

# Biochimie-biologie- biotechnologies

Classe terminale, enseignement de spécialité,  
série STL, voie technologique

**Mai 2019**

# Sommaire

<b>Préambule</b>	<b>3</b>
■ <i>Objectifs de formation</i>	4
■ <i>Repères pour l'enseignement</i>	5
■ <i>Liens avec les autres enseignements de STL</i>	5
■ <i>Modalités de lecture du programme</i>	6
<b>Partie S</b>	<b>8</b>
<b>Développer les concepts Scientifiques de biochimie-biologie-biotechnologies</b>	<b>8</b>
■ <i>S1 – Enzymes et voies métaboliques</i>	8
■ <i>S2 – Immunité cellulaire et moléculaire</i>	16
■ <i>S3 – Propriétés de l'ADN et réplication</i>	20
■ <i>S4 – Microorganismes et domaines d'application des biotechnologies</i>	22
<b>Partie T</b>	<b>26</b>
<b>Développer les fondamentaux Technologiques expérimentaux des biotechnologies</b>	<b>26</b>
■ <i>T1 – Observer la diversité du vivant</i>	26
■ <i>T2 – Cultiver des micro-organismes, suivre ou limiter leur croissance</i>	27
■ <i>T3 – Caractériser pour identifier des micro-organismes</i>	29
■ <i>T4 – Réaliser un dénombrement de micro-organismes présents dans un produit biologique</i>	31
■ <i>T5 – Préparer des solutions utilisables au laboratoire – en biologie moléculaire</i>	33
■ <i>T6 – Détecter et caractériser les biomolécules</i>	34
■ <i>T7 – Extraire, séparer, purifier les composants d'un mélange</i>	35
■ <i>T8 – Déterminer la concentration d'une biomolécule dans un produit biologique</i>	37
■ <i>T9 – Utiliser les technologies de l'ADN</i>	40
■ <i>T10 – Découvrir les technologies cellulaires végétales</i>	43
<b>Partie L</b>	<b>45</b>
<b>Travailler ensemble au Laboratoire de biotechnologies</b>	<b>45</b>
■ <i>L1 – Pratiquer une démarche de projet pour répondre à un enjeu des biotechnologies</i>	45
■ <i>L2 – Pratiquer une démarche de prévention des risques au laboratoire de biotechnologies</i>	50
■ <i>L3 – Obtenir des résultats de mesure fiables</i>	52
■ <i>L4 – Mobiliser les outils numériques en biotechnologies</i>	55
<b>Thématiques pour l'enseignement</b>	<b>57</b>

# Préambule

L'enseignement de spécialité de biochimie-biologie-biotechnologies s'inscrit dans la continuité des enseignements scientifiques du collège, de seconde et de première STL. Il fait appel en particulier à des notions déjà abordées en première STL en biochimie-biologie et en biotechnologies. Il mobilise également des acquis de physique-chimie et mathématiques.

Il vise à poursuivre le développement de compétences scientifiques et technologiques ainsi que l'acquisition et l'approfondissement de concepts essentiels de biochimie, de biologie et de biotechnologies :

- **biochimie**, pour asseoir les fondamentaux moléculaires du vivant, avoir une représentation tridimensionnelle des macromolécules du vivant et comprendre leurs interactions ;
- **biologie**, pour avoir une vision dynamique des processus moléculaires survenant au sein de la cellule ainsi qu'une compréhension de la physiologie de l'organisme humain et des micro-organismes ;
- **biotechnologies**, pour maîtriser les compétences technologiques appliquées au laboratoire d'analyse, de recherche ou de production.

Adoptant une vision intégrée de ces trois disciplines, cet enseignement associe les concepts scientifiques indispensables à la compréhension des applications biotechnologiques développées dans les domaines de la santé, des bio-industries et de l'environnement. Il appréhende également certains concepts physiologiques tant au niveau cellulaire que moléculaire, en lien étroit avec les applications liées à la santé humaine. Par une approche concrète au laboratoire et par la pratique de la démarche scientifique expérimentale, cet enseignement vise également le développement de compétences scientifiques et technologiques en biotechnologies.

Par la présentation de grands concepts nécessaires à la compréhension des phénomènes biologiques, les acquis de cet enseignement ouvrent des perspectives de poursuite d'études dans les domaines de la santé et des sciences du vivant. De plus, la réalisation de projets croisés avec des partenaires du monde professionnel ou des instances propres au lycée concernant l'éducation à la citoyenneté ou à la santé peuvent compléter l'approche déjà envisagée en classe de première et contribuer à la réalisation par les élèves du projet technologique accompagné (PTA) qui est évalué lors de l'épreuve orale terminale.

Les savoir-faire et concepts sont organisés en trois parties :

- une partie Scientifique (**S**) pose les concepts en amont des applications biotechnologiques, en particulier dans le domaine de la microbiologie et la santé humaine ;
- une partie Technologique (**T**) présente les concepts et savoir-faire spécifiques des activités technologiques et expérimentales du laboratoire de biotechnologies ;

- une partie transversale au Laboratoire (L) présente différentes approches communes à toutes les activités.

Chacune des trois parties (S, T et L) est composée de modules, en continuité avec les modules de l'enseignement de première notamment pour les parties T et L. Deux nouveaux modules, T9 et T10, sont ajoutés, qui proposent respectivement l'étude de la technologie de l'ADN et une initiation aux technologies végétales. La partie « S » prolonge les contenus fondamentaux des deux enseignements de première.

Les savoir-faire, attitudes et concepts essentiels permettant de « travailler ensemble au laboratoire » font l'objet de la partie L. Ils contribuent en particulier à la mise en œuvre du projet technologique accompagné qui, conduit par des groupes de 3 ou 4 élèves, vise à :

- pratiquer une démarche de projet ;
- pratiquer une démarche de prévention des risques au laboratoire ;
- obtenir des résultats de mesure fiables ;
- mobiliser les outils numériques en biotechnologies.

## ■ Objectifs de formation

L'enseignement de biochimie-biologie-biotechnologies de la classe terminale vise, par la mobilisation systématique de savoirs et savoir-faire, l'approfondissement des concepts fondamentaux déjà abordés en première STL et l'acquisition de nouveaux concepts. De plus, il développe et approfondit des compétences directement liées au laboratoire de biotechnologies où sont réalisées les activités technologiques expérimentales.

