

2026

**Programme
LFA**

Biologie

Enseignement de spécialité

Classes de Première et Terminale

1. IDÉES DIRECTRICES

1.1. FINALITES EDUCATIVES

L'enseignement de spécialité de biologie pour les classes de première et de terminale propose un enseignement approfondi dans la continuité de l'enseignement commun en classe de Seconde. Il doit plus particulièrement préparer les élèves aux attendus de l'enseignement supérieur en approfondissant les compétences, savoirs et méthodes, en construisant des repères solides, en développant le travail de recherche et le sens critique. Pour autant, il ne doit pas être considéré d'emblée comme un enseignement pour spécialistes, mais se concevoir comme un enseignement de spécialisation graduelle, ouvert à tous les élèves intéressés par une réflexion fine et approfondie sur la biologie et ses implications dans les enjeux du XXIème siècle. Il convient donc de prévoir dans sa mise en œuvre l'espace nécessaire à la différenciation pédagogique.

L'étude de la biologie, comme des autres sciences, permet aux élèves de distinguer ce qui relève des croyances et des savoirs scientifiques. L'enseignement de spécialité doit leur permettre d'entrer plus profondément dans une relation scientifique avec les phénomènes naturels, le monde vivant, et les techniques. Cette posture scientifique, faite d'attitudes (curiosité, ouverture d'esprit, remise en question de ses représentations personnelles, exploitation positive des erreurs...) et de capacités (observer, expérimenter, mesurer, raisonner, modéliser...) permet à l'élève de comprendre que les connaissances qu'il acquiert, mémorise et qui lui sont déjà utiles devront nécessairement être approfondies, révisées et peut-être remises en cause tant dans la suite de ses études que tout au long de sa vie. Le développement des apprentissages en biologie est ancré dans l'approche expérimentale, le réel et le concret, qu'il convient d'intégrer sous forme de projets sur des thématiques partagées avec la physique, la chimie et la technologie. La biologie, science du complexe, se construit également de façon systémique en engageant des échelles à la fois spatiales et temporelles.

1.2. OBJECTIFS

1.2.1. COMPETENCES DISCIPLINAIRES :

Les compétences liées au contenu de la discipline sont présentées au chapitre 2 en fonction du niveau

1.2.1.1. Compétences linguistiques (Enseignement sensible à la langue)

Les contenus de cours doivent être diversifiés au maximum de manière à placer les élèves le plus souvent possible en situation d'expression spontanée dans les deux langues. Les situations de communication en classe, dans l'établissement ou hors l'établissement doivent permettre aux élèves d'appréhender divers registres de la langue orale et écrite et de développer des compétences discursives pour décrire, expliquer, justifier, argumenter, dialoguer, débattre, porter des arguments scientifiques et des décisions, évaluer et agir de manière appropriée dans les deux langues de scolarisation.

La diversité des documents mis en œuvre dans le cadre du cours de biologie dans les deux langues, documents provenant, en particulier pour ce qui concerne l'enseignement de spécialité, d'articles scientifiques authentiques ou très peu didactisés - textes, graphiques, schémas tableaux, documents iconographiques, résultats expérimentaux...- doit permettre aux élèves d'exercer leurs stratégies d'accès au sens. Les différents modes de représentation des phénomènes biologiques, des structures, des résultats expérimentaux etc. auxquels ils confrontent les élèves développent leur réflexion critique sur la langue. Les démarches scientifiques, au travers des différentes étapes qu'elles amènent les élèves à conduire et à verbaliser, doivent quant à elles leur permettre de renforcer leurs compétences discursives. En parallèle, le vocabulaire spécifique et la particularité de l'expression scientifique permettent d'approfondir

l'étude des langues avec une attention particulière portée à la différence entre le français et l'allemand dans la manière dont ces deux langues précisent les concepts scientifiques (mots composés allemands et périphrases françaises).

La composition de corpus intégrant des documents en langue anglaise, langue scientifique internationale, voire en d'autres langues proches de l'une ou de l'autre des deux langues de scolarisation, doit amener les élèves à mobiliser leur répertoire plurilingue dans l'accomplissement des activités scientifiques.

1.2.2. COMPETENCES TRANSVERSALES :

1.2.2.1. Compétences cognitives et procédurales

L'enseignement de la biologie a vocation à développer chez les élèves un ensemble de compétences cognitives essentielles. Parmi celles-ci, on peut citer l'observation minutieuse, permettant aux élèves d'identifier des éléments dans les structures biologiques et les processus naturels et la capacité à passer mentalement entre les différents niveaux d'organisation du vivant à différentes échelles. L'analyse critique est également fondamentale, encourageant les élèves à interpréter des données expérimentales et à en tirer des conclusions logiques. La pensée systémique est particulièrement importante en biologie, car elle permet aux élèves de comprendre les interactions complexes au sein des écosystèmes et des organismes. De plus, la formulation d'hypothèses et la conception d'expériences stimulent la créativité scientifique et la rigueur méthodologique. Enfin, la capacité à modéliser des concepts abstraits, comme les processus cellulaires ou l'évolution, aide les élèves à visualiser et à comprendre des phénomènes qui ne sont pas directement observables. Ces compétences, une fois maîtrisées, ne se limitent pas à la biologie mais sont transférables à d'autres domaines scientifiques et à la résolution de problèmes dans la vie quotidienne. En biologie, les élèves sont accompagnés pour acquérir progressivement des compétences disciplinaires d'un haut niveau, qui leur seront utiles à la fois pour déterminer leurs choix d'orientation et dans leur poursuite d'études dans le supérieur.

Dans l'enseignement de la biologie, il est crucial de développer chez les élèves des compétences procédurales essentielles à la démarche scientifique. Ces compétences incluent la capacité à formuler des hypothèses, à concevoir et à réaliser des expériences, à observer minutieusement, à collecter et à analyser des données, ainsi qu'à tirer des conclusions basées sur des preuves. Les élèves doivent également apprendre à utiliser correctement le matériel de laboratoire, à suivre des protocoles expérimentaux, et à respecter les normes de sécurité. La maîtrise de nombreuses techniques (expérimentation assistée par ordinateur, exploitation de bases de données, techniques biochimiques de laboratoire, utilisation de microscopes, réalisation de dissections, préparation d'échantillons...) est tout aussi importante. En outre, les compétences en matière de documentation scientifique, telles que la tenue d'un cahier de laboratoire, la réalisation de schémas précis, et la rédaction de productions scientifiques à l'écrit comme à l'oral, sont essentielles. Enfin, l'aptitude à communiquer efficacement les résultats et à participer à des discussions scientifiques constructives complète cet ensemble de compétences procédurales indispensables pour une formation solide en biologie.

1.2.2.2. Compétences numériques et techniques

Grâce à une utilisation ciblée et réfléchie des outils et médias numériques, les processus d'enseignement et d'apprentissage peuvent être soutenus, enrichis et redéfinis. L'éducation aux médias doit être prise en compte lors de la conception des cours.

Les outils numériques peuvent être utilisés en particulier pour la recherche documentaire, l'acquisition et l'analyse des données, pour la modélisation, pour la recherche et pour la présentation des résultats issus des expériences menées par les élèves. Une évaluation critique des sources et un examen du droit d'auteur devraient également être effectués.

Les outils numériques peuvent également favoriser les approches collaboratives entre élèves et leur communication avec des partenaires extérieurs.

L'utilisation de l'IA dans l'enseignement permettra aux élèves d'utiliser les technologies de l'IA de manière responsable, réfléchie et éthique.

1.2.2.3. Autogestion, orientation et compétences en équipe

Une articulation solide entre le travail individuel et collectif doit permettre à chacun de mobiliser son répertoire plurilingue et interculturel et ses connaissances dans l'accomplissement des tâches demandées, autant que d'établir un dialogue avec les pairs autour d'un objet de travail. L'approche coopérative, qui responsabilise l'élève dans l'accomplissement d'une partie du travail collectif, participe du renforcement de l'estime de soi et du sentiment d'appartenance à un groupe.

Ces compétences doivent permettre aux élèves de 1. organiser leur propre travail scientifique, 2. le suivre de manière critique et 3. le réaliser en équipe :

1. Les élèves peuvent :

- Analyser, structurer et présenter les informations de manière pertinente en fonction de leur destinataire (médiation) ;
- Transposer les informations des textes, des données expérimentales, des diagrammes, des cartes mentales, des tableaux et des représentations symboliques (équations chimiques) en d'autres formes de représentation pour mieux se les approprier et les transmettre à un tiers ;
- Présenter les méthodes et les résultats des observations, enquêtes et expériences biologiques sous une forme appropriée et les argumenter ;
- Faire la distinction entre le langage courant et le langage technique et utiliser les termes scientifiques de manière appropriée.

2. Les élèves peuvent :

- Reconnaître des faits biologiques dans différents contextes ;
- Discuter et évaluer des décisions, des mesures et des comportements sur la base de connaissances spécialisées et en tenant compte de différentes perspectives ;
- Évaluer l'importance, la portée et les limites des applications scientifiques.

3. Les élèves peuvent :

- Se connaître et reconnaître les autres dans leur individualité ;
- Assumer la responsabilité de leur travail et de celui de l'équipe, planifier ensemble, structurer, réfléchir et évaluer les résultats.

En outre, les objectifs généraux de la vie en société doivent également être développés : motivation, fiabilité, autonomie, responsabilité, tolérance et capacité à travailler en équipe.

Pour favoriser l'expression de soi dans la langue du partenaire, les méthodes d'enseignement cibleront de manière explicite les compétences de culture démocratique, et notamment :

- Les valeurs : renforcer l'expression démocratique des élèves (débat basé sur des arguments scientifiques) ;
- Les attitudes : favoriser l'autonomie des élèves en les responsabilisant à l'égard des autres ;
- L'esprit critique : développer une vision nuancée du monde (convergences et divergences dans les approches scientifiques dans les deux pays) ;
- Les aptitudes : privilégier les approches collaboratives tant pour entraîner que pour évaluer.

