un modèle pour étudier l'effet de variables sur la stabilité d'un écosystème

Des mésocosmes peuvent être établis dans des réservoirs ouverts, mais il vaut mieux choisir des récipients en verre scellés pour éviter l'entrée et la sortie de matière, tout en permettant le transfert d'énergie. Les écosystèmes aquatiques ou microbiens sont susceptibles d'avoir plus de succès que les écosystèmes terrestres.

**Nature de la science :** il convient de suivre les directives de l'IB relatives à l'expérimentation scientifique pour l'entretien et la conservation des mésocosmes.

D4.2.5 – Le rôle des espèces clés dans la stabilité des écosystèmes

Les élèves doivent avoir conscience de l'effet disproportionné des espèces clés sur la structure de la communauté et du risque d'effondrement de l'écosystème si elles devaient être supprimées.

D4.2.6 – L'évaluation de la durabilité de l'exploitation de ressources des écosystèmes naturels

La durabilité dépend du fait que le taux de récolte est inférieur au taux de renouvellement. Utiliser une espèce végétale terrestre et une espèce de poisson de mer comme exemples de ressources renouvelables, et indiquer la façon dont la durabilité de la récolte peut être évaluée.

D4.2.7 – Les facteurs influençant la durabilité de l'agriculture

Mentionner la nécessité d'examiner l'érosion du sol, le lessivage des nutriments, l'apport d'engrais et d'autres intrants, la pollution due aux produits agrochimiques, et l'empreinte carbone.

D4.2.8 – L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques et marins due au lessivage

Les élèves doivent comprendre les effets de l'eutrophisation résultant du lessivage des engrais azotés et phosphatés, dont la demande biochimique en oxygène (DBO) accrue.

D4.2.9 – La bioamplification des polluants dans les écosystèmes naturels

Les élèves doivent comprendre comment des concentrations accrues de toxines s'accumulent dans les tissus des consommateurs des niveaux trophiques supérieurs. Utiliser le DDT et le mercure comme exemples.

D4.2.10 – Les effets de la pollution marine due aux microplastiques et macroplastiques

Les élèves doivent comprendre que les plastiques persistent dans l'environnement naturel, car ils ne sont pas biodégradables. Utiliser des exemples d'effets de la pollution plastique sur la vie marine.

**Nature de la science :** les scientifiques peuvent influencer les actions des citoyennes et des citoyens en fournissant des informations claires sur les conclusions de leurs recherches. La couverture des effets de la pollution plastique sur la vie marine par les médias populaires a changé la perception du public à l'échelle mondiale, ce qui a entraîné la prise de mesures pour faire face à ce problème.

D4.2.11 – La restauration des processus naturels des écosystèmes par la remise à l'état sauvage

Les méthodes doivent inclure la réintroduction de superprédateurs et d'autres espèces clés, le rétablissement de la connectivité des habitats sur de grandes superficies et la réduction de l'impact des activités humaines au minimum, notamment par la gestion écologique. Utiliser l'exemple de la réserve Hinewai en Nouvelle-Zélande.

## Module complémentaire du niveau supérieur

### D4.2.12 – La succession écologique et ses causes

La succession peut être provoquée par des changements à la fois dans un environnement abiotique et dans des facteurs biotiques.

### D4.2.13 – Les changements survenant durant la succession primaire

Utiliser tout exemple terrestre adéquat pour illustrer les principes généraux suivants : augmentation de la taille des plantes, quantité de production primaire, diversité des espèces, complexité des réseaux alimentaires et quantité de recyclage de nutriments.

### D4.2.14 – La succession cyclique dans les écosystèmes

Les élèves doivent savoir qu'il y a un cycle de communautés plutôt qu'une seule communauté climacique immuable dans certains écosystèmes. Il leur faut se référer à un exemple.

### D4.2.15 – Les communautés climaciques et la succession arrêtée

Dans des conditions environnementales spécifiques, la succession écologique conduit généralement à un type particulier de communauté climacique, mais les influences humaines peuvent l'empêcher de se développer. Utiliser le pâturage par le bétail et le drainage des zones humides comme exemples.

## Questions transversales

- Quelle est la différence entre les processus artificiels et les processus naturels ?
- Sur quelles échelles de temps les choses changent-elles dans différents systèmes biologiques ?

## D4.3 Le changement climatique

Continuité et changement – Écosystèmes

**Niveau moyen et niveau supérieur : 3 heures**

**Module complémentaire du niveau supérieur : 1 heure**

### Questions d'orientation

- Quels sont les éléments moteurs du changement climatique ?
- Quelles sont les répercussions du changement climatique sur les écosystèmes ?

## NM et NS

### D4.3.1 – Les causes anthropiques du changement climatique

Se limiter à l'augmentation des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone et de méthane d'origine anthropique.

### D4.3.2 – Les cycles de rétroaction positive dans le réchauffement climatique

Mentionner la libération de dioxyde de carbone des grands fonds marins, l'augmentation de l'absorption du rayonnement solaire due à la perte des surfaces de neige et de glace réfléchissantes, l'accélération de la décomposition de la tourbe et de la matière organique non décomposée dans le pergélisol, la libération de méthane due à la fonte du pergélisol, et l'augmentation des sécheresses et des incendies de forêt.

D4.3.3 – Le passage de l'accumulation nette de carbone à la perte nette des forêts boréales comme exemple de point de basculement

Mentionner les températures plus chaudes et la diminution des chutes de neige en hiver menant à une incidence accrue de la sécheresse et à des réductions de la production primaire dans la taïga, avec la brunification des forêts et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des incendies de forêt, qui ont pour résultat la combustion du carbone résiduel.

D4.3.4 – La fonte de la glace de rive et de la glace marine comme exemple de modification de l'habitat polaire

Mentionner la perte potentielle des sites de reproduction du manchot empereur (*Aptenodytes forsteri*) en raison de la rupture précoce de la glace de rive en Antarctique ainsi que la perte de l'habitat des morses sur la glace marine en Arctique.

*Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.*

D4.3.5 – Les changements dans les courants océaniques modifiant le moment et l'étendue de la remontée des nutriments

Les eaux de surface plus chaudes peuvent empêcher la remontée des nutriments à la surface, ce qui réduit la production primaire des océans et le flux d'énergie à travers les chaînes alimentaires marines.

D4.3.6 – Le déplacement des aires de répartition des espèces tempérées vers les pôles et vers les régions de hautes altitudes

Parmi les exemples fondés sur des preuves, utiliser le déplacement des aires de répartition des espèces d'oiseaux des montagnes de la zone tropicale de Nouvelle-Guinée vers les régions de hautes altitudes ainsi que le rétrécissement de l'aire de répartition des espèces d'arbres d'Amérique du Nord et leur propagation vers le nord.