Les objectifs de cet enseignement sont les suivants :

- stimuler la curiosité et l'intérêt dans différents domaines scientifiques de la biologie ;
- comprendre des concepts-clés qui régissent les mécanismes biologiques à l'échelle de la cellule, de la bactérie à l'être humain, en mobilisant des connaissances sur la structure et les propriétés des principales molécules du vivant ;
- s'approprier la démarche d'analyse et construire un raisonnement scientifique rigoureux ;
- formuler une hypothèse en mobilisant les concepts de biologie ;
- concevoir une expérience simple et adapter une procédure opératoire ;
- mettre en œuvre avec rigueur une procédure expérimentale et développer un regard critique sur des résultats expérimentaux afin de répondre à d'éprouver la validité d'une hypothèse ;
- développer une pensée critique, en particulier en ce qui concerne les enjeux de santé individuelle et collective ;
- développer le sens de la responsabilité par la mise en œuvre d'activités expérimentales en biotechnologies ;

- construire un raisonnement rigoureux pour justifier un choix ou une affirmation ;
- s’investir dans un projet et prendre des initiatives ;
- interagir avec ses pairs à l’aide d’une communication orale ou écrite.

Ces compétences développées par l’élève relèvent de différentes dimensions qui sont évaluées dans trois types d’épreuves : écrite, pratique et orale, lors de la soutenance du projet technologique mis en œuvre en groupe de trois ou quatre élèves et évalué lors de l’épreuve orale terminale.

## ■ Repères pour l’enseignement

Parce qu’il est en lien direct avec le monde professionnel, l’enseignement repose principalement sur des activités technologiques contextualisées dont la plupart sont réalisées au laboratoire de biotechnologies. Les élèves manipulent individuellement ou au sein de petits groupes afin d’acquérir progressivement, par une approche pédagogique différenciée et une démarche collaborative, une pratique solide du laboratoire. La répartition du travail mobilise ainsi des compétences de communication écrites et orales qui permettent de transmettre et d’échanger des idées autour de résultats expérimentaux.

Afin de permettre une acquisition pérenne des savoir et savoir-faire, l’enseignement repose sur une approche spiralaire (certaines techniques essentielles sont réalisées plusieurs fois dans des contextes différents qui mobilisent de manière répétée certains concepts fondamentaux afin que soit favorisée leur appropriation).

La contextualisation des activités technologiques repose sur des propositions de thématiques présentées à la fin du document. Les activités proposées constituent des situations d’apprentissage propices aux acquis visés ; si toutes ne peuvent pas être menées, en revanche l’étude de toutes les notions est obligatoire. L’ensemble des activités proposées mobilise les trois parties (S, T et L) du programme. La construction de l’enseignement fait donc appel à l’initiative et à la liberté pédagogique du professeur.

## ■ Liens avec les autres enseignements de STL

L’enseignement de spécialité de biochimie-biologie-biotechnologies est en lien avec celui de physique-chimie et mathématiques. Les concepts de biochimie nécessaires à la compréhension des méthodes utilisées au laboratoire de biotechnologies mobilisent des acquis de chimie qui portent en particulier sur les groupements fonctionnels des molécules du vivant. Il mobilise également des outils mathématiques pour traiter et analyser les résultats expérimentaux obtenus par les élèves au laboratoire.

Une interaction forte avec l'enseignement moral et civique permet d'explorer dimensions sociétales et éthiques de la connaissance du vivant et des biotechnologies. Les questions de société peuvent donner lieu à un travail interdisciplinaire au sein de l'équipe pédagogique.

Cet enseignement est le support de situations d'apprentissage du co-enseignement d'ETLV qui favorise le développement de compétences en langue étrangère, en particulier la langue anglaise, privilégiée pour la communication scientifique. L'étude de situations dans différents pays anglophones liées, par exemple, à la recherche en biologie ou à la prise en charge des soins médicaux, permet une approche interculturelle qui inclut les questions éthiques actuelles. Selon les cas, les projets technologiques accompagnés menés en groupes (PTA), les projets de classe ou encore certaines activités technologiques peuvent servir de support à l'évaluation orale de l'ETLV en classe terminale de STL biotechnologies.

## ■ Modalités de lecture du programme

Chacune des trois parties (S, T et L) est composée de modules, en continuité avec les modules de l'enseignement de la classe de première notamment pour les parties T et L. La structure proposée en trois parties n'induit pas la répartition des enseignements entre plusieurs professeurs : un tel partage entraînerait une rupture de la dynamique intégrée du programme.

Les notions déjà abordées en classe de première STL dans les enseignements de biochimie-biologie ou de biotechnologies sont signalées par un astérisque\*. Ces notions doivent être explicitement réactivées avant que ne soient approfondis certains concepts ou que n'en soient abordés de nouveaux.

Dans chacun des modules, la lecture se fait de manière horizontale. Les concepts à acquérir (colonne centrale), associés aux savoir-faire visés (colonne de gauche), sont acquis par la mise en œuvre d'activités technologiques proposées (colonne de droite). Dans la colonne présentant les concepts, la mise en relation de deux mots par une barre oblique attire l'attention sur un risque de confusion possible par les élèves et sur la nécessité d'en distinguer explicitement le sens. Les deux premières colonnes constituent également un outil d'auto-évaluation pour les élèves.

Les activités technologiques sont contextualisées dans des thématiques présentées dans la dernière partie du programme.

Des pictogrammes signalent les activités technologiques réalisées par les élèves en vue de l'acquisition des savoir-faire :

- ✓  le numérique apporte une réelle plus-value aux activités proposées ;
- ✓  les expériences impliquent une mise en œuvre expérimentale au laboratoire de biotechnologies ;
- ✓  le sujet se prête à la réalisation de projets, d'interventions de professionnels de santé ou d'étudiants dans le cadre du service sanitaire ;

- ✓  activité propice au travail de groupes et aux projets ;
- ✓  activité de schématisation ou de dessin ;
- ✓  activité faisant appel à des compétences mathématiques ;
- ✓ ⇔ liens avec d'autres modules ou d'autres programmes.

## Partie S

# Développer les concepts Scientifiques de biochimie-biologie-biotechnologies

La partie scientifique recense les concepts et savoir-faire associés aux domaines d'application des biotechnologies et notamment à la santé humaine. Une grande partie de ces concepts concernent la microbiologie : les microorganismes sont en effet fortement impliqués jouent un rôle essentiel dans la santé humaine et dans le fonctionnement des bio-industries. La diversité des espèces et la richesse du potentiel métabolique des microorganismes en font des acteurs majeurs de préservation de l'environnement dans une démarche de développement durable. L'étude des fondamentaux de biochimie permet d'analyser le fonctionnement des enzymes et le métabolisme. L'immunologie est un grand domaine d'étude de la biologie ; les élèves l'abordent dans ses dimensions moléculaires et cellulaires afin de dégager les grands principes des applications biotechnologiques et de découvrir quelques applications préventives et curatives en médecine.