1.2.2.4. Compétences civiques et démocratiques

Très généralement, la progression linguistique des élèves repose fondamentalement sur l'articulation explicite entre les espaces d'éducation formels (en classe), informels (dans l'École) et non-formels (hors l'École). Cela implique de privilégier les approches collaboratives entre élèves (travaux en binômes et en groupes franco-allemands) et de programmer des situations amenant les élèves à négocier et à porter une décision collective. Les projets scientifiques partenariaux avec les partenaires associatifs, le monde économique, les centres de recherche et les musées, dans les deux aires linguistiques et culturelles doivent également donner aux élèves un maximum d'opportunités pour s'exposer à la langue et la culture du partenaire et partager avec lui sa langue et culture dans une logique de forte responsabilisation.

Les domaines de la santé, des biotechnologies, de la bioéthique, de l'environnement et du développement durable revêtent une importance sociale, économique et individuelle croissante. La biologie est une discipline hautement intégratrice, combinant les disciplines scientifiques et techniques avec les sciences sociales et humaines. La biologie contribue à l'image de soi, de l'être humain en tant que partie de la nature vivante. Les résultats récents dans les domaines de la santé et de la nutrition, des biotechnologies et du génie génétique, de l'écologie et de la médecine reproductive, ont un effet direct sur la manière dont nous façonnons nos vies personnelles. Pour de nombreuses questions d'intérêt sociétal, les compétences acquises en biologie sont une condition préalable à une prise de décision, individuelle et collective, bien fondée. Elle s'insère dans les discussions politiques et aide à prendre des décisions au cœur des enjeux du XXIème siècle.

Les connaissances spécialisées en biologie constituent la base d'une réflexion sur la place de l'être humain dans le vivant, sur lui-même et sur ses relations avec l'environnement. La biologie est une source d'inspiration pour réfléchir aux influences des connaissances scientifiques sur la vision du monde des individus et sur le rôle qu'ils y jouent.

1.2.2.5. Compétences franco-allemandes, européennes et internationales

Grâce aux enseignements des disciplines entièrement intégrés de la Première et de la Terminale dans les lycées franco-allemands, les élèves renforcent leur capacité à mobiliser leur répertoire plurilingue, particulièrement précieuse dans les situations auxquelles ils seront confrontés dans divers contextes, en particulier internationaux, au cours de leurs études supérieures et de leur vie personnelle et professionnelle.

La connaissance des processus linguistiques et, selon la tradition pédagogique, les différentes approches des questions techniques et scientifiques favorisent la compréhension de la culture du partenaire et la capacité des élèves à s'en faire les médiateurs.

Au fil des apprentissages disciplinaires, du travail autour des problématiques scientifiques, sociétales et transversales sur les grands enjeux du monde contemporain et de demain que touche la biologie, par la mise en œuvre de démarches scientifiques variées et la découverte de l'histoire des sciences qui leur permet de distinguer ce qui relève de la science et ce qui relève d'une opinion ou d'une croyance et grâce aux compétences communicatives que le cursus en LFA permet aux élèves d'acquérir à un niveau indépendant, ceux-ci acquièrent une puissante capacité à agir efficacement dans la société dans laquelle ils vivent, à se faire médiateurs de la culture scientifique et de l'application de l'esprit critique. Ils peuvent ainsi contribuer efficacement à éclairer la société dans laquelle ils vivent et à combattre les préjugés et fausses informations qui nuisent au vivre ensemble dans des sociétés démocratiques.

Les grands enjeux sont notamment :

- L'éducation au développement durable
- L'éducation à la tolérance et à l'acceptation de la diversité
- La prévention et la promotion de la santé
- L'orientation professionnelle

- L'éducation aux médias
- L'éducation des consommateurs
- La prévention des risques
- La construction citoyenne

1.3. ENJEUX METHODOLOGIQUES

Le programme de biologie est le résultat d'une collaboration franco-allemande. Il est composé de contenus issus des différents cursus et vise à offrir aux élèves français et allemands une formation de base en biologie en lien avec les pratiques pédagogiques respectives.

La pleine intégration des élèves français et allemands nécessite de mettre davantage l'accent sur le travail linguistique. Cela comprend la familiarisation avec des expressions spécifiques à une matière pour décrire les structures et les fonctions biologiques, mais également la pratique d'expressions générales issues des domaines de l'argumentation scientifique et de la conception expérimentale.

L'enseignement de spécialité, pensé dans une dynamique de projet, s'appuie sur des corpus des ressources authentiques et variées, approchées de manière à placer les élèves en situation réflexive, selon des modalités de travail diversifiées, individuelles ou collectives. Afin de permettre aux élèves d'identifier les nuances et les résonances inhérentes aux ressources scientifiques sur lesquelles s'appuient les investigations et démarches, et d'ainsi entraîner leur esprit critique, il est primordial d'encourager les allers-retours entre les productions au fur et à mesure qu'elles se complètent. Les élèves pourront être encouragés à procéder à des recherches et à en rendre compte à leurs camarades. La capacité à rendre compte d'une recherche, d'expériences, d'en expliciter les enjeux au-delà du simple partage d'informations littérales, nécessite des élèves qu'ils soient en mesure d'en faire une analyse distanciée à la lumière de leurs connaissances scientifiques.

1.4. ÉVALUATION DES PERFORMANCES

Les modalités générales et spécifiques des épreuves du baccalauréat sont fixées dans l'annexe de l'accord administratif intergouvernemental sur les lycées franco-allemands et le baccalauréat franco-allemand ainsi que dans les directives des épreuves et prévoient pour les enseignements de spécialité une épreuve écrite de 4 heures.

En cours d'apprentissage, l'évaluation doit permettre de mesurer régulièrement la capacité des élèves à mettre en œuvre la méthode expérimentale, à construire et vérifier des hypothèses, à exploiter des résultats et à utiliser des modèles. Les compétences de communication sont également évaluées, notamment la capacité à analyser, structurer et présenter des informations de manière argumentée, ainsi qu'à utiliser correctement la terminologie scientifique. La qualité de la langue mobilisée, allemande comme française, est prise en compte, à l'écrit comme à l'oral. Enfin, l'évaluation vise à s'assurer que les élèves peuvent reconnaître des faits biologiques dans différents contextes, déduire et évaluer des décisions sur la base de leurs connaissances, et apprécier l'importance et les limites des applications scientifiques.

Les différentes formes d'évaluation doivent concourir à une approche transparente et positive des acquis des élèves. L'évaluation sommative doit permettre de valoriser toutes les réussites, même intermédiaires, des élèves. Les critères d'évaluation doivent leur être connus et permettre la mise en valeur de leur progression. La valorisation des réussites collectives des élèves est aussi importante que la prise en compte des succès individuels.

Le suivi régulier de la progression des élèves est à mener par une observation directe des élèves en activité durant les séances. Ainsi, les modalités d'évaluation combineront les temps spécifiquement dédiés à l'évaluation et l'évaluation par observation des élèves en cours d'entraînement. Dans la discipline biologie, l'évaluation des capacités mises en œuvre dans le champ expérimental est intégrée au fil des

apprentissages. Elle valide les compétences mises en œuvre pendant les temps d'activités pratiques tout au long de la scolarité. Elle vise aussi à évaluer l'autonomie des élèves, les capacités techniques acquises ainsi que l'utilisation de l'oral dans l'argumentation scientifique.

Pour responsabiliser chaque élève dans ses propres apprentissages et l'accompagnement des autres, il est indispensable de donner une valeur particulière tant à l'auto-évaluation qu'à l'inter-évaluation. L'enjeu est d'articuler une logique de reconnaissance d'acquis avec une logique d'engagement dans un collectif. Cette réflexion sur leur progression et celle des autres trouve son aboutissement lorsque les élèves sont à même de proposer à l'enseignant une évaluation.

Première et Terminale

2. CONTENU D'APPRENTISSAGE

Le programme est structuré en deux colonnes. Étant donné que les différents domaines de compétences ne peuvent être strictement séparés les uns des autres, mais reflètent plutôt des compétences disciplinaires, ceux-ci sont présentés dans la colonne « Compétences attendues ». Toutes les compétences formulées dans cette colonne sont obligatoires.

Des informations didactiques et méthodologiques sont fournies dans la colonne « Informations générales et suggestions ». Ils fournissent éventuellement des précisions sur les compétences, des inspirations supplémentaires pour des expériences possibles, des conseils pour la mise en œuvre pédagogique ainsi que des liens thématiques avec d'autres chapitres du programme. L'annexe contient des options de mise en œuvre pour faciliter la planification des cours.

Le programme contient des spécifications pour des travaux pratiques. Les règles de sécurité légales doivent être strictement respectées dans tous les travaux pratiques.

Proposition de répartition des enseignements en première et terminale

Première (6h) Les répartitions horaires permettent de développer les différentes compétences dont les compétences expérimentales	Terminale (6h) Les répartitions horaires permettent de développer les différentes compétences dont les compétences expérimentales
2.1.1.	
	2.1.2. à 2.1.4.
2.2.1.	2.2.2.
2.3.1 à 2.3.3	2.3.4 et 2.4.
2.5	
2.6.1 à 2.6.3	2.6.4. à 2.6.8

2.1. MÉTABOLISME ET CONVERSIONS ÉNERGÉTIQUES

Cette partie du programme permet de montrer le rôle des enzymes dans les processus biologiques. On focalise les études sur l'anabolisme, le catabolisme et les couplages permettant les conversions énergétiques au sein des cellules.