D4.3.7 – Les menaces pesant sur les récifs coralliens comme exemple d'effondrement possible d'un écosystème

Les concentrations accrues de dioxyde de carbone sont responsables de l'acidification des océans et de l'inhibition totale de la calcification des coraux. L'augmentation des températures de l'eau est une des causes du blanchissement des coraux, et la perte des coraux entraîne l'effondrement des écosystèmes des récifs.

D4.3.8 – Le boisement, la régénération forestière et la restauration des zones humides formant de la tourbe comme approches de la séquestration de carbone

La question de savoir si les plantations d'espèces d'arbres non indigènes ou la remise à l'état sauvage à l'aide d'espèces indigènes constituent la meilleure approche pour la séquestration du carbone fait l'objet d'un vif débat scientifique. La tourbe se forme naturellement dans les sols engorgés d'eau des zones tempérées et boréales, mais aussi très rapidement dans certains écosystèmes tropicaux.

## Module complémentaire du niveau supérieur

D4.3.9 – La phénologie en tant qu'étude de la chronologie des phénomènes biologiques

Les élèves doivent savoir que les régimes photopériodiques et thermiques sont des exemples de variables qui influencent la chronologie des phénomènes biologiques, tels que la floraison, le débourrement et l'apparition des bourgeons des arbres à feuilles caduques ou la migration et la nidification des oiseaux.

**D4.3.10 – La perturbation de la synchronisation des phénomènes phénologiques due au changement climatique**

Les élèves doivent comprendre que la température peut agir comme un signal dans une population au sein d'un écosystème et que la photopériode peut être le signal dans une autre population de cet écosystème. Utiliser la croissance printanière du céraiste arctique (*Cerastium arcticum*) et l'arrivée des rennes migrateurs (*Rangifer tarandus*) comme exemple. Inclure également un exemple local adéquat ou la reproduction de la mésange charbonnière (*Parus major*) et le pic de biomasse des chenilles dans les forêts européennes comme autre exemple.

*Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.*

**D4.3.11 – L'augmentation du nombre de cycles de vie des insectes au cours d'une année en raison du changement climatique**

Il faut utiliser le scolyte (*Ips typographus* ou *Dendroctonus micans*) comme exemple.

*Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.*

**D4.3.12 – L'évolution en tant que conséquence du changement climatique**

Mentionner les changements dans l'adaptation des variantes de couleurs chez la chouette hulotte (*Strix aluco*) en tant que conséquence des modifications de la couverture de neige.

*Remarque : lorsque les élèves se réfèrent à un organisme dans le cadre d'un examen, il est acceptable d'utiliser le nom commun ou le nom scientifique de cet organisme.*

**Questions transversales**

- Quelles sont les répercussions du changement climatique à chaque niveau d'organisation biologique ?
- Quels processus déterminent la répartition des organismes sur Terre ?

# L'évaluation dans le Programme du diplôme

## Généralités

L'évaluation fait partie intégrante de l'enseignement et de l'apprentissage. Dans le Programme du diplôme, elle a avant tout pour but de soutenir les objectifs pédagogiques fixés et de favoriser chez les élèves un apprentissage de qualité. L'évaluation externe et l'évaluation interne sont toutes deux utilisées dans le Programme du diplôme. Les examinateurs et les examinatrices de l'IB notent ainsi les travaux dans le cadre de l'évaluation externe, tandis que les travaux destinés à l'évaluation interne sont notés par le personnel enseignant, avant de faire l'objet d'une révision de notation externe par l'IB.

L'IB réalise deux types d'évaluation.

- L'évaluation formative oriente l'enseignement et l'apprentissage. Elle fournit aux élèves et au personnel enseignant des commentaires utiles et précis, d'une part, sur le type d'apprentissage mis en œuvre et, d'autre part, sur la nature des points forts et des points faibles des élèves, afin de développer la compréhension et les compétences de ces derniers. L'évaluation formative peut également contribuer à améliorer la qualité de l'enseignement, car elle peut fournir des informations permettant de mesurer les progrès réalisés pour atteindre les objectifs du cours (0404-01).
- L'évaluation sommative donne une vue d'ensemble des connaissances acquises avant le cours et permet d'évaluer les progrès des élèves à la fin ou vers la fin du cours (0404-04).

Une politique d'évaluation complète doit faire partie intégrante de l'apprentissage, de l'enseignement et de l'organisation du cours. De plus amples informations sont fournies dans la publication de l'IB intitulée *Normes de mise en œuvre des programmes et applications concrètes*.

Le mode d'évaluation utilisé par l'IB est critérié et non pas normatif. Ce mode d'évaluation juge donc le travail des élèves par rapport à des critères d'évaluation définis et non par rapport au travail des autres élèves. La publication intitulée *Principes et pratiques de l'évaluation – Des évaluations de qualité à l'ère du numérique* contient de plus amples informations sur l'évaluation dans le cadre du Programme du diplôme.

Afin d'aider les équipes pédagogiques dans la planification, l'enseignement et l'évaluation des cours du Programme du diplôme, des ressources variées sont mises à leur disposition sur le Centre de ressources pédagogiques ou en vente sur le magasin en ligne de l'IB à l'adresse [store.ibo.org](http://store.ibo.org). D'autres publications, telles que des spécimens d'épreuves et des barèmes de notation, du matériel de soutien pédagogique, des rapports pédagogiques et des descripteurs des notes finales, se trouvent également sur le Centre de ressources pédagogiques. Par ailleurs, des sujets d'examen des sessions précédentes et les barèmes de notation correspondants sont en vente sur le magasin en ligne de l'IB.

## Méthodes d'évaluation

L'IB utilise différentes méthodes pour évaluer les travaux des élèves.

### Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation sont utilisés lorsque la tâche d'évaluation est dite « ouverte ». Chaque critère se concentre sur une compétence particulière que les élèves doivent pouvoir démontrer. Ainsi, si un objectif d'évaluation décrit ce que les élèves doivent être capables de faire, les critères d'évaluation décrivent de quelle manière et à quel niveau cela doit être fait. L'utilisation des critères permet d'évaluer des réponses différentes et encourage leur variété. Chaque critère d'évaluation est composé d'un ensemble de descripteurs de niveaux classés par ordre hiérarchique. Chaque descripteur de niveau équivaut à un ou plusieurs points. Chaque critère est utilisé indépendamment en suivant un modèle qui consiste à trouver le descripteur qui résume le mieux le niveau atteint (approche dite de meilleur ajustement). Le total des

points attribuables peut varier d'un critère à l'autre selon leur importance. Les points ainsi attribués pour chaque critère sont ensuite additionnés pour arriver à la note totale du travail évalué.