### ■ S1 – Enzymes et voies métaboliques

Le métabolisme est abordé dans cette partie principalement sous l'angle énergétique. L'étude de la respiration à différentes échelles, de l'organisme à la cellule, permet d'aborder les structures cellulaires et les réactions biochimiques induites. Des activités sont proposées et un lien peut être établi avec les respirations bactériennes (modules S4 et T2-T3). Les élèves abordent la photosynthèse principalement en comparant les mécanismes impliqués avec ceux de la respiration. Les fermentations sont étudiées à un double titre : elles sont des voies métaboliques pour la réoxydation des co-enzymes et elles présentent un intérêt biotechnologique.

L'étude des cycles du carbone et de l'azote permet de faire le lien entre voies métaboliques, équilibre dynamique des écosystèmes, impact des activités humaines et solutions innovantes dans le cadre de la transition énergétique et de la bioremédiation de milieux pollués.

Les relations structure-fonction et les propriétés catalytiques des enzymes sont abordées en lien avec les voies métaboliques ainsi qu'avec leur utilisation technologique (module T8).

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b></p> <p>Respiration et circulation sanguine, anatomie du cœur et des vaisseaux (cycle 4). Cinétique d'une réaction chimique, réactions acido-basiques en solution aqueuse (physique-chimie et mathématiques, classe de première).</p> <p>Biochimie-biologie, classe de première : nutrition, modules transversaux A, B1 à 3, C1 à 4 et D10.</p> <p>Biotechnologies, classe de première : module 8</p>		
<p><b>S1.1 Les principes généraux du métabolisme et rôle de l'adénosine triphosphate (ATP)</b></p>		
<p>Caractériser une chaîne de réactions biochimiques de synthèse ou de dégradation de molécules.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Voie métabolique.</li> <li>■ Anabolisme.</li> <li>■ Catabolisme.</li> </ul>	<p>Analyse de documents présentant des voies cataboliques (glycogénolyse, lipolyse, glycolyse) et des voies anaboliques (glycogénogenèse, biosynthèse d'acides aminés, cycle de Calvin).</p> <p> Illustration dans le cadre d'une identification bactérienne.</p>
<p>Déduire le sens d'évolution spontanée d'une réaction chimique à partir de la valeur de l'enthalpie libre de réaction associée.</p> <p>Montrer l'intérêt d'un couplage chimio-chimique à l'aide d'un exemple de réactions couplées.</p> <p>Calculer une somme algébrique de valeurs d'enthalpie libre de réaction pour des réactions chimiques couplées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Enthalpie libre de réaction <math>\Delta_r G</math>.</li> <li>■ Enthalpie libre standard de réaction <math>\Delta_r G^\circ</math>.</li> <li>■ Conditions standard.</li> <li>■ Réaction endergonique / réaction exergonique.</li> <li>■ Couplage énergétique.</li> <li>■ Somme algébrique.</li> </ul>	<p>Mise en lien du concept d'enthalpie libre avec les notions de thermodynamique abordées en physique-chimie.</p> <p> Détermination du sens d'évolution spontanée d'une réaction chimique résultant du couplage de deux réactions chimiques grâce au signe de la somme algébrique des enthalpies libres de réaction de ces deux réactions.</p> <p>Analyse de documents présentant différentes réactions métaboliques couplées.</p> <p> Calcul de l'enthalpie libre de réaction de réactions chimiques de la glycolyse issues du couplage de réactions chimiques élémentaires.</p> <p>↔ <b>Physique-chimie et mathématiques.</b></p>
<p>Expliquer le rôle de l'ATP comme molécule énergétique intermédiaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Liaison à haut potentiel énergétique.</li> </ul>	<p> Schématisation de la molécule d'ATP pour mettre en</p>

<p>du métabolisme dans la cellule.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ATP / ADP. adénosine diphosphate</li> <li>■ <math>\Delta_r G / \Delta_r G^\circ</math>.</li> <li>■ Conditions standard.</li> <li>■ Couplage chimio-chimique.</li> </ul>	<p>évidence les liaisons à haut potentiel énergétique.</p> <p>Comparaison de l'enthalpie libre standard de réaction et de l'enthalpie libre de réaction de l'hydrolyse d'ATP dans des conditions données.</p> <p>Analyse de documents montrant des réactions de production ou d'utilisation d'ATP (glycolyse, cycle de Calvin, biosynthèse d'un acide aminé ...).</p>
<p>Écrire une demi-équation électronique d'oxydation ou de réduction relative à un couple mis en jeu dans une réaction donnée.</p> <p>Écrire l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des demi-équations électroniques des couples mis en jeu.</p> <p>Déterminer le sens d'évolution spontanée probable d'une réaction d'oxydo-réduction à partir des valeurs de potentiel d'oxydo-réduction standard apparent des deux couples impliqués.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Couple oxydant-réducteur.</li> <li>■ Potentiel d'oxydo-réduction standard apparent : <math>E^\circ</math>.</li> <li>■ Conservation des charges.</li> <li>■ <math>\Delta_r G^\circ</math>.</li> </ul>	<p>Écriture des demi-équations électroniques d'oxydation ou de réduction impliquant les coenzymes d'oxydo-réduction nicotiniques ou flaviniques, sans détailler les formules chimiques développées.</p> <p>Écriture d'une équation-bilan d'oxydo-réduction à partir des demi-équations électroniques.</p> <p> Classement de potentiels d'oxydo-réduction afin de déterminer le sens d'évolution spontanée probable d'une réaction d'oxydo-réduction.</p> <p> Détermination de la valeur et du signe de <math>\Delta_r G^\circ</math> à partir du <math>\Delta E^\circ</math> pour une réaction d'oxydo-réduction afin d'en déterminer le sens d'évolution spontanée probable.</p> <p>↔ <b>Physique-chimie et mathématiques.</b></p>
<p><b>S1.2 La respiration aux différentes échelles</b></p>		
<p>Identifier les molécules consommées et les molécules produites lors de la dégradation aérobie complète du glucose dans la cellule.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Système ouvert.</li> <li>■ Oxydation complète.</li> <li>■ Échanges avec l'extérieur.</li> </ul>	<p>Analyse de documents montrant l'intervention des voies métaboliques (glycolyse, cycle de Krebs, chaîne respiratoire mitochondriale) qui aboutissent à l'oxydation complète du glucose afin d'en établir le bilan de matière.</p>