2.1.1. ENZYMES

Cette partie du programme permet aux élèves de découvrir les différents niveaux de structure et les relations entre la structure des protéines et leurs fonctions, à travers leur étude. Les expériences menées en classe permettent de démontrer les propriétés des enzymes à partir d'un exemple. L'accent est mis en particulier sur le lien entre les mécanismes qui s'opèrent à l'échelle moléculaire et leurs effets sur les autres échelles d'organisation du vivant. Ceci offre l'opportunité de présenter l'utilisation des enzymes en biotechnologies, les professions associées et les programmes de formation qui souffrent actuellement d'une pénurie de jeunes en Europe.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Les protéines sont des macromolécules assurant des fonctions fondamentales et diversifiées dans le vivant ; elles sont classées en 4 grandes familles fonctionnelles : protéine structurelle, protéine de transport, enzyme, anticorps. Les enzymes sont essentielles au fonctionnement du métabolisme.	
Dessiner la structure générale d'un acide aminé (formule)	Un atome de carbone central est lié à un groupe amino (—NH_2), un groupe acide (—COOH), un atome d'hydrogène (H) et un résidu variable (-R), qui détermine les propriétés chimiques de l'acide aminé.
Décrire les niveaux structuraux des protéines : Structure primaire, structure secondaire, structure tertiaire, structure quaternaire	- Utiliser des solutions d'intelligences artificielles pour modéliser la structure tridimensionnelle d'une protéine - Les réactions de détection des protéines (réaction à la ninhydrine, réaction au biuret, réaction à la xanthoprotéine) peuvent être réalisées à titre expérimental. - Les réactions doivent être réalisées en respectant strictement les conditions de mise en œuvre précisées dans les fiches de sécurité des différents réactifs.
Expliquer la dénaturation des protéines par différents facteurs physiques : chaleur, acides – bases, sels.	- Réaliser et interpréter des expériences sur la dénaturation des protéines - Chauffer du blanc d'œuf - Changer le pH d'une solution de blanc d'œuf - Augmenter la concentration en NaCl d'une solution de blanc d'œuf.
Décrire le modèle enzyme – coenzyme – site actif	Dès que le programme s'y prête, on pourra

	remobiliser les notions qui sont en lien avec les enzymes. • Une autre stratégie pédagogique peut être d'aborder les enzymes au fil des besoins des autres parties puis de faire un chapitre bilan plutôt en fin d'année.
• Montrer le rôle de biocatalyseurs des enzymes à partir d'expérimentations	• Les expériences avec le peroxyde d'hydrogène peuvent être mobilisées • Critiquer le modèle « clé-serrure » pour expliquer le fonctionnement des enzymes. • Mener une analyse critique des résultats expérimentaux
• Mener une analyse critique du modèle « clé-serrure » pour le fonctionnement des enzymes	
• Mettre en relation la cinétique enzymatique avec les propriétés des enzymes (spécificité de substrat, conséquences des modifications des facteurs expérimentaux : pH, température).	• Relation avec la température • Facteur d'augmentation de la vitesse de réaction en fonction de la température
• Décrire et interpréter des diagrammes sur l'influence de l'activité enzymatique en fonction de différentes conditions.	
• Mettre en œuvre une réaction enzymatique avec inhibiteur compétitif et non compétitif	• Comparaison de réaction de l'uréase avec l'urée ou le thiourée • Mobilisation des outils numériques pour simuler des réactions enzymatiques en fonction de conditions du milieu • Exploitation d'animations pour visualiser le complexe enzyme-substrat • L'expérimentation doit être favorisée dès que les conditions d'équipement des laboratoires le permettent • Les réactions doivent être réalisées en respectant strictement les conditions de mise en œuvre précisées dans les fiches de sécurité des différents réactifs.
• Expliquer la dénomination des enzymes et l'appliquer à des exemples.	• Nom du substrat + type de réaction + « ase » • Exemples possibles : oxydoréductases, transférases, hydrolases, lyases, isomérases, ligases.
• Représenter schématiquement le couplage des oxydations et des réductions par les coenzymes $\text{NADP}^+/\text{NADPH}^+\text{H}^+$ ou $\text{NAD}^+/\text{NADH}^+\text{H}^+$ à l'aide d'un diagramme en flèche.	• Les concepts d'oxydation et de réduction doivent être considérés respectivement comme une perte et une acceptation d'électrons.

2.1.2. CONVERSION ENERGETIQUE ET RESPIRATION CELLULAIRE

Cette partie aborde la respiration comme premier exemple de conversion énergétique dans la cellule. Il s'agit de montrer le rôle de la compartimentation à l'échelle des cellules et d'un organite : la mitochondrie.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Des conversions énergétiques sont réalisées au cours de la respiration : oxydation de la matière organique et production de molécules réduites et d'ATP.	
Mettre en relation les réactions métaboliques avec leur lieu de réalisation	- C'est l'occasion de réinvestir ce qui a été étudié en classe de 2nd. - On peut démontrer par des expériences historiques : Glycolyse, décarboxylation oxydative (formation d'acétyl-CoA), cycle citrate/cycle acide citrique et chaîne respiratoire (oxydation finale) - Interprétation d'expériences permettant d'inhiber la chaîne respiratoire pour montrer son rôle, - Des expériences peuvent être menées, les expériences assistées par ordinateur avec des chaînes EXAO sont à prioriser dès que les laboratoires disposent des équipements
Représenter schématiquement les étapes de la respiration cellulaire au sein d'une mitochondrie : chaîne respiratoire — cycle du citrate — couplage énergétique pour la synthèse d'ATP	Un schéma possible est présenté en annexe 1 (réactions au sein du cytoplasme - glycolyse- et de la mitochondrie -respiration cellulaire-.
Décrire la formation chimiosmotique de l'ATP	Révision de l'hydrolyse/phosphorylation de l'ATP (classe de 2nd)
Expliquer le blocage et le découplage de la chaîne respiratoire	
Déterminer le bilan énergétique des sous-processus et de l'ensemble de la respiration cellulaire.	Voir annexe 2

2.1.3. CONVERSION ENERGETIQUE ET FERMENTATION

La fermentation est l'occasion de présenter un deuxième processus de conversion énergétique dans les cellules. C'est ici la deuxième occasion d'aborder les biotechnologies, leurs implications économiques, les métiers et les parcours de formation associés.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
La fermentation permet la production d'ATP en absence de dioxygène.	
Donner les équations bilans des réactions sous la forme d'un schéma de réaction impliquant les coenzymes de la fermentation lactique et de la fermentation alcoolique,	- Des expériences peuvent être réalisées, les expériences assistées par ordinateur avec des chaines EXAO sont à prioriser dès que les laboratoires disposent des équipements - Voir annexe 3
Comparer le bilan énergétique de la fermentation lactique avec celui de la respiration cellulaire.	- Voir annexe 2 - On n'exige que cette comparaison

2.1.4. CONVERSION ENERGETIQUE ET PHOTOSYNTHESE

La photosynthèse est à la base de la très grande majorité des réseaux alimentaires. Sa place dans la structuration d'un écosystème trouve son paradoxe dans les changements d'échelle : c'est en comprenant les mécanismes qui se réalisent dans un organe : le chloroplaste, que les élèves appréhendent le rôle de ce métabolisme aux différentes échelles du vivant.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Réaliser et démontrer expérimentalement la libération de dioxygène en présence de lumière et dans les conditions du milieu nécessaires.	Les expériences assistées par ordinateur avec des chaines EXAO sont à prioriser - Élodée dans eau distillée, eau du robinet et eau enrichie en CO₂, - Élodée dans l'eau du robinet avec et sans lumière, - Élodée dans l'eau du robinet avec variation de la température. - La fluorescence de la chlorophylle et son inhibition par ajout d'un accepteur d'électron, - Le rôle des accepteurs d'électron dans le fonctionnement de la chaîne photosynthétique (Réaction de Hill) - Les expériences assistées par ordinateur avec des chaines EXAO sont à prioriser dès que les laboratoires disposent des équipements
Effectuer la séparation des pigments foliaires (chromatographie)	De nombreux végétaux dont le basilic, le persil ou les épinards permettent une séparation optimale.

Expliquer à l'aide de schémas le lien entre le spectre d'absorption de la chlorophylle et le spectre d'action de la photosynthèse	
Indiquer le rôle des pigments foliaires	Caroténoïdes, xanthophylles, chlorophylles
Montrer des exemples d'adaptation des végétaux chlorophylliens à différents milieux de vie.	- Plantes de lumière, plantes d'ombre, xérophytes, mésophytes, hydrophytes, hygrophytes - Une comparaison de l'épiderme supérieur-inférieur en lien avec le fonctionnement de l'appareil stomatique est recommandée.
Décrire la photolyse de l'eau	
Démontrer l'origine du rejet de dioxygène en utilisant des marqueurs radioactifs (traceurs)	Expérimentation par des marqueurs radioactifs. L'oxygène radioactif de l'eau est retrouvé dans les atomes d'oxygène du O₂ rejeté par le végétal et pas dans les atomes d'oxygène du glucose produit.
Montrer, qu'au cours de la phase lumineuse, des molécules réduites sont produites qui vont être utilisées lors du cycle de Calvin.	Photoréaction (réaction lumineuse) et cycle de Calvin (réaction de synthèse indépendante de la lumière), La connaissance des systèmes redox n'est pas au programme.
Montrer l'influence de la lumière, de la concentration en CO₂ et de la température sur le mécanisme de la photosynthèse	- Expérience avec des élodées (comptage de bulles) ou avec de l'EXAO dès que le laboratoire est équipé. - Interpréter les résultats obtenus
Représenter schématiquement les phases essentielles du cycle de Calvin,	Schéma du cycle de Calvin avec phases de fixation, réduction, régulation et régénération
Représenter schématiquement le couplage au sein du chloroplaste des différentes réactions	Par ex. « Schéma boîte noire » voir annexe 5
Écrire l'équation de la photosynthèse et la relier à son rendement de 2 % (énergie reçue / énergie utilisée)	
Établir le bilan en matière et énergie de la photosynthèse	
Montrer la complémentarité entre production de matière organique lors de la photosynthèse et son oxydation pour produire de l'énergie lors de la respiration ou de la fermentation.	

2.2. BIODIVERSITÉ ET ORGANISATION DES ÊTRES VIVANTS

L'objectif de cette partie du programme est de comprendre le fonctionnement dynamique d'un écosystème dans ses dimensions spatiales et temporelles. C'est l'occasion de souligner les services rendus par les écosystèmes. C'est aussi le moment de montrer comment des écosystèmes réagissent aux perturbations, dont celles générées par l'être humain : notion de résilience.