## Bandes de notation

Les bandes de notation présentent de manière détaillée les accomplissements attendus et servent de base à l'évaluation des travaux. Elles forment un critère global, qui est divisé en descripteurs de niveaux. À chaque descripteur de niveau correspond une gamme de notes, ce qui permet de différencier les accomplissements des élèves. L'approche dite de meilleur ajustement est utilisée afin de déterminer quelle note en particulier doit être choisie parmi la gamme de notes proposées pour chaque descripteur de niveaux.

## Barèmes de notation analytiques

Les barèmes de notation analytiques sont conçus pour les questions d'examen pour lesquelles un certain type de réponse ou une réponse spécifique sont attendus des élèves. Ces barèmes donnent aux examinateurs et examinatrices des instructions détaillées sur la manière de décomposer le total des points correspondant à chaque question pour noter différentes parties de la réponse.

## Remarques sur la notation

Des remarques sur la notation sont fournies pour certaines composantes d'évaluation notées selon des critères d'évaluation. Elles donnent des orientations sur la manière dont les critères d'évaluation s'appliquent aux exigences particulières d'une question.

# Aménagements à des fins d'accès et d'inclusion

Des aménagements à des fins d'accès et d'inclusion peuvent être demandés pour les élèves ayant des besoins en matière d'accès. Il peut arriver que les conditions standards d'évaluation soient défavorables aux élèves ayant des besoins en matière d'aménagement de la procédure d'évaluation, si elles les empêchent de montrer le niveau atteint. Les aménagements à des fins d'accès et d'inclusion doivent permettre aux élèves de passer leurs examens dans des conditions aussi équitables que possible.

La *Politique d'accès et d'inclusion* de l'IB fournit des informations détaillées sur les aménagements à des fins d'accès et d'inclusion qui peuvent être mis en place pour les élèves. Le document intitulé *La diversité d'apprentissage et l'inclusion dans les programmes de l'IB – Supprimer les obstacles à l'apprentissage* présente la position de l'IB en ce qui concerne les élèves ayant des besoins divers en matière d'apprentissage au sein des programmes de l'IB. La publication de l'IB intitulée *Procédures d'évaluation du Programme du diplôme* (mise à jour tous les ans), qui comprend le règlement général, contient quant à elle des informations détaillées sur les aménagements pour les élèves faisant face à des circonstances défavorables.

# Responsabilités de l'établissement

L'établissement doit s'assurer que les élèves ayant des besoins en matière de soutien à l'apprentissage bénéficient d'aménagements à des fins d'accès équitables et d'ajustements raisonnables, conformément à la *Politique d'accès et d'inclusion* de l'IB ainsi qu'au document intitulé *La diversité d'apprentissage et l'inclusion dans les programmes de l'IB – Supprimer les obstacles à l'apprentissage*.

## Résumé de l'évaluation – NM

## Première évaluation en 2025

| Composantes d'évaluation  | Pondération |
|---|-------------|
| <b>Évaluation externe (3 heures)</b>  | <b>80 %</b> |
| <b>Épreuve 1 (1 heure 30 minutes)</b><br>Épreuve 1A – Questions à choix multiple<br>Épreuve 1B – Questions fondées sur des données (quatre questions en lien avec le programme et portant sur tous les thèmes)<br>(Total : 55 points)                                 | <b>36 %</b> |
| <b>Épreuve 2 (1 heure 30 minutes)</b><br>Section A – Questions fondées sur des données et questions à réponse brève<br>Section B – Questions à réponse développée<br>(Total : 50 points)  | <b>44 %</b> |
| <b>Évaluation interne (10 heures)</b>   | <b>20 %</b> |
| L'évaluation interne consiste en une seule tâche : la recherche scientifique.<br>Cette composante est évaluée en interne par le personnel enseignant avant de faire l'objet d'une révision de notation externe par l'IB à la fin du programme.<br>(Total : 24 points) |             |

## Résumé de l'évaluation – NS

## Première évaluation en 2025

| Composantes d'évaluation  | Pondération |
|---|-------------|
| <b>Évaluation externe (4 heures 30 minutes)</b>   | <b>80 %</b> |
| <b>Épreuve 1 (2 heures)</b><br>Épreuve 1A – Questions à choix multiple<br>Épreuve 1B – Questions fondées sur des données (quatre questions en lien avec le programme et portant sur tous les thèmes)<br>(Total : 75 points)   | <b>36 %</b> |
| <b>Épreuve 2 (2 heures 30 minutes)</b><br>Section A – Questions fondées sur des données et questions à réponse brève<br>Section B – Questions à réponse développée<br>(Total : 80 points)   | <b>44 %</b> |
| <b>Évaluation interne (10 heures)</b>   | <b>20 %</b> |
| L'évaluation interne consiste en une seule tâche : la recherche scientifique.<br>Cette composante est évaluée en interne par le personnel enseignant avant de faire l'objet d'une révision de notation externe par l'IB à la fin du programme.<br>(Total : 24 points) |             |

# Évaluation externe

L'évaluation des élèves est effectuée à l'aide de barèmes de notation détaillés spécifiques à chaque épreuve d'examen (épreuve 1 et épreuve 2).

Lors des examens, une compréhension générale et une application de la nature de la science pourront être nécessaires.

## Description détaillée de l'évaluation externe – NM

### Épreuve 1

**Durée : 1 heure 30 minutes**

**Pondération : 36 %**

**Nombre de points : 55**

**L'épreuve 1 est présentée sur deux livrets séparés.**

Épreuve 1A – 30 points

- Trente questions à choix multiple pour le niveau moyen.  
Aucun point n'est soustrait pour les réponses incorrectes.

Épreuve 1B – 25 points

- Quatre questions fondées sur des données portant sur le travail expérimental et le programme.

La section A et la section B de l'épreuve 1 doivent être effectuées ensemble, sans interruption.

Les questions de l'épreuve 1 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.

L'utilisation des calculatrices est autorisée. Veuillez consulter les *Recommandations concernant les calculatrices dans le cadre des examens* sur le Centre de ressources pédagogiques.

### Épreuve 2

**Durée : 1 heure 30 minutes**

**Pondération : 44 %**

**Nombre de points : 50**

**Section A – 34 points**

- Question fondée sur des données.
- Questions à réponse brève pour le niveau moyen.

**Section B – 16 points**

- Questions à réponse développée pour le niveau moyen.  
Les élèves doivent répondre à une des deux questions à réponse développée.

Les questions de l'épreuve 2 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.