<p>Présenter la nécessité d'un système circulant chez l'organisme humain, en lien avec les besoins cellulaires en glucose et en dioxygène.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Organisme pluricellulaire.</li> <li>■ Milieu intérieur.</li> </ul>	<p> Schématisation du trajet du glucose, du dioxygène O<sub>2</sub> et du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> dans l'organisme humain en lien avec le sens de circulation du sang dans les artères et les veines.</p>
<p>Déterminer le sens de diffusion du dioxygène en lien avec les pressions partielles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alvéole pulmonaire.</li> <li>■ Capillaire sanguin.</li> <li>■ Diffusion.</li> <li>■ Gradient de pression partielle.</li> </ul>	<p> Comparaison des pressions partielles en O<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub> au niveau de différents compartiments : alvéole, capillaires, cellules.</p>
<p>Expliquer le rôle de transporteur de dioxygène de l'hémoglobine.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Protéine de transport.</li> <li>■ Groupement prosthétique.</li> <li>■ Hème.</li> <li>■ Affinité.</li> </ul>	<p> Repérage, sur une représentation modélisée, de la structure quaternaire d'une molécule d'hémoglobine, de la position de l'hème de chaque protomère et du site de fixation du dioxygène.</p> <p> Réalisation de spectres d'absorption de l'oxy-hémoglobine et de la désoxy-hémoglobine.</p> <p> Observation d'hématies sur un frottis sanguin d'un sujet sain et d'un sujet atteint de drépanocytose.</p>
<p>Schématiser, dans une cellule eucaryote, les compartiments impliqués dans le catabolisme de glucose, l'utilisation du dioxygène et la production de dioxyde de carbone.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Compartimentation.</li> <li>■ Catabolisme.</li> </ul>	<p> Études expérimentales sur des cellules eucaryotes permettant de localiser la glycolyse (dans le cytoplasme), le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire mitochondriale (dans la mitochondrie).</p>
<p>Établir le bilan de matière de la glycolyse à partir d'un document présentant l'équation-bilan des réactions chimiques de cette voie.</p> <p>Établir le bilan énergétique de la glycolyse à partir d'un document présentant l'équation-bilan des réactions chimiques de cette voie.</p> <p>Montrer que l'oxydation du glucose génère la production de coenzymes réduits.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Oxydation partielle.</li> <li>■ Catabolisme.</li> <li>■ Équation bilan.</li> <li>■ Coenzymes d'oxydo-réduction.</li> </ul>	<p>Repérage, dans un document présentant la voie métabolique de la glycolyse, des molécules de glucose et de pyruvate, des coenzymes réduits, de l'ATP et des enzymes.</p>
<p>Décrire, à partir d'un schéma, le fonctionnement d'une chaîne respiratoire en repérant le donneur et</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gradient électro-chimique*.</li> <li>■ Chaîne de transporteurs d'électrons.</li> </ul>	<p> Analyse de documents dynamiques décrivant divers modèles de chaînes respiratoires.</p>

<p>l'accepteur d'électrons et en identifiant le couplage énergétique.</p> <p>Identifier le couplage énergétique entre le flux de protons à travers l'ATP synthase et la synthèse d'ATP.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Potentiel d'oxydo-réduction.</li> <li>■ Couplage chimio-osmotique.</li> <li>■ Translocation de protons.</li> <li>■ Couplage osmo-chimique.</li> <li>■ ATP synthase.</li> </ul>	<p>⇔ <b>Module T3.2.</b></p>
<p><b>S1.3 La photosynthèse</b></p>		
<p>Localiser dans une cellule végétale les compartiments impliqués dans la photosynthèse.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cellule photosynthétique.</li> <li>■ Chloroplaste.</li> </ul>	<p> Observations au microscope de cellules comportant des chloroplastes : feuille d'élodée, microalgues.</p>
<p>Repérer sur la chaîne membranaire photosynthétique les similitudes avec la chaîne membranaire respiratoire.</p> <p>Montrer l'intérêt, pour le transfert d'électrons, d'une activation des photosystèmes de la chaîne membranaire par la lumière.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Chaîne de transporteurs d'électrons.</li> <li>■ Potentiel d'oxydo-réduction.</li> <li>■ Excitation photochimique.</li> <li>■ Couplage chimio-osmotique.</li> <li>■ Gradient électrochimique*.</li> <li>■ Couplage osmo-chimique.</li> <li>■ ATP synthase.</li> </ul>	<p>Analyse de documents présentant les voies métaboliques simplifiées de la photosynthèse (chaîne membranaire et cycle de Calvin) pour les localiser et établir leur bilan de matière.</p> <p> Mise en évidence expérimentale de la fluorescence de la chlorophylle après excitation.</p> <p> Mesures expérimentales du taux de dioxyde de carbone et de dioxygène de l'environnement de microalgues selon les conditions d'éclairage.</p>
<p>Montrer l'incorporation des molécules de dioxyde de carbone dans les molécules organiques sur un schéma du cycle de Calvin.</p> <p>Mettre en évidence, à l'aide d'un document global, le lien entre le cycle de Calvin et la chaîne membranaire photosynthétique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anabolisme.</li> <li>■ Fixation du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).</li> <li>■ Autotrophie.</li> </ul>	<p>Repérage, dans un document représentant le cycle de Calvin, des molécules de dioxyde de carbone et de glycéraldéhyde 3-phosphate (précurseur d'ose) pour mettre en évidence la fixation du CO<sub>2</sub>.</p> <p>Repérage, sur un document présentant la photosynthèse, des molécules (nicotinamide adénine dinucléotide phosphate hydrogéné (NADPH), ATP) produites par la chaîne membranaire photosynthétique et consommées par le cycle de Calvin.</p>

### S1.4 La fermentation

<p>Montrer l'intérêt des étapes finales d'une fermentation comme processus de réoxydation des coenzymes réduits.</p> <p>Établir un bilan moléculaire de l'oxydation incomplète du glucose lors d'une fermentation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Coenzyme d'oxydo-réduction.</li> <li>■ Catabolisme.</li> <li>■ Métabolite primaire.</li> <li>■ Acidification.</li> </ul>	<p>Analyse de documents présentant différentes voies de fermentation du glucose.</p> <p> Suivi d'une fermentation lactique par mesure du pH ou de l'acidité produite.</p>
<p>Repérer les produits de fermentation dans un contexte physiologique ou industriel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Produit d'intérêt.</li> <li>■ Produit d'altération.</li> </ul>	<p>↔ <b>Module T2.</b></p>