2.2.1. STRUCTURES ET INTERACTIONS DANS L'ÉCOSYSTÈME

Cette partie est particulièrement indiquée pour des classes de terrain. Les élèves peuvent être responsabilisés en les engageant à organiser la sortie de terrain.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Un écosystème est constitué d'un biotope et d'une biocénose.	
A partir de l'étude d'un écosystème identifier les caractéristiques communes à tout écosystème et ses spécificités (biotope, facteurs abiotiques, facteurs biotiques).	- Par ex. écosystème rivière, lac, mer, haie... - Demander aux élèves de planifier et d'organiser une excursion pour la classe dans un écosystème.
Montrer que la biodiversité se définit à différentes échelles : de celle de l'information génétique à celle des écosystèmes.	Variabilité génétique, diversité des espèces, diversité des écosystèmes
Décrire et comparer l'influence d'un facteur environnemental abiotique sur la répartition de différentes espèces.	- Les processus physiologique et écologique doivent être étudiés à partir de données de terrain (activité écologique, courbes de tolérance, espèces indicatrices). - Cette partie permet de travailler la construction et l'interprétation de différentes représentations graphiques.
Représenter graphiquement les réseaux trophiques.	- Schématiser un réseau trophique de manière conventionnelle - Une critique de la représentation peut être effectuée à ce stade.
Expliquer le concept de niche écologique (niche de Hutchinson), niche réelle et fondamentale, principe d'exclusion concurrentielle.	Les espèces envahissantes perturbent les niches écologiques et le fonctionnement des écosystèmes
Étudier les interactions entre les êtres vivants : compétition, mutualisme, parasitisme, relation prédateur-proie.	
Expliquer les règles Lotka-Volterra et leurs limites.	Un logiciel de simulation peut être utilisé ici.
Décrire les pyramides en termes de biomasse et d'énergie dans un écosystème.	- La perte d'énergie de niveau trophique en niveau trophique doit être abordée. - Les différentes formes de nutrition (omnivore, végétarienne, végétalienne) d'un point de vue énergétique peuvent être abordées.

• Construire deux cycles biogéochimiques : le cycle du carbone et le cycle de l'azote.	• Nitrification, dénitrification, fixation de N_2 via des bactéries nodulaires • Les réactions chimiques ne sont pas attendues
--	--

2.2.2. ÉCOSYSTÈMES ET INFLUENCE HUMAINE

Cette partie du programme permet de mettre en œuvre des démarches de projets dans les contextes formels et informels de l'école et de les porter hors de l'école :

- S'engager dans des programmes de sciences participatives ;
- S'engager dans des projets d'éducation durable dans le domaine de la biodiversité, de l'alimentation et de la mobilité par exemple.

- Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• L'être humain peut perturber les écosystèmes de différentes façons : - o identifier les conséquences écologiques d'un apport accru d'azote, - o décrire les conséquences écologiques de l'effet de serre anthropique, - o expliquer les conséquences écologiques des perturbateurs endocriniens.	• Utilisation d'engrais, épandage, polluants, modification de la température des eaux • On s'appuiera sur des exemples si possibles proposés par les élèves • Par ex. bisphénol A, dioxine, produits pharmaceutiques, organochlorés, PFA.
• Enquêter sur différentes ressources et s'engager dans leur utilisation responsable et durable. Décrire l'empreinte écologique comme une mesure et prendre conscience des moyens de la réduire.	• Par ex. par exemple origine, culture/démontage, transport, « sac à dos écologique » selon Friedrich Schmidt-Bleek, consommation d'eau, impact environnemental, conditions de travail... • Évaluation de l'empreinte carbone à l'aide d'outils en ligne (DREAL par exemple)

2.3. COMMUNICATION DANS L'ORGANISME

Cette partie du programme permet d'étudier la communication nerveuse ce qui complète la communication hormonale étudiée en classe de seconde. C'est une partie du programme qui se prête à mener une éducation à la santé et la prévention aux risques.

2.3.1. SYSTÈME NERVEUX : ORGANISATION ET FONCTION

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Comparer une chaîne stimulus-réaction et un arc réflexe ainsi que les structures impliquées.	• Créer des chaînes stimulus-réponse (ex : attraper une balle), voir annexe 6 • Représentation schématique d'un arc réflexe, par ex. réflexe d'étirement musculaire

	avec voies afférentes et efférentes • Observation microscopique d'une coupe de la moelle épinière. • Étude en expérimentation assistée par ordinateur d'un réflexe d'étirement musculaire (réflexe tendineux) • Réflexe : réponse involontaire à un stimulus qui n'est pas contrôlée par le cerveau, c'est-à-dire la réponse rapide et stéréotypée à un stimulus :
• Mettre en relation un type de cellules sensorielles et montrer leur spécificité au stimulus.	• Observation de récepteurs sensoriels.
• Utilisez l'exemple du motoneurone pour décrire le lien entre la structure et la fonction (dendrite, corps cellulaire, axone avec et sans myéline, synapse).	• Faire un croquis légendé d'un motoneurone. • Examen microscopique des nerfs, de la moelle épinière, de la racine dorsale et des muscles. • Réaliser des croquis annotés.

2.3.2. GÉNÉRATION ET TRANSMISSION DU MESSAGE NERVEUX

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Le message nerveux est codé en fréquence de potentiels d'actions	
• Décrire la mesure et l'établissement du potentiel de repos (potentiel d'équilibre) en termes ioniques.	• Expérience de simulation (compartiments avec différentes solutions salines, séparées par une membrane sélectivement perméable aux ions).
• Expliquer le lien entre le gradient électrique (charge ionique) et le gradient de concentration (concentration de l'ion concerné des deux côtés de la membrane).	• Étude à partir de logiciel de simulation
• Expliquer le lien entre la perméabilité sélective de la membrane, la concentration en ions et le potentiel membranaire.	• Étudier le potentiel de repos à l'aide d'un logiciel de simulation.
• Expliquer le fonctionnement de la Pompe Na^+/K^+ ATP dépendante.	• Les processus moléculaires détaillés ne sont pas au programme
Mettre en lien les phases du potentiel d'action et les mouvements d'ions : • Phases : dépolarisation, repolarisation, hyperpolarisation, période réfractaire (absolue et relative), • Canaux ioniques dépendants de la différence de potentiel de la membrane, • Maintien d'une répartition inégale des ions grâce à la pompe Na^+/K^+ ATP dépendante et active en permanence,	• Étude du codage d'un message électrique au niveau d'une fibre nerveuse. • Étude de l'effet de différentes concentrations d'ions, de la perméabilité membranaire ou d'un déficit en ATP sur la formation d'un potentiel d'action. • Étudier un potentiel d'action à l'aide d'un programme de simulation.

• Loi du tout ou rien	
• Comparer la conduction myélinique et amyélinique.	• Observation de fibres nerveuses myélinisées ou non au microscope optique ou électronique. • Réalisation de modèle analogique (dominos)
• Expliquer la réception de stimuli et la transduction d'une cellule sensorielle,	• Par exemple les cellules visuelles, olfactives, auditives ou gustatives
• Expliquer la transduction du signal à partir de l'exemple choisi de cellule sensorielle.	• Une cellule est sensible à un type de stimulus (externe ou interne à l'organisme), l'activation de la cellule est associée à une cascade de réactions et signalisation intracellulaire. Le stimulus est transmis mais également traité et modulée.
• Mettre en relation l'intensité du stimulus et la modification du potentiel de récepteur, notion de seuil	

2.3.3. TRANSMISSION SYNAPTIQUE NEUROMUSCULAIRE ET CONSEQUENCES SUR LA CELLULE MUSCULAIRE ; GENERALISATION A LA TRANSMISSION NEURO-NEURONIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Au niveau des synapses, un relais chimique assure la transmission du message nerveux aux autres cellules.	
• Montrer à partir d'un exemple l'effet de substances chimiques sur la conduction du message nerveux.	• Par ex. poisons, drogues, médicaments, alcool et temps de réaction (éducation à la santé et prévention des risques). • Cette introduction permet de construire des hypothèses sur les relais entre neurones et de supposer qu'il existe un relai chimique.
• Décrire les synapses et les processus au niveau cellulaire.	
• Décrire la structure d'un muscle squelettique et d'une jonction neuromusculaire (plaque motrice)	
• Expliquer la transmission du message au niveau d'une jonction neuromusculaire	
• Décrire le fonctionnement du complexe actine-myosine.	• Utiliser un modèle
• Décrire le fonctionnement d'une synapse neuro-neuronique excitatrice : PA, entrant, canaux Ca^{2+}, vésicules présynaptiques,	• On prendra l'exemple de l'acétylcholine • L'exploitation de micrographies judicieusement choisies permet de mettre en évidence les différentes étapes de la transmission du

fente synaptique, membrane pré- et post-synaptique, récepteurs et canaux ioniques sur la membrane postsynaptique, inactivation du neurotransmetteur (resynthèse de neurotransmetteur).	message - On s'appuiera sur des schémas pour les différentes étapes de la transmission synaptique - L'étude peut être prolongée en expliquant les effets de différentes substances exogènes (poisons, drogues, médicaments, alcools). C'est un thème qui permet d'aborder l'éducation à la santé et l'éducation aux risques
Mettre en relation synapses excitatrices et inhibitrices avec la formation des PPSE et des PPSI sur le neurone postsynaptique.	Utilisation de logiciel de simulation.
Mettre en relation les sommations spatiales et temporelles et leur conséquence sur la naissance ou pas d'un PA post synaptique, notion de seuil.	Concept de seuil
Mettre en relation le recrutement des fibres nerveuses avec l'intensité du stimulus.	
Comparer les différents types de codage lors de la transmission du message nerveux à différentes échelles.	Intensité du stimulus, amplitude et fréquence du message nerveux, codage chimique au niveau des synapses, recrutement des fibres et potentiel complexe du nerf.