L'utilisation des calculatrices est autorisée. Veuillez consulter les *Recommandations concernant les calculatrices dans le cadre des examens* sur le Centre de ressources pédagogiques.

## Description détaillée de l'évaluation externe – NS

### Épreuve 1

**Durée : 2 heures**

**Pondération : 36 %**

**Nombre de points : 75**

**L'épreuve 1 est présentée sur deux livrets séparés.**

Épreuve 1A – 40 points

- 40 questions à choix multiple pour le niveau moyen et le module complémentaire du niveau supérieur  
Aucun point n'est soustrait pour les réponses incorrectes.

Épreuve 1B – 35 points

- Quatre questions fondées sur des données portant sur le travail expérimental et le programme.

La section A et la section B de l'épreuve 1 doivent être effectuées ensemble, sans interruption.

Les questions de l'épreuve 1 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.

L'utilisation des calculatrices est autorisée. Veuillez consulter les *Recommandations concernant les calculatrices dans le cadre des examens* sur le Centre de ressources pédagogiques.

### Épreuve 2

**Durée : 2 heures 30 minutes**

**Pondération : 44 %**

**Nombre de points : 80**

**Section A – 48 points**

- Question fondée sur des données.
- Questions à réponse brève pour le niveau moyen et le module complémentaire du niveau supérieur.

**Section B – 32 points**

- Questions à réponse développée pour le niveau moyen et le module complémentaire du niveau supérieur.

Les élèves doivent répondre à deux des trois questions à réponse développée.

Les questions de l'épreuve 2 servent à évaluer l'atteinte des objectifs d'évaluation 1, 2 et 3.

L'utilisation des calculatrices est autorisée. Veuillez consulter les *Recommandations concernant les calculatrices dans le cadre des examens* sur le Centre de ressources pédagogiques.

# Évaluation interne

## But de l'évaluation interne

L'évaluation interne fait partie intégrante du cours et elle est obligatoire pour les élèves du NM et du NS. Elle leur permet de prouver leurs compétences et leurs connaissances, et d'approfondir des domaines qui les intéressent, sans les contraintes de temps et les restrictions associées aux épreuves écrites. L'évaluation interne doit, dans la mesure du possible, faire partie de l'enseignement en classe et ne doit pas être une activité séparée menée à la fin du programme d'études.

Les exigences de l'évaluation interne au NM et au NS sont identiques.

## Direction des travaux et authenticité

La recherche scientifique (au NM et au NS) soumise à l'évaluation interne doit être le fruit du travail personnel de l'élève. Cela ne signifie pas pour autant que les élèves doivent décider d'un titre ou d'un sujet, puis travailler de manière isolée, sans soutien de la part du personnel enseignant. Le personnel enseignant doit jouer un rôle important, tant durant l'étape de planification du travail que durant l'exécution du travail soumis à l'évaluation interne. Il lui incombe de s'assurer que les élèves connaissent :

- les exigences concernant le type de travail qui sera soumis à l'évaluation interne ;
- les directives de l'IB relatives à l'expérimentation scientifique ;
- les critères d'évaluation (les élèves doivent comprendre que le travail qui sera remis doit bien tenir compte de ces critères).

Le personnel enseignant et les élèves doivent discuter ensemble des travaux évalués en interne. Les élèves doivent entamer des discussions avec le personnel enseignant pour obtenir des conseils et des informations, sans recevoir aucune pénalité. Dans le cadre du processus d'apprentissage, le personnel enseignant doit donner des conseils aux élèves sur une version préliminaire du travail. Ces conseils prodigués par oral ou par écrit doivent guider les élèves sur la façon possible d'améliorer leur travail. Toutefois, le personnel enseignant ne doit pas modifier la version préliminaire. La version remise à l'enseignant ou à l'enseignante par la suite doit être la version définitive envoyée pour l'évaluation.

Il incombe au personnel enseignant de s'assurer que l'ensemble des élèves comprend la signification et l'importance fondamentales des concepts liés à l'intégrité intellectuelle, et plus particulièrement, l'authenticité et la propriété intellectuelle. Le personnel enseignant doit vérifier que tous les travaux que les élèves remettent pour l'évaluation ont été effectués conformément aux exigences et doit expliquer clairement aux élèves que ces travaux doivent être entièrement les leurs. Dans les cas où la collaboration entre élèves est autorisée, il est impératif que l'ensemble des élèves comprenne clairement la différence entre collaboration et collusion.

Le personnel enseignant doit authentifier tout travail envoyé à l'IB pour révision de notation ou évaluation et ne doit pas envoyer de travaux qui, à sa connaissance, constituent des cas de fraude présumée ou confirmée. Chaque élève doit confirmer que son travail est authentique et qu'il s'agit de la version définitive. Une fois que l'élève a remis la version définitive de son travail de manière officielle, il n'est plus possible de faire marche arrière. L'exigence selon laquelle l'authenticité des travaux doit être confirmée s'applique aux travaux de la totalité des élèves, et non pas uniquement aux échantillons de travaux envoyés à l'IB pour la révision de notation. Pour obtenir de plus amples informations, veuillez consulter les publications de l'IB intitulées *Politique d'intégrité intellectuelle* et *Le Programme du diplôme : des principes à la pratique*, ainsi que les articles pertinents du règlement général (disponible dans la publication *Procédures d'évaluation du Programme du diplôme*).

L'authenticité du travail peut être vérifiée en discutant avec l'élève du contenu de son travail et en examinant en détail un ou plusieurs des éléments suivants :

- le projet initial de l'élève ;
- la version préliminaire du travail écrit ;
- les références citées ;
- le style d'écriture, en comparaison avec d'autres travaux de l'élève ;
- une analyse du travail réalisée au moyen d'un service en ligne spécialisé dans la détection du plagiat, tel que [turnitin.com/fr/](http://turnitin.com/fr/).

Un même travail ne peut être remis pour satisfaire aux exigences de l'évaluation interne et du mémoire.

## Volume horaire

L'évaluation interne fait partie intégrante du cours de biologie. Elle correspond à 20 % de l'évaluation finale au NM et au NS. Cette pondération doit se refléter dans le temps alloué à l'enseignement des connaissances, des compétences et de la compréhension requises, de même que dans le temps total alloué pour effectuer le travail requis.

Il est recommandé d'attribuer un total d'environ 10 heures d'enseignement pour ce travail (au NM et au NS). Ce volume horaire doit comprendre :

- le temps nécessaire au personnel enseignant pour expliquer aux élèves les exigences en matière d'évaluation interne ;
- les heures de cours nécessaires pour permettre aux élèves de travailler sur la composante de l'évaluation interne et de poser des questions ;
- le temps nécessaire à chaque élève pour consulter son enseignant ou son enseignante ;
- le temps nécessaire pour mesurer les progrès effectués et vérifier l'authenticité du travail.