### S1.5 Bilans moléculaires comparés des respirations et des fermentations

<p>Repérer, dans une voie métabolique, les réactions d'oxydo-réduction, les types de couplage énergétique, les réactions de production ou de consommation d'ATP.</p> <p>Distinguer les voies fermentaires des voies respiratoires.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Accepteur final d'électrons.</li> <li>■ Phosphorylation au niveau du substrat.</li> <li>■ Phosphorylation oxydative.</li> <li>■ Régénération des coenzymes.</li> <li>■ Rendement énergétique.</li> </ul>	<p> Construction, à partir de documents, des bilans énergétique et de matière d'une voie respiratoire et d'une voie fermentaire afin de les comparer.</p> <p> Illustration dans le cadre d'une identification bactérienne (ex : recherche du type respiratoire, voie d'attaque du glucose).</p>
--	---	---

### S1.6 Cycles du carbone et de l'azote, micro-organismes et environnement

<p>À partir d'un document, associer les différents types trophiques et leurs préfixes (photo-, chimio-, litho-, organo-, auto-, hétéro-) aux caractéristiques nutritionnelles des organismes.</p> <p>Mettre en relation le type trophique d'un micro-organisme et ses conditions de culture.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Source d'énergie.</li> <li>■ Source d'électrons.</li> <li>■ Source de carbone.</li> <li>■ Molécule organique.</li> <li>■ Composé minéral.</li> </ul>	<p> Tri et repérage des sources d'énergie, d'électrons et de carbone dans les voies métaboliques chez différents organismes.</p> <p>Analyse de la composition de milieux / atmosphères de culture pour faire un choix adapté au type trophique d'un micro-organisme.</p> <p>↔ <b>Module T2.</b></p>
<p>Identifier les types d'interaction des micro-organismes avec l'écosystème et ses acteurs.</p> <p>Identifier les types d'interaction des micro-organismes entre eux.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ubiquité.</li> <li>■ Saprophytisme.</li> <li>■ Symbiose.</li> <li>■ Compétition</li> <li>■ Coopération.</li> <li>■ Biofilm.</li> </ul>	<p> Étude d'une symbiose végétal-micro-organisme, par exemple <i>Rhizobium</i>/Fabacées, par observation au microscope de nodosités de racines de trèfle après coloration au bleu de méthylène.</p> <p> Co-culture de différentes espèces bactériennes et suivi de l'évolution du ratio de chaque</p>

		<p>espèce bactérienne.</p> <p>⇔ <b>Module T2.</b></p>
<p>Compléter un schéma des cycles courts du carbone et de l'azote en associant les types trophiques et les phénomènes impliqués.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cycle de la matière.</li> <li>■ Réservoir.</li> <li>■ Assimilation.</li> <li>■ Minéralisation.</li> <li>■ Nitrification.</li> <li>■ Dénitrification.</li> </ul>	<p> Représentation schématique des transferts de matière au sein d'un écosystème permettant de repérer les différentes formes minérales et organiques du carbone et de l'azote, les principales étapes de transformation des composés et les organismes impliqués.</p> <p> Illustration dans le cadre d'une identification bactérienne de la respiration anaérobie (nitrate réductase).</p> <p> Étude du cycle de l'azote dans un aquarium par suivi de la concentration des différentes espèces chimiques minérales azotées (ammoniacale, nitrite, nitrate), avec ou sans ajout de bactéries nitrifiantes, par utilisation de bandelettes réactives.</p>
<p>Présenter un exemple de lien entre une activité humaine et le déséquilibre d'un écosystème.</p> <p>Mettre en relation un exemple d'agrosystème écologique avec les cycles du carbone ou de l'azote.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Exportation / importation de matière.</li> <li>■ Agrosystème.</li> <li>■ Transition écologique.</li> <li>■ Agro-écologie.</li> </ul>	<p> Analyse d'articles concernant les marées vertes.</p> <p>Analyse d'études comparatives de la composition minérale des sols en mode de production agricole intensif ou alternatif.</p> <p>Analyse de conditions de culture innovantes écologiques (association de cultures à l'élevage ou à la culture de Fabacées au sein d'une même exploitation agricole).</p> <p> Suivi d'un système d'aquaponie.</p>
<p><b>S1.7 Les enzymes du métabolisme et la régulation</b></p>		
<p>Caractériser un catalyseur biologique.</p> <p>Mettre en relation l'activité de l'enzyme avec sa structure</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Spécificité* de substrat.</li> <li>■ Spécificité* de réaction.</li> <li>■ Complexe enzyme-substrat.</li> <li>■ Structure tridimensionnelle*.</li> </ul>	<p>Analyse de documents comparant les conditions physico-chimiques des catalyses chimique et enzymatique.</p>

<p>tridimensionnelle.</p> <p>Distinguer l'enzyme active de la proenzyme.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Précurseur protéique.</li> </ul>	<p>Analyse de documents illustrant la spécificité de substrat.</p> <p> Recherche, sur des sites appropriés, de l'activité d'une enzyme à l'aide de son identifiant international et réciproquement.</p> <p>Illustration de la notion de proenzyme à partir d'exemples d'enzymes digestives.</p>
<p>Identifier les différents acteurs d'une réaction chimique catalysée par une enzyme.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réaction enzymatique*.</li> <li>■ Substrat.</li> <li>■ Produit.</li> <li>■ Cofacteur enzymatique.</li> <li>■ Coenzyme.</li> <li>■ Ion métallique.</li> <li>■ Groupement prosthétique.</li> </ul>	<p> Tri et repérage des acteurs dans différentes réactions chimiques des voies métaboliques étudiées.</p> <p>Analyse de documents présentant la structure tertiaire ou quaternaire d'enzymes et montrant la présence d'ions métalliques et de coenzymes.</p> <p>Analyse de documents montrant l'origine nutritionnelle des coenzymes.</p>
<p>Mesurer une vitesse initiale.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vitesse.</li> <li>■ Cinétique.</li> <li>■ Molécule en excès.</li> </ul>	<p> Mise en œuvre d'une réaction enzymatique et <math>\frac{+}{x} \frac{-}{y}</math> calcul de la vitesse initiale.</p> <p>↔ <b>Physique-chimie et mathématiques (1<sup>er</sup>).</b></p> <p>↔ <b>Module T8.</b></p>
<p>Interpréter des variations de vitesse initiale selon la concentration en substrat.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Complexe enzyme-substrat.</li> <li>■ Vitesse initiale maximale.</li> <li>■ Saturation de l'enzyme en substrat.</li> </ul>	<p> Mise en œuvre de différentes cinétiques en faisant varier la concentration en substrat.</p> <p> Analyse d'animations illustrant la notion de saturation en substrat.</p> <p>↔ <b>Module T8.</b></p>
<p>Analyser l'effet de variations des conditions physico-chimiques sur l'activité enzymatique en relation avec la structure de l'enzyme.</p> <p>Analyser l'effet d'un effecteur sur l'activité enzymatique et le mettre en</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inactivation / dénaturation.</li> <li>■ Activateur.</li> <li>■ Inhibiteur.</li> <li>■ Analogue structural.</li> <li>■ Boucle de régulation*.</li> </ul>	<p> Mise en œuvre de cinétiques à différentes températures ou différents pH.</p> <p>↔ <b>Module T8.</b></p> <p>Étude documentaire d'exemples</p>