2.3.4. MODULER LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME NERVEUX

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
La plasticité cérébrale est une propriété générale du système nerveux.	
Nommer des composants du cerveau et leur fonction	On mobilisera les structures nécessaires en fonction des exemples étudiés à l'échelle du système nerveux central dont la structure du cortex cérébral et sa fonction,
Montrer que l'apprentissage est la modification des transmissions synaptiques entre les cellules nerveuses : formation de nouvelles synapses ou optimisation de la transmission synaptique.	
Montrer que la plasticité cérébrale et la potentialisation à long terme sont la base neuronale de l'apprentissage,	
Mettre en relation l'apprentissage avec la modification des connexions neuronales. Montrer qu'une perte de cellules neuronales	L'efficacité des synapses peut être influencée, par exemple, par la quantité de trans-

est en lien avec une diminution des capacités cognitives	metteurs, les modifications de la conductivité de la membrane via des modifications des récepteurs, le nombre de récepteurs et le taux de resynthèse du neurotransmetteur
Identifier les fonctions des différents types de mémoire : mémoire de travail (à court terme), mémoire sémantique et mémoire épisodique, deux systèmes de représentation consciente à long terme et mémoire procédurale permettant des automatismes inconscients. La mémoire perceptive est liée aux différentes modalités sensorielles.	On peut éventuellement comparer les performances de mémoire en utilisant des canaux sensoriels différents, mais également simultanés (haptique, optique, acoustique).
Comparer les performances d'apprentissage quand on utilise de façon simultanée des informations auditive, visuelle, tactile, ...	Réaliser des tests d'apprentissage
Interpréter l'effet d'un traumatisme sur le cerveau	- On inclura l'étude des « blessures psychologiques » causées par des expériences extrêmement stressantes - Conséquences sur le cerveau : modification de l'amygdale (centre de la peur), altération de l'hippocampe (mémoire et orientation), perturbation du cortex (contrôle des émotions)
Décrire la réorganisation neuroplastique après un trauma	Capacité du cerveau à se restructurer et à s'adapter
Expliquer le fonctionnement du système de récompense.	Circuit de la dopamine.
Expliquer l'effet des substances addictives sur le système de récompense à l'aide d'un exemple.	- Par ex. nicotine, alcool, THC. - La consommation de substances addictives et la légalisation correspondante peuvent être discutées à ce stade, ainsi que les mesures de prévention.
Comparer les maladies du système nerveux humain en termes de causes, de tableaux cliniques et les traitements possibles	Démence d'Alzheimer, sclérose en plaques, maladie de Parkinson.
Décrire des techniques de diagnostics de maladies neuronales.	Par ex. électroencéphalogramme (EEG), tomodensitométrie (TDM), imagerie par résonance magnétique (IRM).

2.4. HORMONES

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Le contrôle hormonal se réalise par l'intermédiaire de molécules produites par les glandes endocrines, transportées dans le sang et agissant sur les cellules cibles.	
Rappeler le principe de la régulation d'un système hormonal	Mobiliser les acquis de la classe de seconde
Décrire le stress comme une réponse adaptative physique à certains facteurs de stress (facteurs de stress),	
Différencier le syndrome général d'adaptation (SGA) et le syndrome de combat ou de fuite (SCF) à l'aide d'un exemple,	Syndrome de combat ou de fuite (SCF) : cascade de réactions physiologiques qui permettent une réaction rapide pour échapper à une situation dangereuse.
Décrire des réactions aux facteurs de stress en cas de stress aigu	Réponse rapide avec stimulation du système limbique (zones impliquées dans les émotions comme l'amygdale) ; Libération d'adrénaline par les médullosurrénales et augmentation de la fréquence cardiaque, de la fréquence respiratoire et libération de glucose dans le sang
- Comparer la transmission hormonale et nerveuse, - Montrer l'interaction entre le contrôle hormonal et neuronal en utilisant l'exemple des neurotransmetteurs adrénaline et noradrénaline,	- Vitesse de transmission, type de signaux, lieu de transmission, cellules/substances impliquées, effet - Les hormones peuvent agir comme neurotransmetteurs et les neurotransmetteurs comme des hormones. L'activité des glandes endocrines est contrôlée par le SNC (hypothalamus).
- Comparer le système médullaire sympathique-surrénalien (système de stress à court terme) avec le système hypophyso-corticosurrénalien (système de stress à long terme) et les hormones impliquées, - Décrire l'interaction entre les systèmes de stress à court et à long terme,	- Au niveau cérébral, sécrétion de CRH par l'hypothalamus et mobilisation de l'axe hypothalamus-hypophyso-corticosurrénalien, conduisant à la libération de cortisol qui favorise la mobilisation du glucose et inhibe certaines fonctions (notamment du système immunitaire) - Rétroaction négative du cortisol, retour à des conditions physiologiques standards (résilience) - Coordination de diverses voies physiologiques qui permettent l'adaptabilité de l'organisme - Si les facteurs de stress sont trop intenses ou trop durables, les mécanismes physiologiques sont déséquilibrés ; Induction du stress chronique : Modifications de certaines structures du cerveau, notamment du système limbique et du cortex pré frontal.

Relier les troubles de l'attention, de la mémoire et des performances cognitives aux conséquences possibles du stress,	- Interpréter les différentes concentrations d'hormones (adrénaline et cortisol) en fonction de la situation de stress - Interpréter des données cliniques et expérimentales (données d'imagerie médicale et/ou électrophysiologiques) en réponse aux facteurs de stress - Discuter des expériences propres, par exemple lors d'examen (école, permis de conduire, etc.) - Évaluer les mesures pour gérer et réduire le stress et développer sa propre résilience
--	--

2.5. COOPÉRATION CELLULAIRE : EXEMPLE DE SYSTÈME IMMUNITAIRE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
- Décrire les modes de reproduction chez les virus et les bactéries - Division bactérienne. - Réplication virale : représentation schématique du cycle lysogénique et lytique.	- Par exemple, virus Corona, virus de la grippe, virus VIH. - par ex. B. Salmonella, - Les phases de croissance exponentielle dans une culture bactérienne peuvent être explicitées (phase exponentielle, de latence et de déclin)
Décrire les barrières contre l'infection.	- Intestin : héberge des cellules immunitaires - Peau : barrière physique - Épithélium intestinal et microbiote : assure une résistance vis à vis des bactéries étrangères - Par ex. intérêt d'un lavage réfléchi des mains par des agents nettoyants - Utilisation des ressources du site eBug
Expliquer les mesures à prendre pour prévenir les maladies infectieuses.	
Décrire les étapes lorsqu'un microorganisme franchit les barrières : inflammation à la suite d'une lésion cutanée : infection, période d'incubation, phagocytose/macrophage, maladie, inflammation, guérison.	
Décrire l'origine et la maturation des lymphocytes B et des lymphocytes T	- Observation des cellules sanguines : érythrocytes, plaquettes, lymphocytes, (dont on indiquera la diversité), plasmocytes. - Une comparaison sous la forme d'un tableau est recommandée - La réaction immunitaire est décrite sous la forme d'un ou plusieurs schémas
Décrire le rôle des ganglions lymphatiques : lieux des interactions entre agents infectieux et cellules immunitaires.	

Expliquer la sélection clonale des lymphocytes T dans le thymus et l'acquisition de leur immunocompétence	
Utiliser un exemple pour décrire la réponse immunitaire acquise comme une interaction au niveau cellulaire (macrophages, lymphocytes T et B [Phase de détection, phase de différenciation, phase active, phase de coupe]).	- Utiliser l'analogie clé/serrure et critiquer cette représentation - Réaliser un test de précipitation Ag/Ac
Décrire la structure d'un IgG et l'origine des interactions spécifiques avec un antigène (Partie variable, site de liaison spécifique, partie constante, forme en Y)	
- Expliquer la mémoire immunitaire et expliquer son importance. - Première, deuxième infection, vitesse et amplitude de la réponse - Rôle des cellules mémoires.	Analyse de graphiques.
Décrire une application biotechnologique des anticorps.	Par ex. Test de grossesse, tests immunobiologiques (ELISA)
Expliquer les processus impliqués dans la vaccination. Expliquer les différents éléments constituant un vaccin.	Par ex. vaccination Corona virus pendant la pandémie CoVid
Discuter et évaluer la vaccination : sa signification individuelle et sociale.	

2.6. ÉVOLUTION

2.6.1. LA STRUCTURE DU MATÉRIEL GÉNÉTIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Les fonctions de l'ADN sont en lien avec sa structure.	
Décrire les caractéristiques structurelles de l'ADN.	
Décrire les processus de réplication à l'échelle moléculaire (fourche de réplication)	L'exploitation de travaux historiques peut être faite

2.6.2. L'EXPRESSION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
L'expression de l'information génétique est un processus complexe en plusieurs étapes.	
Décrire et comparer la transcription chez les eubactéries et les eucaryotes et montrer les	Brin codant (transcrit), polymérase.

spécificités de l'ARN _m : exon, intron, épissage, pré-ARN, queue poly A	Utilisation d'un programme basé sur une base de données pour démontrer l'épissage.
- Expliquer les mécanismes permettant de produire des protéines à partir d'ARN_m - Localiser le lieu de la transcription dans la cellule et les organites impliqués, montrer les spécificités des ARN_r, - Mettre en relation triplet et correspondance avec les acides aminés : code génétique, universalité du code de l'information nucléaire chez les eucaryotes, redondance. - Montrer la structure des ARN_t, codon — anticodon, structure en trèfle. - Décrire la traduction chez les eubactéries et les eucaryotes - Initiation, prolongation, terminaison - Maturation des protéines	- Mobilisation des acquis de la classe de seconde - Exploitation de marquages radioactifs - Exploitation des modèles moléculaires, - Exploitation des bases de données.
Expliquer la relation génotype-phénotype.	- Les termes allèle et gène doivent être différenciés les uns des autres. - Relation gène/protéine-enzyme. Par ex. phénylcétonurie, couleur de la peau
Décrire l'activité et la régulation différentielles des gènes chez les eubactéries et les eucaryotes.	- Facteurs de transcription, méthylation de l'ADN, acétylation de l'ADN, modification des histones. - Boîte TATA, silencieux, amplificateur. - Modèle de l'opéron lactose chez les eubactéries : répression du produit final, induction du substrat.