## Exigences et recommandations en matière de sécurité

Toutes les personnes impliquées dans l'enseignement des sciences ont la responsabilité de faire en sorte que les travaux pratiques se déroulent en permanence dans un environnement sûr et sain.

Les méthodes de travail et les protocoles doivent permettre de protéger efficacement les élèves et l'environnement. Les établissements scolaires sont tenus de respecter les directives locales ou nationales, qui varient d'un pays à l'autre. De plus amples informations sont fournies dans le *Matériel de soutien pédagogique de biologie*.

## Utilisation des critères d'évaluation interne

L'évaluation interne se base sur un certain nombre de critères définis. Chaque critère d'évaluation comprend des descripteurs définissant des niveaux d'accomplissement spécifiques auxquels correspond une gamme de points. Bien que les descripteurs de niveaux portent sur les aspects positifs du travail, la notion d'échec peut être incluse dans la description des niveaux les plus bas.

Le personnel enseignant doit évaluer les travaux remis pour l'évaluation interne au NM et au NS à l'aide des critères d'évaluation, en utilisant les descripteurs de niveaux.

- Les critères d'évaluation sont identiques pour le NM et le NS.
- Le but consiste à trouver, pour chaque critère, le descripteur qui correspond le mieux au niveau du travail à l'aide de l'approche de meilleur ajustement. Cette approche consiste à effectuer un ajustement lorsqu'un travail présente des aspects du critère à des niveaux différents. Le nombre de points attribués doit refléter le plus possible l'accomplissement dans son ensemble par rapport au

critère. Il n'est pas nécessaire que tous les aspects du descripteur de niveau soient présents pour que le ou les points correspondants soient attribués.

- Lors de l'évaluation du travail de l'élève, le personnel enseignant doit, pour chaque critère, lire les descripteurs de niveaux jusqu'à atteindre celui qui décrit le mieux le travail évalué. Si un travail semble se situer entre deux descripteurs, il faut les relire et choisir celui qui est le plus approprié au travail de l'élève.
- Lorsqu'un niveau contient deux notes, le personnel enseignant doit donner la note la plus élevée si le travail de l'élève démontre les qualités décrites dans une large mesure ; la qualité du travail est alors très proche du niveau supérieur. Le personnel enseignant doit donner la note la plus basse si le travail de l'élève démontre les qualités décrites dans une moindre mesure ; la qualité du travail est alors proche du niveau inférieur.
- Seuls les nombres entiers seront retenus. Les notes partielles, c'est-à-dire les fractions et les décimales, ne sont pas acceptées.
- Le personnel enseignant ne doit pas penser en termes de réussite ou d'échec, mais plutôt chercher à déterminer le descripteur adéquat pour chaque critère d'évaluation.
- Les descripteurs les plus élevés ne correspondent pas nécessairement à un travail parfait et doivent être à la portée des élèves. Le personnel enseignant ne doit pas hésiter à choisir les extrêmes s'ils décrivent adéquatement le niveau du travail évalué.
- Un travail d'élève qui a atteint un niveau élevé pour un critère donné n'atteindra pas nécessairement un niveau élevé pour les autres critères. De même, l'obtention d'un niveau peu élevé pour un critère donné ne signifie pas nécessairement que le travail atteindra un niveau peu élevé pour les autres critères. Le personnel enseignant ne doit pas s'attendre à voir l'évaluation de l'ensemble des élèves suivre une distribution particulière de points.
- Il est recommandé de mettre les critères d'évaluation à la disposition des élèves.

## Description détaillée de l'évaluation interne – NM et NS

### Recherche scientifique

**Durée : 10 heures**

**Pondération : 20 %**

Les exigences de l'évaluation interne sont les mêmes pour la biologie, la chimie et la physique. L'évaluation interne, qui compte pour 20 % de l'évaluation finale, consiste en une recherche scientifique.

La recherche scientifique est une tâche ouverte dans le cadre de laquelle l'élève collecte et analyse des données afin de répondre à une question de recherche de sa propre invention.

Le résultat de la recherche scientifique sera évalué sous la forme d'un rapport écrit, dont la longueur maximale est de 3 000 mots.

Les éléments suivants ne sont pas compris dans le nombre limite de mots :

- les tableaux et les diagrammes ;
- les tableaux de données ;
- les équations, les formules et les calculs ;
- les travaux cités ou les références (présentés entre parenthèses ou numérotés, sous forme de notes en bas de page ou de notes en fin de texte) ;
- la bibliographie ;
- les en-têtes.

Les éléments suivants doivent apparaître au début du rapport :

- le titre de la recherche ;

- le code de l'élève (code alphanumérique, par exemple, xyz123) ;
- les codes de l'ensemble des élèves membres du groupe (le cas échéant) ;
- le nombre de mots.

Il n'est pas nécessaire d'inclure une page de couverture ni une table des matières.

### **Accompagnement lors de la recherche scientifique**

La question de recherche doit présenter un intérêt pour l'élève, mais il n'est pas nécessaire qu'elle englobe des concepts allant au-delà de ceux décrits dans les notions clés comprises dans le présent guide.

La recherche scientifique entreprise doit être suffisamment étendue et approfondie pour permettre de couvrir tous les descripteurs des critères d'évaluation de manière pertinente.

Pour répondre à la question de recherche, les élèves doivent collecter et analyser des données quantitatives qui doivent être étayées, le cas échéant, par des observations qualitatives.

Un large éventail de techniques de collecte et d'analyse des données peuvent être utilisées dans le cadre de la recherche scientifique. Les approches possibles pouvant être conjuguées entre elles ou utilisées de manière isolée sont les suivantes :

- des travaux pratiques en laboratoire ;
- un travail de terrain ;
- l'utilisation d'un tableur pour l'analyse et la modélisation ;
- l'extraction de données d'une base de données et leur analyse ;
- l'utilisation d'une simulation.

Le *Matériel de soutien pédagogique de biologie* contient des informations supplémentaires sur ces approches possibles.

Le personnel enseignant doit :

- s'assurer que les élèves connaissent les critères d'évaluation ;
- s'assurer que les élèves sont à même de répondre à leur question de recherche ;
- conseiller les élèves sur la faisabilité de la méthodologie envisagée par rapport au temps et aux ressources disponibles ;
- s'assurer que les élèves ont bien pris en considération les facteurs relatifs à la sécurité, à l'éthique et à la protection de l'environnement avant d'entreprendre la phase d'action ;
- rappeler aux élèves les exigences en matière d'intégrité intellectuelle et les conséquences en cas de fraude. Il est impératif de bien comprendre la différence entre collaboration et collusion.