relation avec la régulation d'une voie métabolique.		d'inhibiteurs et de leur mode d'action.  Analyse de documents montrant l'influence de différents effecteurs sur la vitesse de réaction d'une enzyme clé du métabolisme, par exemple glucidique.
---	--	---

## ■ S2 – Immunité cellulaire et moléculaire

Ce module présente des mécanismes physiologiques de l'immunité aux différentes échelles de l'organisme. Il mobilise des concepts sur le principe général de l'immunité et des cellules impliquées, présentés en SVT au collège. L'étude progressive et réitérée des acteurs cellulaires permet en particulier aux élèves de développer leur compréhension du phénomène de mémoire immunitaire ; dans le prolongement de leur étude, ils abordent la vaccination et l'enjeu qu'elle représente dans la société. La dimension moléculaire de la reconnaissance spécifique de l'immunité permet d'introduire la production des anticorps et leurs fonctions ouvrant ainsi sur les applications biotechnologiques de ces macromolécules, en lien avec les modules T6, T7 et T8.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<b>Notions déjà abordées :</b> Biochimie-biologie, classe de première : module transversaux B1, B3, B4, B5, C1, C2 et D9		
<b>S2.1 Soi et non-soi</b>		
Expliquer la notion du non-soi.  Identifier les éléments reconnus par les cellules du système immunitaire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Non-soi.</li> <li>■ Antigène.</li> </ul>	 Étude de situations médicales de rejet de greffe illustrant la reconnaissance du non-soi.
Mettre en relation les caractéristiques et la fonction d'une barrière naturelle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Environnement physico-chimique.</li> <li>■ Épithélium.</li> <li>■ Microbiote.</li> <li>■ Opportunisme.</li> </ul>	 Étude des différents modes d'action des barrières : épithélium, pH, mucus, lysozyme, microbiote.   Étude de résultats d'analyses médicales pour mettre en évidence l'installation de microorganismes pathogènes opportunistes en lien avec le déséquilibre d'un microbiote.  ↔ <b>Module S4.</b>

## S2.2 Réponse immunitaire innée

Expliquer la reconnaissance d'une bactérie par une cellule sentinelle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Immunité innée.</li> <li>■ Cellule sentinelle.</li> <li>■ Récepteur membranaire*.</li> <li>■ Motifs moléculaires.</li> </ul>	<p>Exploitation de ressources documentaires montrant que les bactéries pathogènes partagent des motifs moléculaires communs (LPO, peptidoglycane) et que les cellules de l'immunité innée portent des récepteurs les reconnaissant.</p> <p>↔ <b>Module S4.1.</b></p>
Expliquer les deux rôles des cellules sentinelles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Phagocytose.</li> <li>■ Molécules pro-inflammatoires.</li> </ul>	Observation d'électronographie de la dégranulation d'un mastocyte et de la phagocytose par un macrophage.
Décrire les mécanismes de la réaction inflammatoire afin d'expliquer le recrutement des cellules phagocytaires.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vasodilatation.</li> <li>■ Diapédèse.</li> <li>■ Exsudation du plasma.</li> <li>■ Chimiotactisme.</li> <li>■ Cellule phagocytaire.</li> </ul>	<p> Visionnage de vidéos ou d'animations présentant les différentes étapes de la réaction inflammatoire.</p> <p> Visionnage de vidéos de cellules <i>in vitro</i>.</p>
Décrire les différentes étapes de la phagocytose afin d'expliquer la destruction de l'antigène.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Endocytose.</li> <li>■ Dégradation.</li> </ul>	<p> Visionnage de vidéos de phagocytose de levures par un macrophage.</p> <p>Étude d'une animation montrant la destruction de l'antigène.</p>