2.6.3. MUTATIONS

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Des erreurs ou mutations ponctuelles peuvent survenir spontanément lors de la répllication de l'ADN ou en lien avec des facteurs mutagènes de l'environnement. Les mutations sont à la base de la diversité génétique au sein des espèces.	
Identifier les différents types de mutations (mutation génétique, mutation génomique, mutation chromosomique) et leur conséquence.	- Remobiliser les acquis de la classe de seconde - Des exemples de substitution, délétion, insertion sont étudiés
Étudier les brins d'acide nucléique pour	

identifier d'éventuelles mutations (mutation ponctuelle, modification du cadre de lecture) et en déduire des conséquences au niveau protéique (mutation silencieuse, mutation faux-sens, mutation non-sens).	
Différencier la conséquence d'une mutation dans une cellule somatique et dans une cellule germinale.	
Montrer qu'un cancer peut être lié à une mutation de gènes contrôlant le cycle cellulaire	Proto-oncogène, antioncogène, gène suppresseur de tumeur, cellule cancéreuse

2.6.4. APPORTS DES BIOTECHNOLOGIES

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Donner le principe la réaction en chaîne par polymérase (PCR) : Taq polymérase, cycle d'une PCR.	- Mettre en œuvre une PCR ; interpréter ces résultats. Par ex. Test pour le Corona virus, test VIH, test de paternité, examens médico-légaux - Importance des biotechnologies dans les industries - Visite d'un laboratoire par les élèves.
Montrer diverses techniques de biotechnologies moléculaires.	Électrophorèse sur gel, enzymes de restriction, séquençage de l'ADN de Sanger, empreintes génétiques, analyse du polymorphisme, transformation.
Le génie génétique décrit les techniques de modifications du génome d'un organisme et identifier les étapes de la transgénèse expérimentale.	Identification et isolement du gène souhaité, excision du gène à l'aide d'enzymes de restriction, amplification du gène par PCR, insertion du gène, vérification du transfert du gène.
Présenter différentes techniques de production d'organismes génétiquement modifiés.	Un exemple d'application tirée de la pratique examiné en détail (par exemple, production par génie génétique d'hormone de croissance/insuline, thérapie génique, maïs Bt, utilisation d'<i>Agrobacterium tumefaciens</i> comme vecteur ...). Le détail des différentes techniques n'est pas exigible.
Présenter Crispr Cas9 comme méthode de modification ciblée de l'ADN.	Par ex. applications en modification des caractéristiques des animaux de ferme, en lutte antiparasitaire ou en thérapie génique

2.6.5. LE BRASSAGE GÉNÉTIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
-----------------------	---------------------------------------

• Décrire les phases de la méiose et expliquer ses conséquences, diploïde, haploïde, gamète (cellule germinale), zygote.	• Organiser, nommer et interpréter des images microscopiques de cellules pendant la méiose.
• Montrer la variabilité des gamètes et des zygotes qui en résultent : ségrégation indépendante.	
• Expliquer les brassages interchromosomiques et intrachromosomiques par des schémas simples et en expliquer la signification et leurs conséquences. • Mettre en lien avec la recombinaison des allèles	• La répartition aléatoire des chromosomes paternels et maternels parmi les cellules filles conduit à la recombinaison des allèles (diversité).
• Mobiliser ces connaissances pour expliquer comment le sexe biologique dans l'espèce humaine est déterminé par les chromosomes sexuels.	
• Expliquer les erreurs de méiose et leurs conséquences.	• Syndrome de Turner, syndrome de Klinefelter, trisomie 21. • Observation de caryotypes avec des anomalies.
• Relier le génotype et le phénotype et comprendre les résultats d'un test cross, - o Dominance/récessivité, transmission autosomique ou gonosomique, codominance. - o Héritage monohybride et dihybride - o Homozygote, hétérozygote - o Caractères liés ou indépendants	• Génération parentale, génération fille. • ex. de caractère héréditaire : roulement de langue, albinisme, doigts courts, hémophilie, daltonisme, groupes sanguins, études mendéliennes sur le pois ... • On évitera de prendre des exemples pouvant mettre les élèves en difficulté pour leur propre généalogie.
• Construite et interprétez des arbres généalogiques et en déduire des modèles de transmission possibles.	

2.6.6. FACTEURS DE L'ÉVOLUTION

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
La biodiversité est le résultat de processus évolutifs.	
• Décrire la biodiversité au niveau de la diversité génétique, de la diversité des espèces et de la diversité des écosystèmes.	• Un écosystème non encore étudié sera investi

• Discuter du concept d'espèces (morphologique, génétique et reproductifs) .	• Voir l'annexe 7
• Montrer les liens entre le pool génétique d'une espèce, sa variabilité et les mécanismes évolutifs - o Changements de fréquences des allèles dans des populations différentes en lien avec des capacités reproductives inégales - o Conséquences de la dérive génétique	• Utiliser un modèle numérique pour illustrer la dérive génétique.
• Montrer le rôle de la sélection naturelle comme facteur de l'évolution	Utiliser un modèle numérique simple pour illustrer la sélection naturelle
• Montrer le lien entre l'isolement de populations et la spéciation.	• Isolement géographique, reproductif et écologique : spéciation allopatrique et sympatrique • Utilisation d'un modèle (informatique) simple pour illustrer l'isolement géographique
Montrer en quoi la théorie synthétique de l'évolution explique la biodiversité.	• Utiliser un modèle numérique pour illustrer la dérive génétique • Variation, sélection, recombinaison, mutation, isolement, dérive génétique
• Présenter la coévolution comme un processus d'adaptation mutuelle entre deux espèces à l'aide d'un exemple.	• Par ex. Papillon de nuit — Orchidée

2.6.7. MISES EN RELATION DES LIENS DE PARENTÉ DES ÊTRES VIVANTS AVEC LES MÉCANISMES DE L'ÉVOLUTION

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Utiliser des caractères primitifs et dérivés pour tester les hypothèses d'arbres phylogénétiques	• Distinguer homologies et analogies et montrer leurs limites dans leur utilisation dans la classification du vivant • Utilisation d'un programme basé sur une base de données pour déterminer le degré de relation entre les êtres vivants • Construire une classification descendante hiérarchique de groupes (de plus en plus) ramifiés en utilisant les caractéristiques des collections d'animaux et de plantes

2.6.8. ÉVOLUTION HUMAINE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
L'appartenance des Hominidés aux mammifères et aux primates est basée sur leurs caractères dérivés.	
• Comparer les chimpanzés et diverses espèces humaines sur la base de caractéristiques morphologiques et justifier la place du genre <i>Homo</i> (<i>Homo rudolfensis</i>, <i>Homo erectus</i>, <i>Homo neanderthalensis</i>, <i>Homo sapiens</i>) dans l'ordre des primates.	• On veillera à distinguer les caractères qui permettent de rapprocher un fossile de la famille des Hominidés à ceux mobilisables pour une classification phylogénétique. • Caractéristiques mobilisables possibles : volume cérébral, locomotion, mâchoire, arcade dentaire, dents, foramen occipital, taille du bassin, crêtes super-oculaires, pied, main, colonne vertébrale. • Il convient de considérer plusieurs caractères
• Présenter l'importance des développements liés à la famille des Hominidés.	• Station debout, préhension avec pouce opposable, utilisation d'outils, développement du langage, éducation, culture

3 Verbes d'action : opérateurs

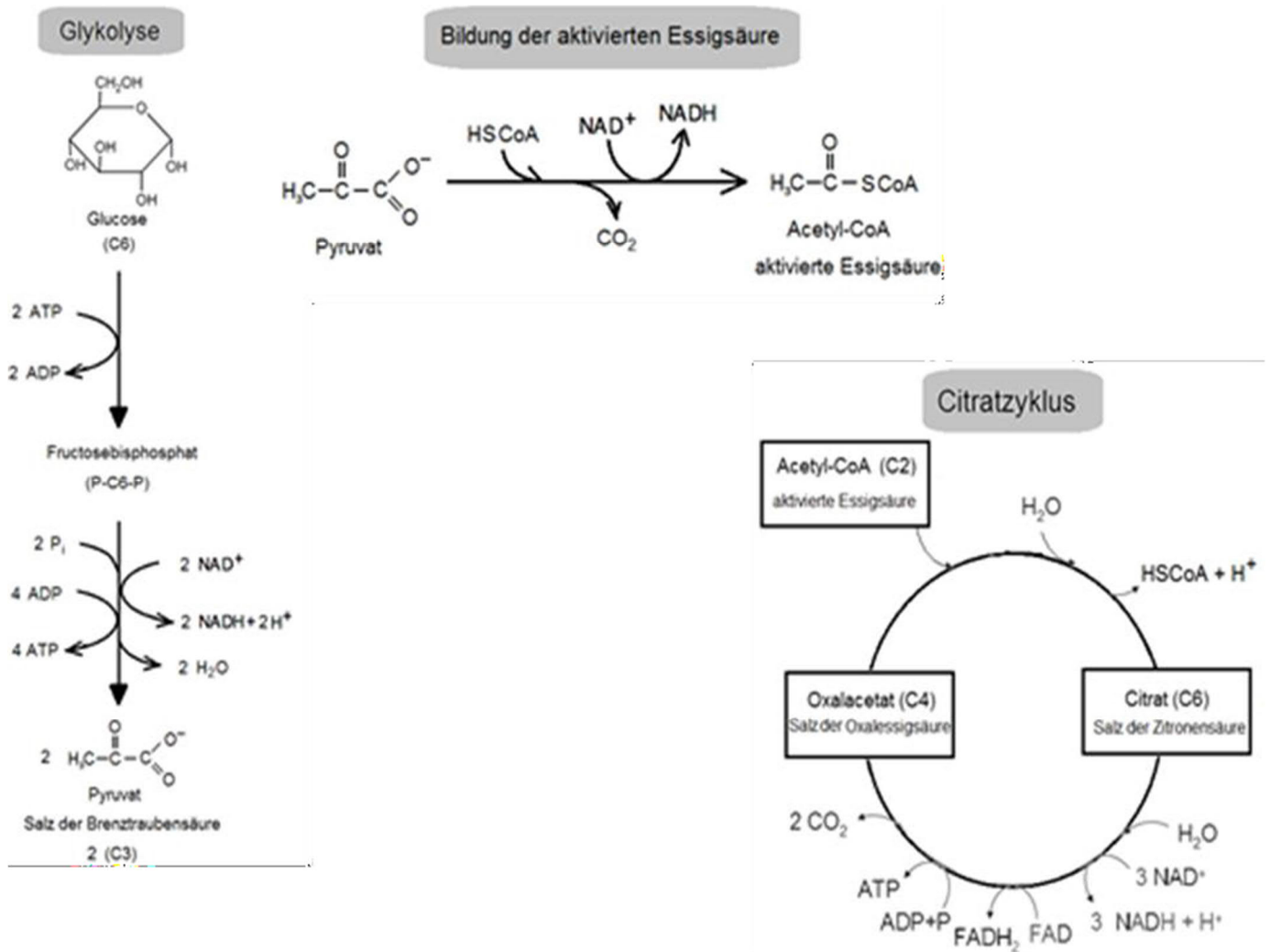
Définition	Opérateur/ Verbe consigne	Operator	Definition
Tirer un résultat ou une conclusion appropriés à partir de résultats ou de données obtenues auparavant.	(en) déduire, conclure AFB II-III	ableiten, schließen auf AFB II-III	auf der Grundlage von Erkenntnissen (Vorwissen bzw. zuvor ermittelte Ergebnissen) sachgerechte Schlüsse ziehen
Affecter une valeur approchée ou un ordre de grandeur à l'aide de considérations raisonnées.	estimer AFB I-II	schätzen, abschätzen AFB I-II	durch begründete Überlegungen Größenordnungen angeben
Décrire et mettre en lien différentes ressources pour en déduire quelque chose de nouveau, en faire une synthèse ou encore élaborer une démarche expérimentale.	analyser AFB II	analysieren AFB II	wichtige Bestandteile, Eigenschaften oder Zusammenhänge auf eine bestimmte Fragestellung hin herausarbeiten; In Chemie zusätzlich: einen Sachverhalt experimentell-prüfen
Utiliser des formules, des équations, des lois, des conditions, des résultats expérimentaux, etc., pour prouver, déduire ou expliquer d'autres phénomènes.	exploiter AFB II-III	anwenden AFB II-III	Formeln, Gleichungen, Gesetze, Bedingungen, Versuchsergebnisse etc. zum Nachweis, zur Herleitung, zur Erklärung anderer Phänomene verwenden
Suggérer une information, un raisonnement (une équation, une équation de réaction, une démarche, etc.).	proposer AFB II	aufstellen AFB II	Formeln, Gleichungen, Reaktionsgleichungen entwickeln
Emettre une supposition justifiée.	formuler une hypothèse AFB III	eine Hypo- these aufstel- len AFB III	eine begründete Vermutung formulieren
Associer une signification aux observations, aux données, aux résultats et/ou à des informations et en tirer des conclusions.	interpréter AFB II-III	auswerten AFB II-III	Beobachtungen, Daten, Einzelergebnisse oder andere Aspekte in einen Zusammenhang stellen, um daraus Schlussfolgerungen zu ziehen
Fonder une démarche ou faire comprendre une situation en se basant sur des éléments objectifs.	justifier AFB II-III	begründen AFB II-III	Gründe oder Argumente für eine Vorgehensweise oder einen Sachverhalt nachvollziehbar darstellen