### **Élaboration de la question de recherche**

Chaque élève doit formuler une question de recherche unique, l'étudier et y répondre en demandant conseil à son enseignant ou à son enseignante.

Il n'est pas possible de présenter le même ensemble de données brutes qu'une autre personne.

### **Méthodologie pour le travail individuel**

Chaque élève développe sa propre méthodologie pour répondre à sa question de recherche. L'élève mène sa recherche :

- en manipulant une variable indépendante ;
- ou**
- en sélectionnant des variables au cours d'un travail de terrain ;
- ou**
- en sélectionnant différentes données dans des bases de données externes.

L'élève peut demander l'aide de ses pairs lors de la collecte des données.

### **Méthodologie pour le travail en collaboration**

Le travail en collaboration est facultatif et, quand il a lieu, les groupes formés ne doivent pas compter plus de trois élèves. Les élèves peuvent organiser leurs propres groupes. L'équipe pédagogique doit fournir des conseils afin de s'assurer que la totalité des élèves participe pleinement à l'activité de collaboration. Les élèves doivent comprendre clairement qu'il faut mener une recherche personnelle.

La méthodologie développée pour répondre à leur question de recherche peut être en partie le résultat d'une activité de collaboration. Un ou une élève faisant partie d'un groupe étudie sa question personnelle de recherche en manipulant :

- une variable indépendante différente de celles sélectionnées par les autres membres du groupe ;

**ou**

- la même variable indépendante avec une variable dépendante différente de celles sélectionnées par les autres membres du groupe ;

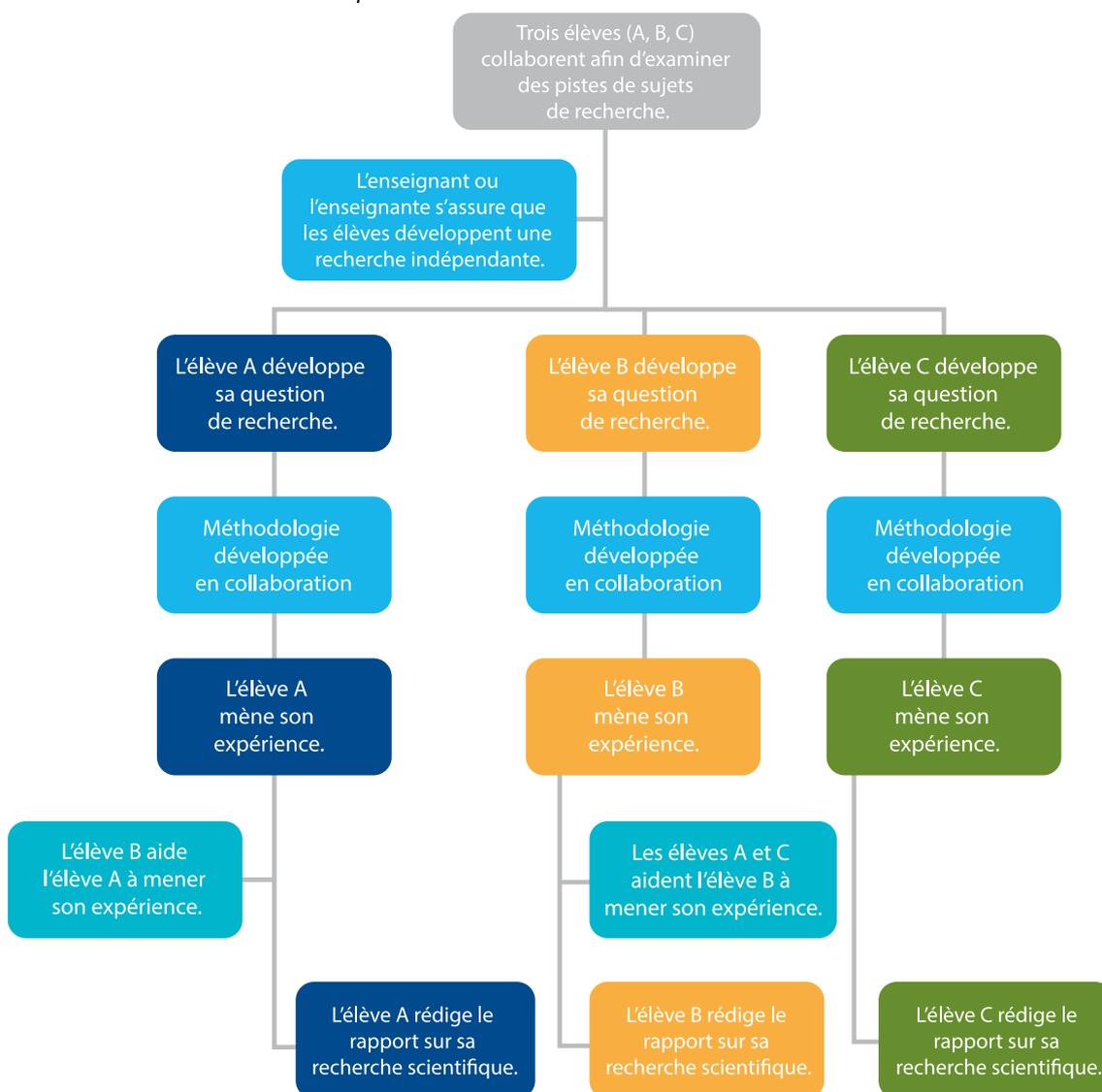
**ou**

- des données différentes de celles sélectionnées par les autres membres du groupe dans un large ensemble de données acquises en commun.

Le travail en collaboration est autorisé dans ce contexte tant qu'il est clairement compris que le rapport final remis pour l'évaluation est le fruit du travail personnel de l'élève. Les élèves ne peuvent en aucun cas remettre un rapport de groupe. La rédaction dudit rapport, notamment la description de la méthodologie, doit être effectuée de manière individuelle. Le diagramme suivant illustre un parcours pouvant être suivi par les élèves afin de travailler en collaboration dans le cadre du processus d'évaluation interne.

Figure 3

## Parcours possible dans le cadre d'un travail en collaboration

**Collaboration en classe pour créer une base de données**

Un établissement scolaire peut participer à une activité à grande échelle consistant à collecter des données afin de générer une base de données à l'aide de protocoles standardisés. Si un ou une élève décide d'utiliser cette base de données pour répondre à sa question de recherche, la recherche doit être traitée comme une recherche reposant sur une base de données. Dans ce cas, la méthodologie doit être axée sur le filtrage et l'échantillonnage des données à partir de l'ensemble de la base de données, de la même manière que si les données provenaient intégralement d'une source externe.