## S2.3 Réponse immunitaire adaptative

Distinguer les lymphocytes B, T4 et T8 à l'aide de leurs récepteurs membranaires.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Récepteur des cellules B (BCR).</li> <li>■ Récepteur des cellules T (TCR).</li> </ul>	<p> Observation d'un frottis sanguin pour repérer les petits lymphocytes et les grands lymphocytes.</p> <p> Schématisation des différents lymphocytes avec leur TCR, BCR et leurs protéines membranaires caractéristiques (CD4 ou CD8).</p>
Commenter un schéma montrant comment la phagocytose par une cellule présentatrice d'antigène permet la « présentation » du peptide antigénique par liaison à une protéine de surface appartenant au « complexe majeur d'histocompatibilité ».	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Exocytose.</li> <li>■ Peptide antigénique.</li> <li>■ Glycoprotéine de surface.</li> <li>■ Cellule présentatrice d'antigène (CPA).</li> <li>■ Interaction protéine-ligand*.</li> </ul>	 Observation d'une photographie, d'une animation ou d'un schéma d'un modèle moléculaire montrant l'interaction glycoprotéine-peptide antigénique.
Expliquer l'activation monoclonale d'un lymphocyte T4 en lymphocyte T auxiliaire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lymphocyte T auxiliaire.</li> <li>■ Coopération cellulaire</li> <li>■ Activation monoclonale</li> <li>■ Cellule présentatrice d'antigène (CPA).</li> </ul>	 Schématisation de la coopération cellulaire entre cellule dendritique et lymphocyte T4.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Peptide antigénique.</li> </ul>	
Expliquer l'activation d'un lymphocyte T8 en lymphocyte T cytotoxique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Coopération cellulaire.</li> <li>■ Activation monoclonale.</li> <li>■ Cellule présentatrice d'antigène (CPA).</li> <li>■ Peptide antigénique.</li> </ul>	 Schématisation de la coopération cellulaire entre cellule présentatrice d'antigène et lymphocyte T8.
Décrire l'action d'un lymphocyte T cytotoxique contre un pathogène intracellulaire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cytotoxicité.</li> <li>■ Lyse cellulaire.</li> </ul>	 Visionnage de vidéos de lyse cellulaire induite par un lymphocyte T cytotoxique.   Schématisation de l'action du système perforine-granzymes sur la membrane plasmique d'une cellule cible.
Commenter un schéma présentant les acteurs de l'activation d'un lymphocyte B en plasmocyte.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Récepteur des lymphocytes B (BCR).</li> <li>■ Lymphocyte T auxiliaire</li> <li>■ Coopération cellulaire.</li> <li>■ Interaction protéine-ligand*.</li> <li>■ Activation monoclonale.</li> </ul>	<p>Observation de photographies de microscopie confocale montrant le contact étroit entre lymphocyte T auxiliaire et lymphocyte B.</p> <p>↔ <b>Module T1.</b></p>
Mettre en relation l'ultrastructure d'un plasmocyte et sa fonction de sécrétion.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cellule sécrétrice.</li> <li>■ Anticorps.</li> <li>■ Réticulum endoplasmique granuleux*.</li> <li>■ Vésicules de sécrétion.</li> </ul>	 Comparaison de la morphologie d'un lymphocyte B et d'un plasmocyte à partir de l'observation de frottis sanguin pathologique coloré au May – Grünwald Giemsa (MGG).  <p>Comparaison de l'ultrastructure d'un lymphocyte B et d'un plasmocyte à partir de photographies au microscope électronique à transmission (MET).</p>
Expliquer les conséquences de l'infection des lymphocytes T4 par le VIH (virus de l'immunodéficience humaine).	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Activation monoclonale.</li> <li>■ Mort cellulaire.</li> <li>■ Immunodéficience.</li> <li>■ Maladie opportuniste.</li> </ul>	 Visionnage de vidéos présentant l'activation monoclonale et la coopération cellulaire.   Étude de documents sur l'infection par le VIH et sur le SIDA (syndrome de l'immunodéficience acquise).  <p>↔ <b>Module S4.6.</b></p>
Expliquer la mémoire immunitaire à partir du suivi de la concentration plasmatique d'anticorps au cours du temps après immunisation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réponse primaire.</li> <li>■ Réponse secondaire.</li> <li>■ Mémoire immunitaire.</li> </ul>	Interprétation d'expériences d'immunisations répétées avec dosage d'anticorps.
Expliquer le lien entre la présence d'anticorps sériques caractéristiques chez un patient (IgM / IgG) et la chronologie de	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Isotype.</li> <li>■ Immunoglobuline (Ig).</li> </ul>	Étude de courbes présentant les taux sériques de différents isotypes d'anticorps spécifiques après infection.

l'infection.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sérodiagnostic.</li> </ul>	↔ <b>Modules T6 et T8.</b>
Mettre en relation la structure de l'immunoglobuline (Ig) avec sa fonction de fixation de l'antigène.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Interaction protéine-ligand.</li> <li>■ Spécificité.</li> <li>■ Épitope / paratope.</li> </ul>	<p>Mise en évidence de la spécificité des anticorps d'un sérum dans une expérience d'Ouchterlony.</p> <p> Visualisation de modèles numériques moléculaires en 3D d'un anticorps.</p>
Expliquer le rôle des anticorps dans la neutralisation <i>in vivo</i> .  Expliquer le rôle des anticorps dans la phagocytose.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Neutralisation / destruction.</li> <li>■ Opsonisation.</li> <li>■ <i>In vivo / in vitro</i>.</li> </ul>	Analyse d'expériences présentant l'efficacité de la phagocytose avec ou sans anticorps.
Dégager, dans une procédure opératoire, le rôle spécifique des anticorps.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anticorps / antigène.</li> <li>■ Anticorps anti-immunoglobuline.</li> </ul>	<p> Réalisation d'un sérogroupage de bactéries.</p> <p>Étude de fiches techniques d'activités de sérodiagnostic.</p> <p>Analyse de procédures de finalités variées (dosage d'anticorps, d'antigènes, ELISA (<i>enzyme-linked immunosorbent assay</i>), ...).</p> <p>↔ <b>Modules T6 et T8.</b></p>
<b>S2.4 Vaccins et immunothérapies : enjeux de santé publique</b>		
Identifier le rôle des différents constituants d'un vaccin.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vaccins vivants atténués.</li> <li>■ Vaccins inactivés.</li> <li>■ Antigène non pathogène.</li> <li>■ Immunogénicité.</li> <li>■ Adjuvant.</li> </ul>	<p>Comparaison de la composition de vaccins constitués d'agents pathogènes entiers tués, atténués ou de molécules vaccinales (anatoxine, ...).</p> <p>Illustration du rôle des adjuvants à partir de la composition de différents vaccins.</p>
Distinguer les stratégies médicales de vaccination et de sérothérapie (indications, durée de protection, délai d'efficacité).	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lymphocyte mémoire.</li> <li>■ Sérum.</li> <li>■ Thérapie.</li> <li>■ Prophylaxie.</li> </ul>	<p> Étude de différents contextes d'utilisation de la sérothérapie et de la vaccination.</p> <p>Analyse d'expériences montrant que la protection immunitaire contre un antigène est transférable entre deux individus par une injection de sérum.</p>
Repérer, dans un document, les acteurs moléculaires et cellulaires de l'immunothérapie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anticorps anti-tumoral.</li> <li>■ Vaccin thérapeutique.</li> <li>■ Thérapie ciblée.</li> </ul>	Analyse d'articles de vulgarisation scientifique évoquant l'immunothérapie dans le traitement des cancers.
Identifier, dans un article, les éléments reflétant les questions éthiques ou sociétales posées par la vaccination.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Protection collective.</li> <li>■ Protection individuelle.</li> <li>■ Résurgence.</li> <li>■ Mémoire immunitaire.</li> </ul>	<p> Étude des enjeux individuels, sanitaires, sociétaux et économiques de la vaccination.</p> <p>↔ <b>EMC.</b></p>

## ■ S3 – Propriétés de l'ADN et réplication

Ce module mobilise les concepts du module transversal « Information et communication » du programme de biochimie-biologie de première STL présentant la structure de l'ADN.