Mobiliser des connaissances pour reconnaître et nommer précisément des observations, des éléments, des faits, des concepts, des données à partir d'un document.	identifier AFB I-II	identifizieren AFB I-II	Beobachtungen, Elemente, Sachverhalte, Begriffe, Daten, Fakten, Strukturen erkennen und benennen
Obtenir une valeur numérique d'une grandeur avec un calcul.	calculer AFB I-III	berechnen AFB I-III	Ergebnisse (von einem Ansatz oder einer Formel) ausgehend durch Rechenoperationen gewinnen
Rendre compte d'observations, des schémas, des faits, des méthodes, des procédures ou des relations de manière structurée en utilisant un langage adapté.	décrire AFB I-II	beschreiben AFB I-II	Beobachtungen, Strukturen, Sachverhalte, Methoden, Verfahren oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren
Formuler un avis factuel à l'aide de critères scientifiques ou techniques.	critiquer AFB III	beurteilen AFB III	Das zu fällende Sachurteil ist mithilfe fachlicher Kriterien zu begründen.
Formuler une appréciation en tenant compte des valeurs et des normes sociales.	évaluer AFB III	bewerten AFB III	Das zu fällende Werturteil ist unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Werte und Normen zu begründen.
Rendre compte de faits, de relations de causalité, de relations de corrélations en utilisant un langage approprié ou des représentations graphiques (p. ex. dessins, croquis, tableaux)	représenter AFB II	darstellen AFB II	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren, auch mithilfe graphischer Darstellungen (z.B. Zeichnungen oder Skizzen und Tabellen)
Procéder à une analyse critique en comparant et en examinant des arguments scientifiques.	discuter de AFB II-III	diskutieren AFB II-III	Argumente zu einer Aussage oder These einander gegenüberstellen und abwägen
Mobiliser des concepts en lien avec le problème et les relier pour le rendre compréhensible.	expliquer AFB II	erklären AFB II	Strukturen, Prozesse oder Zusammenhänge des Sachverhalts erfassen und auf allgemeine Aussagen oder Gesetze zurückführen
Mobiliser des concepts en lien avec le problème et les relier pour le rendre compréhensible avec l'aide éventuelle d'autres informations ou des exemples.	expliciter AFB II-III	erläutern AFB II-III	Strukturen, Prozesse oder Zusammenhänge des Sachverhalts erfassen und auf allgemeine Aussagen oder Gesetze zurückführen und durch zusätzliche Informationen oder Beispiele verständlich machen
Tirer un résultat ou une relation par un calcul ou par l'exploitation ou par la réalisation d'un graphique ou d'une expérience.	déterminer AFB II	ermitteln AFB II	ein Ergebnis oder einen Zusammenhang rechnerisch, grafisch oder experimentell bestimmen

Déterminer un résultat en explicitant le raisonnement qui y conduit.	établir AFB II-III	herleiten AFB II-III	mithilfe bekannter Gesetzmäßigkeiten einen Zusammenhang zwischen chemischen bzw. physikalischen Größen herstellen
Mettre en relation des observations ou des résultats pour les rendre davantage explicite dans le contexte d'une question ou d'une hypothèse.	commenter AFB III	interprétieren, deuten AFB III	naturwissenschaftliche Ergebnisse, Beschreibungen und Annahmen vor dem Hintergrund einer Fragestellung oder Hypothese in einen nachvollziehbaren Zusammenhang bringen
Répertorier ou reproduire des formules, des règles, des faits, des termes ou des données sans explication.	nommer, donner AFB I	(be)nennen, angeben AFB I	Formeln, Regeln, Sachverhalte, Begriffe oder Daten ohne Erläuterung aufzählen bzw. wiedergeben
Organiser des concepts ou des objets en fonction de caractéristiques.	classer AFB I-II	ordnen AFB I-II	Begriffe oder Gegenstände auf der Grundlage bestimmter Merkmale systematisch einteilen
Suggérer une démarche éventuellement expérimentale ou une de ses étapes à un problème.	proposer AFB II-III	planen AFB II-III	zu einem vorgegebenen Problem (auch experimentelle) Lösungswege (oder Teilschritte) entwickeln und dokumentieren
Illustrer de manière claire et simplifiée des faits, des organisations, des processus, des expérimentations, ou des résultats.	schématiser AFB I-II	skizzieren AFB I-II	Sachverhalte, Prozesse, Strukturen oder Versuche/Ergebnisse übersichtlich grafisch darstellen
Développer des faits ou des phénomènes en utilisant des méthodes de travail spécifiques.	étudier AFB II	untersuchen AFB II	Sachverhalte oder Phänomene mithilfe fachspezifischer Arbeitsweisen erschließen
Inventorier les similitudes et les différences.	comparer AFB II	vergleichen AFB II	Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausarbeiten
Créer une représentation graphique, claire et précise.	représenter AFB I-II	zeichnen AFB I-II	eine anschauliche und hinreichend exakte grafische Darstellung anfertigen
Associer des caractéristiques ou des résultats entre eux.	attribuer AFB I-II	zuordnen AFB I-II	charakteristische Merkmale oder Ergebnisse aufeinander beziehen

4 - Annexes

Annexe 1 Représentation schématique des sous-processus de la respiration



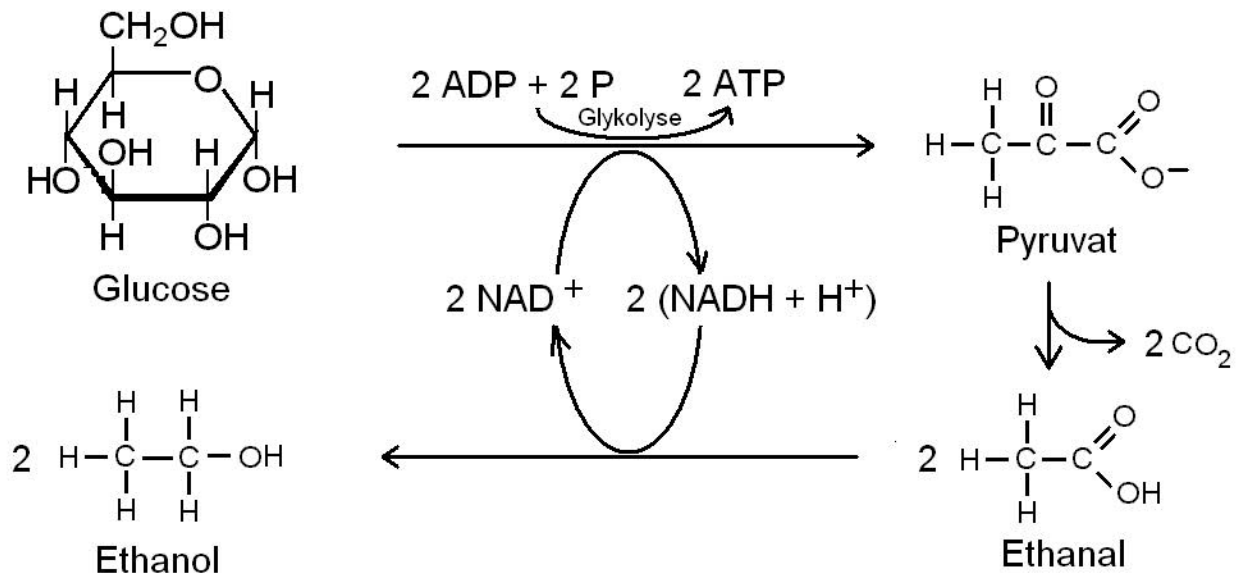
Source : Phase principale du programme de biologie LK 2023, Sarre