**Évaluation de la recherche scientifique**

Au NM et au NS, les recherches sont notées à l'aide de critères d'évaluation communs et chaque élève obtient une note totale sur 24 points. Les recherches des élèves sont évaluées en interne par le personnel enseignant puis soumises à une révision de notation externe effectuée par l'IB.

Les quatre critères d'évaluation sont les suivants :

- méthode de recherche ;

- analyse des données ;
- conclusion ;
- évaluation.

Chaque critère d'évaluation comprend des descripteurs définissant des niveaux d'accomplissement spécifiques auxquels correspond une gamme de points. Bien que les descripteurs de niveaux portent sur les aspects positifs du travail, la notion d'échec peut être incluse dans la description des niveaux les plus bas.

Le personnel enseignant doit évaluer les travaux remis pour l'évaluation interne au NS et au NM à l'aide des mêmes critères d'évaluation, en utilisant les descripteurs de niveaux et en s'appuyant sur les clarifications. Les critères doivent être appliqués de manière systématique selon l'approche dite de meilleur ajustement : lorsqu'un travail présente des aspects d'un critère à des niveaux différents, le nombre de points attribués doit refléter le plus possible l'accomplissement dans son ensemble par rapport audit critère. Il n'est pas nécessaire que tous les aspects du descripteur de niveau soient présents pour que le ou les points correspondants soient attribués. Les descripteurs les plus élevés ne correspondent pas nécessairement à un travail parfait.

Lorsqu'un niveau contient deux notes ou plus, le personnel enseignant doit donner la note la plus élevée si le travail de l'élève correspond dans une large mesure aux qualités décrites ; la qualité du travail est alors proche du niveau supérieur. Le personnel enseignant doit donner la note la plus basse si le travail de l'élève démontre les qualités décrites dans une moindre mesure ; la qualité du travail est alors proche du niveau inférieur.

Seuls les nombres entiers seront retenus. Les notes partielles, c'est-à-dire les fractions et les décimales, ne sont pas acceptées.

Les critères doivent être considérés indépendamment les uns des autres. Un travail d'élève qui a atteint un niveau élevé pour un critère donné n'atteindra pas nécessairement un niveau élevé pour les autres critères. De même, l'obtention d'un niveau peu élevé pour un critère donné ne signifie pas nécessairement que le travail atteindra un niveau peu élevé pour les autres critères. Le personnel enseignant ne doit pas s'attendre à voir l'évaluation de l'ensemble des élèves suivre une distribution particulière de points.

Lorsque des mots-consignes sont utilisés dans les descripteurs de niveaux, ils doivent être interprétés conformément à leur définition fournie dans la section du présent guide intitulée « Glossaire des mots-consignes ». Ces mots-consignes indiquent le niveau d'approfondissement requis pour le traitement. Les mots-consignes utilisés dans les descripteurs sont présentés dans le tableau suivant.

| Objectif d'évaluation | Mot-consigne | Descripteur   |
|-----------------------|--------------|---|
| OE1                   | Indiquer     | Donner un nom spécifique, une valeur ou toute autre réponse brève sans explication ni calcul. |
| OE2                   | Identifier   | Fournir la bonne réponse à partir de plusieurs possibilités.                                  |
| OE2                   | Résumer      | Présenter brièvement ou donner une idée générale.   |
| OE2                   | Décrire      | Exposer de façon détaillée.   |
| OE3                   | Expliquer    | Donner un compte rendu détaillé incluant les raisons ou les causes.                           |
| OE3                   | Justifier    | Donner des raisons ou des preuves valables pour étayer une réponse ou une conclusion.         |

### Mention des sources et intégrité intellectuelle

Les élèves doivent mentionner la source des informations utilisées dans le rapport sur la recherche scientifique de manière appropriée. L'omission de la mention des sources ou une mention inadéquate sera considérée comme une fraude.

Les élèves doivent s'assurer que les travaux remis pour l'évaluation respectent la politique de l'IB en matière d'intégrité intellectuelle et que toutes les sources ont été mentionnées de manière appropriée. Tout manquement à cette exigence fera l'objet d'une enquête par l'IB pour infraction au règlement. Cela pourra

donner lieu à l'application d'une sanction par le comité d'attribution des notes finales de l'IB. Pour de plus amples informations, veuillez consulter la section du présent guide intitulée « Intégrité intellectuelle ».

## Critères d'évaluation interne – NM et NS

**Télécharger :** critères d'évaluation interne – NM et NS (PDF)

Il existe quatre critères d'évaluation interne pour la recherche scientifique. Le nombre de points et la pondération sont répartis comme suit.

| Critère              | Nombre maximal de points | Pondération |
|----------------------|--------------------------|-------------|
| Méthode de recherche | 6                        | 25 %        |
| Analyse des données  | 6                        | 25 %        |
| Conclusion           | 6                        | 25 %        |
| Évaluation           | 6                        | 25 %        |
| <b>Total</b>         | <b>24</b>                | <b>100</b>  |

### Méthode de recherche

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle l'élève communique efficacement la méthodologie (but et pratique) utilisée pour traiter la question de recherche.

| Points | Descripteurs de niveaux  |
|--------|--|
| 0      | Le rapport n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.  |
| 1 – 2  | <ul style="list-style-type: none"> <li>La question de recherche est indiquée sans contexte.</li> <li>Des considérations méthodologiques concernant la collecte de données adaptées à la question de recherche sont indiquées.</li> <li>La description de la méthodologie utilisée pour collecter ou sélectionner les données manque de détails pour permettre de reproduire la recherche.</li> </ul>   |
| 3 – 4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>La question de recherche est résumée dans un contexte large.</li> <li>Des considérations méthodologiques concernant la collecte de données pertinentes et suffisantes pour répondre à la question de recherche sont décrites.</li> <li>La description de la méthodologie utilisée pour collecter ou sélectionner les données permet de reproduire la recherche avec peu d'ambiguïtés ou d'omissions.</li> </ul> |
| 5 – 6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>La question de recherche est décrite dans un contexte spécifique et approprié.</li> <li>Des considérations méthodologiques concernant la collecte de données pertinentes et suffisantes pour répondre à la question de recherche sont expliquées.</li> <li>La description de la méthodologie utilisée pour collecter ou sélectionner les données permet de reproduire la recherche.</li> </ul>                  |

#### Clarifications concernant la méthode de recherche

Une question de recherche ancrée dans un contexte doit inclure des références aux variables dépendante et indépendante ou à deux variables corrélées. Elle doit également comprendre une description concise du système dans lequel s'inscrit la question de recherche, ainsi que les fondements théoriques directement pertinents.