Annexe 2 Bilan énergétique théorique de la respiration cellulaire

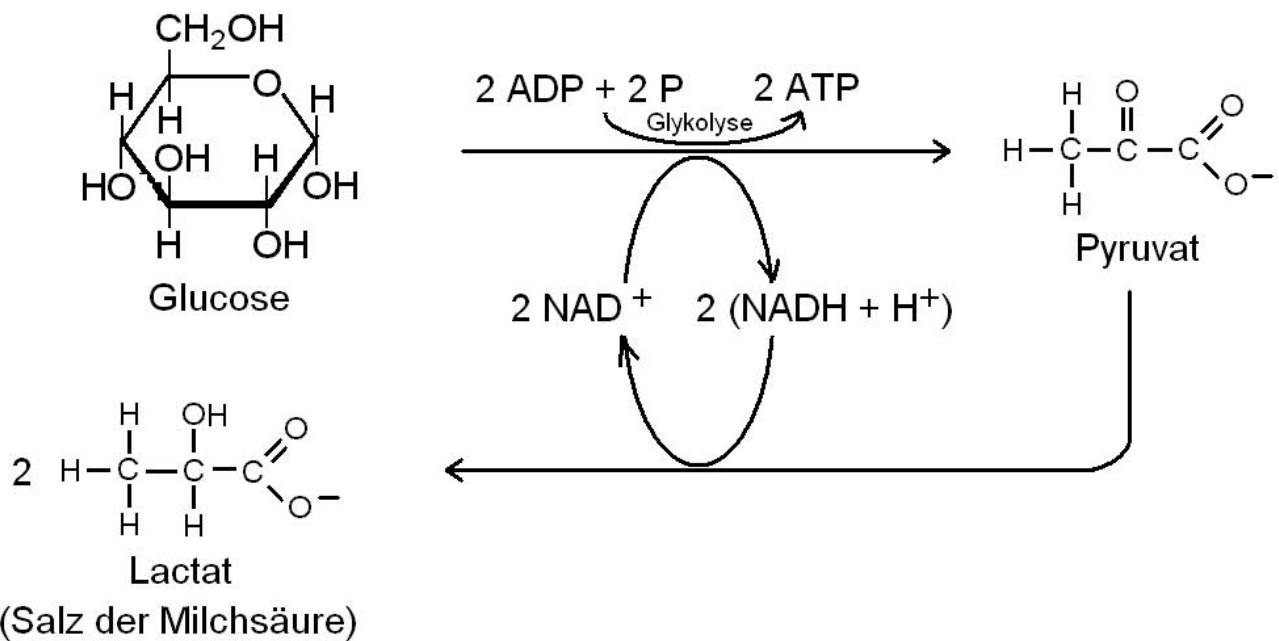
	Glycolyse	Décarboxylation oxydative	Cycle des citrates	Chaîne respiratoire	Somme
ATP	2	-	2	34	38
NAD H	2	2	6	- 10	0
FAD H2	-	-	2	- 2	0

Annexe 3 Fermentation alcoolique et fermentation lactique

Fermentation alcoolique



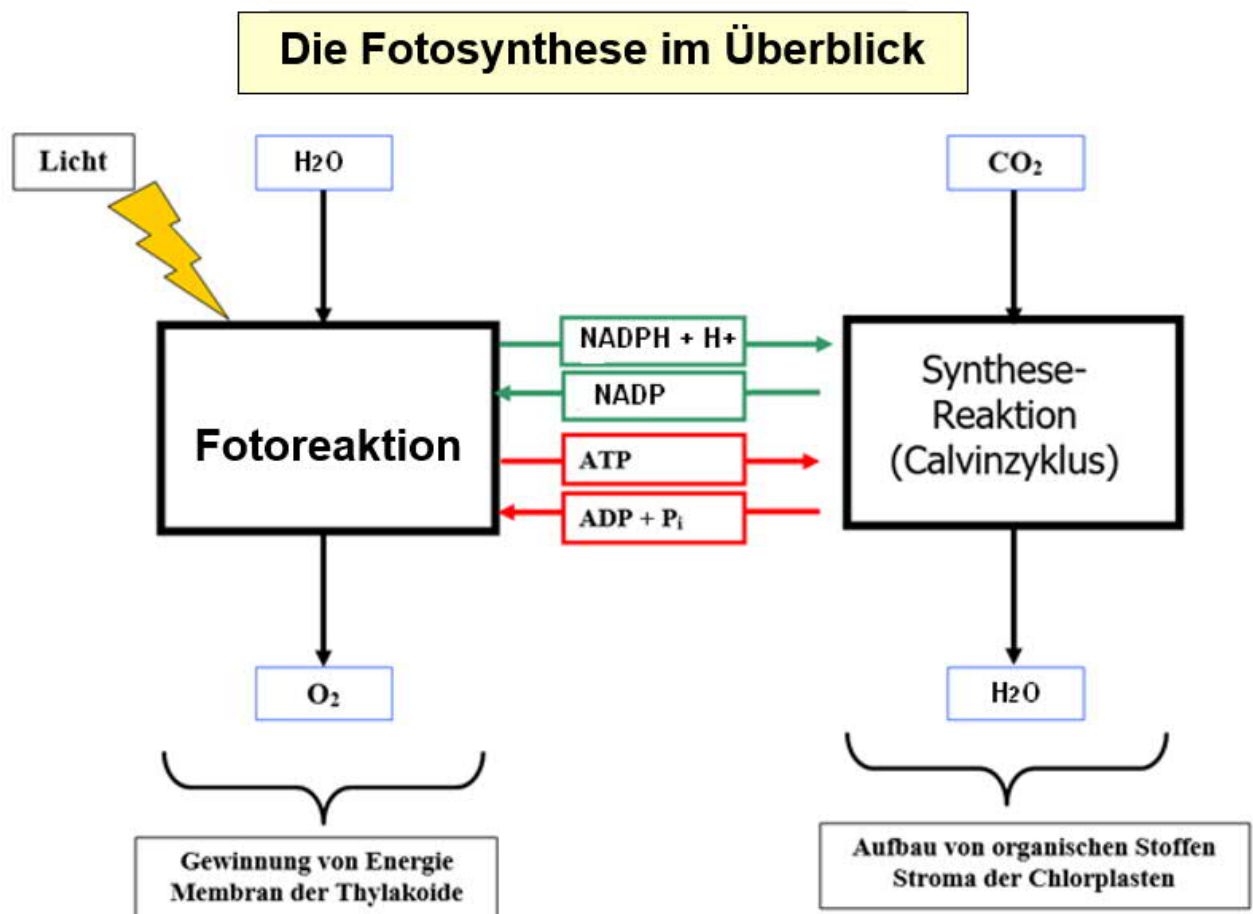
Fermentation lactique

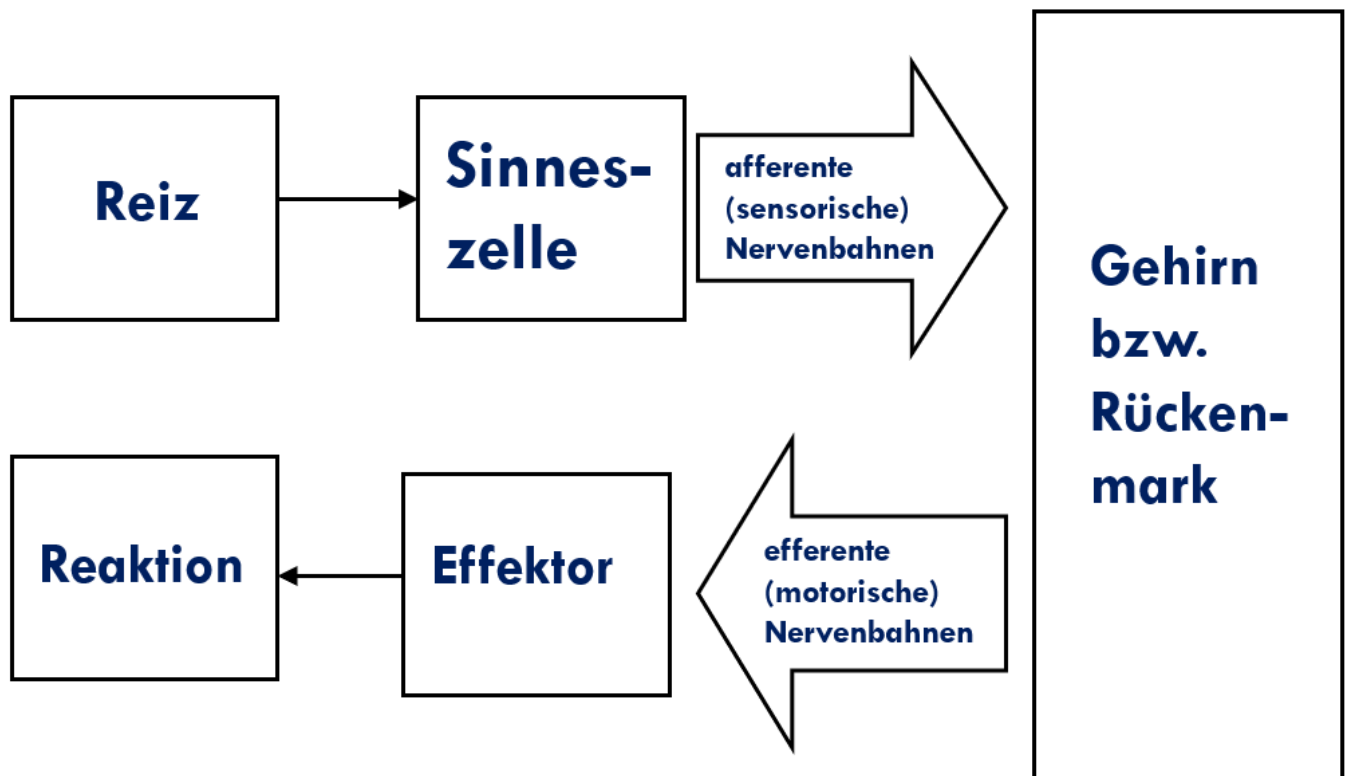


Source : Phase principale du programme de biologie LK 2023, Sarre

Annexe 4 Comparaison de la respiration cellulaire et de la fermentation

	Respiration cellulaire	Fermentation alcoolique	Fermentation lactique
Accepteur d'électrons	Oxygène	Pyruvate	Pyruvate
Gain d'énergie	38ATP	2ATP	2ATP
Matière première	Glucose	Glucose	Glucose
Produit	CO ₂ et H ₂ O	Éthanol et CO ₂	Lactate

Annexe 5 « Schéma de boîte noire » de la photosynthèse

Annexe 6 Chaîne stimulus-réponse**Annexe 7 : Définitions proposées du concept d'espèce**

Concept morphologique d'espèce : Une espèce est constituée d'individus qui partagent des caractéristiques physiques entre eux et avec leur descendance

Concept d'espèce en génétique des populations : les espèces sont des groupes d'individus dont le patrimoine génétique diffère de celui des autres

Concept d'espèce reproductive (biologique) : une espèce comprend tous les individus capables de se reproduire entre eux et de donner naissance à une descendance fertile.