Les considérations méthodologiques comprennent :

- le choix des méthodes de mesure des variables dépendantes et indépendantes ;
- la sélection des bases de données ou du modèle et l'échantillonnage de données ;

**Clarifications concernant la méthode de recherche**

- les décisions concernant la portée, la quantité et la qualité des mesures (par exemple, l'étendue, l'intervalle ou la fréquence de la variable indépendante, la répétition et la précision des mesures) ;
- l'identification de variables de contrôle et le choix de la méthode de contrôle ;
- la reconnaissance des questions de sécurité, d'éthique et de protection de l'environnement qui doivent être prises en considération.

La description de la méthodologie fait référence à la présentation d'informations suffisamment détaillées (par exemple, le matériel spécifique employé et les étapes précises de la procédure suivie) tout en évitant les informations répétitives ou inutiles, de sorte que l'on puisse aisément comprendre comment la méthodologie a été mise en œuvre et, en principe, être en mesure de reproduire la recherche.

**Analyse des données**

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle le rapport apporte la preuve que l'élève a consigné, traité et présenté les données d'une façon adaptée à la question de recherche.

| Points | Descripteurs de niveaux  |
|--------|--|
| 0      | Le rapport n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.  |
| 1 – 2  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La consignation et le traitement des données sont communiqués d'une manière qui n'est ni claire ni précise.</li> <li>• La consignation et le traitement des données montrent des preuves limitées d'une prise en considération des incertitudes.</li> <li>• Un certain traitement des données adaptées pour répondre à la question de recherche est effectué, mais il comporte des omissions, des inexactitudes ou des incohérences majeures.</li> </ul>                                      |
| 3 – 4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La communication de la consignation et du traitement des données est soit claire soit précise.</li> <li>• La consignation et le traitement des données montrent des preuves d'une prise en considération des incertitudes, mais comportent des omissions ou des inexactitudes importantes.</li> <li>• Le traitement des données adaptées pour répondre à la question de recherche est effectué, mais il comporte des omissions, des inexactitudes ou des incohérences importantes.</li> </ul> |
| 5 – 6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La communication de la consignation et du traitement des données est à la fois claire et précise.</li> <li>• La consignation et le traitement des données montrent des preuves d'une prise en considération appropriée des incertitudes.</li> <li>• Le traitement des données adaptées pour répondre à la question de recherche est effectué de manière appropriée et exacte.</li> </ul>  |

**Clarifications concernant l'analyse des données**

Les données font référence à des données quantitatives, ou à une combinaison de données quantitatives et qualitatives.

**Communication**

- Une communication claire signifie que la méthode de traitement est facile à comprendre.
- Une communication précise se rapporte au respect des conventions, par exemple concernant l'annotation des graphiques et des tableaux ou l'utilisation d'unités, de décimales et de chiffres significatifs.

**Clarifications concernant l'analyse des données**

La prise en considération des incertitudes est spécifique à chaque matière. De plus amples informations sont disponibles dans le *Matériel de soutien pédagogique de biologie*.

Des omissions, des inexactitudes ou des incohérences sont majeures lorsqu'elles empêchent d'apporter une réponse valide à la question de recherche.

Des omissions, des inexactitudes ou des incohérences sont importantes lorsqu'il est possible d'apporter une réponse à la question de recherche, mais avec un degré limité de validité ou de précision.

**Conclusion**

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle l'élève répond avec succès à sa question de recherche, compte tenu de son analyse et du contexte scientifique reconnu.

| Points | Descripteurs de niveaux  |
|--------|--|
| 0      | Le rapport n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.  |
| 1 – 2  | <ul style="list-style-type: none"> <li>L'élève indique une conclusion qui est adaptée à la question de recherche, mais qui n'est pas étayée par l'analyse présentée.</li> <li>La conclusion établit une comparaison superficielle avec le contexte scientifique reconnu.</li> </ul>  |
| 3 – 4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>L'élève décrit une conclusion qui est adaptée à la question de recherche, mais qui n'est pas complètement cohérente avec l'analyse présentée.</li> <li>La conclusion est décrite et établit, dans une certaine mesure, une comparaison pertinente avec le contexte scientifique reconnu.</li> </ul> |
| 5 – 6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>L'élève justifie une conclusion qui est adaptée à la question de recherche et qui est complètement cohérente avec l'analyse présentée.</li> <li>La conclusion est justifiée au moyen d'une comparaison pertinente avec le contexte scientifique reconnu.</li> </ul>                                 |

**Clarifications concernant la conclusion**

Une conclusion qui est complètement cohérente requiert l'interprétation des données traitées, y compris des incertitudes associées.

Le contexte scientifique se rapporte aux informations pouvant provenir de documents publiés (imprimés ou en ligne), de valeurs publiées, de notes de cours, de manuels ou d'autres ressources externes. Les mentions des ressources et documents publiés doivent être suffisamment détaillées pour permettre de retrouver les sources.

**Évaluation**

Ce critère sert à évaluer la mesure dans laquelle le rapport de l'élève apporte la preuve d'une évaluation de la méthodologie de recherche utilisée et des suggestions d'améliorations.

| Points | Descripteurs de niveaux  |
|--------|--|
| 0      | Le rapport n'atteint pas l'un des niveaux décrits ci-dessous.  |
| 1 – 2  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Le rapport indique des points faibles ou des limites méthodologiques généraux.</li> <li>L'élève indique des améliorations réalistes à apporter à la recherche.</li> </ul>   |
| 3 – 4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Le rapport décrit des points faibles ou des limites méthodologiques spécifiques.</li> <li>L'élève décrit des améliorations réalistes à apporter à la recherche, qui sont pertinentes par rapport aux points faibles ou aux limites mentionnés.</li> </ul> |

| Points | Descripteurs de niveaux  |
|--------|--|
| 5 – 6  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Le rapport explique l'influence relative de points faibles ou de limites méthodologiques spécifiques.</li><li>• L'élève explique des améliorations réalistes à apporter à la recherche, qui sont pertinentes par rapport aux points faibles ou aux limites mentionnés.</li></ul> |

#### Clarifications concernant l'évaluation

L'adjectif « général » se rapporte à diverses méthodologies et non spécifiquement à la méthodologie de recherche évaluée.

L'adjectif « méthodologique » fait référence à la démarche globale adoptée pour répondre à la question de recherche, ainsi qu'aux étapes de la procédure.

Les points faibles peuvent être liés au contrôle des variables, à la précision des mesures ou à la variation des données.

Les limites peuvent faire référence à la portée restreinte de la conclusion en raison de l'étendue des données collectées, des limites du système ou de l'applicabilité des hypothèses émises.