L'étude de la structure de l'ADN concerne son organisation dans la cellule, les mécanismes de la réplication, le cycle cellulaire ainsi que la différenciation cellulaire afin de comprendre les processus impliqués dans la cancérogenèse et l'utilisation des cellules souches en recherche biomédicale. Les concepts sont réinvestis dans les modules 9, « Utiliser les technologies de l'ADN », et 10, « Découvrir les technologies cellulaires végétales ».

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b>            Biochimie-biologie, classe de première : module transversaux A7, A8, A9, A12, D1, D2 et D4. Génétique moléculaire.            Biotechnologies, classe de première : modules 6 et 8.</p>		
<p><b>S3.1 Propriétés et structure des acides nucléiques</b></p>		
Représenter par un schéma les éléments structuraux de l'ADN permettant de mettre en évidence les liaisons hydrogène de la double hélice et les liaisons phosphodiester orientées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Polymère de nucléotides*.</li> <li>■ Liaison hydrogène*.</li> <li>■ A=T*.</li> <li>■ C≡G*.</li> <li>■ Orientation 5'→3'*.</li> <li>■ Liaison phosphodiester.</li> <li>■ Bicaténaire / monocaténaire.</li> <li>■ Brins antiparallèles.</li> <li>■ Double hélice.</li> </ul>	Exploitation de ressources documentaires pour comprendre la structure de l'ADN.
Déduire de la structure de l'ADN ses propriétés physico-chimiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Électronégativité*.</li> <li>■ Solubilité*.</li> <li>■ Absorption moléculaire des bases azotées.</li> <li>■ Dénaturation*.</li> <li>■ Effet hyperchrome.</li> <li>■ Température de fusion (T<sub>m</sub>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Réalisation du spectre d'absorption de l'ADN.</li> <li>  Comparaison du spectre d'absorption de l'ADN simple brin et double brin.</li> <li> Comparaison de la solubilité de l'ADN dans des solutions différentes (pH, force ionique, nature des solvants).</li> </ul>

Représenter les différents niveaux d'organisation d'un chromosome au cours du cycle cellulaire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Chromosome*.</li> <li>■ Chromatides*.</li> <li>■ Chromatide / chromatine.</li> <li>■ Euchromatine / hétérochromatine.</li> <li>■ Condensation.</li> <li>■ Nucléosome.</li> </ul>	 Utilisation de documents, de vidéos ou d'animations pour discerner les différents niveaux d'organisation chromosomique.
<b>S3.2 Réplication</b>		
Commenter et légèrer un schéma simple illustrant le mécanisme de la réplication d'un ADN double brin.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Semi-conservation.</li> <li>■ Polymère de nucléotides*.</li> <li>■ Double brin.</li> <li>■ dNTP.</li> <li>■ Orientation 5' → 3'.</li> <li>■ ADN polymérase.</li> </ul>	 Exploitation de ressources documentaires mettant en évidence le caractère semi-conservatif de la réplication, en lien avec la structure double brin de l'ADN.   Exploitation d'animations figurant la réplication chez les procaryotes pour mettre en évidence le rôle de chacun des acteurs de la réplication.
<b>S3.3 Cycle cellulaire, cancer et cellules souches</b>		
Reconnaître dans quelle phase du cycle se trouve une cellule à partir de sa morphologie, de la quantité d'ADN qu'elle contient.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cycle cellulaire.</li> <li>■ Phases du cycle cellulaire.</li> </ul>	 Observation au microscope de pointe de racine de jacinthe ou d'ail (cellules en division ou non).   Observation de cultures de cellules animales (inhibition de contact).  <b>↔ Module T10.</b>
Expliquer le lien entre une altération du cycle cellulaire et la genèse d'un cancer.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cancérogenèse.</li> <li>■ Prolifération.</li> <li>■ Dérégulation.</li> </ul>	Observation de frottis sanguins ou médullaires dans des cas de leucémies.   Analyse de documents comparant la vitesse de prolifération de cellules normales et cancéreuses.  Étude d'un protocole thérapeutique historique (taxol, colchicine) ciblant la prolifération des cellules.
Expliquer le lien entre la différenciation cellulaire et l'expression spécifique de gènes en relation avec la fonction de l'organe.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Expression des gènes.</li> <li>■ Répression.</li> <li>■ Euchromatine / hétérochromatine</li> <li>■ Pluripotence.</li> <li>■ Cellule souche.</li> </ul>	Observation d'électronographies de noyaux.  Étude de résultats de RT-PCR ( <i>reverse transcriptase-polymerase chain reaction</i> ), sans que soient détaillés les aspects techniques, pour comparer la production d'un même d'ARNm dans différents tissus.  Étude de l'expression des gènes <i>hox</i> au cours

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Différenciation.</li> </ul>	du développement embryonnaire.
Expliquer le rôle d'une cellule souche dans une thérapie génique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Transgénèse.</li> <li>■ Reconstitution de fonction.</li> <li>■ Cellule souche.</li> </ul>	 Études comparées de travaux de recherche sur l'utilisation de cellules souches embryonnaires, adultes ou induites en thérapie génique cellulaire.  ↔ <b>Module T9.5.</b>

## ■ S4 - Microorganismes et domaines d'application des biotechnologies

Ce module aborde la diversité des micro-organismes, leurs interactions avec l'organisme humain et leurs applications biotechnologiques notamment dans le domaine des bioindustries. Il vise à approfondir des concepts de microbiologie déjà abordés en classe de première en biochimie-biologie (module transversal B, « Structure de la cellule ») et en biotechnologies (module 1, « Observer la diversité du vivant »). Il fonde les concepts mobilisés dans les modules T2, « Cultiver des micro-organismes ou limiter leur croissance », et S1 « Enzymes et voies métaboliques ».

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b>            Biochimie-biologie, classe de première : module transversaux B1, B4, B5 et B6.            Biotechnologies, classe de première : module 1.</p>		
<p><b>S4.1 Structure des micro-organismes procaryotes</b></p>		
Schématiser la structure d'une bactérie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Coques / bacilles*.</li> <li>■ Agrandissement/grossissement*.</li> <li>■ Ultrastructure.</li> <li>■ Chromosome bactérien.</li> <li>■ Plasmide.</li> </ul>	 Comparaison d'une cellule eucaryote et procaryote à partir d'électronographies selon les critères de taille et d'ultrastructure.
Comparer la structure d'une paroi de bactérie Gram + et Gram -.  Expliquer les rôles de la paroi	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Paroi.</li> <li>■ Peptidoglycane.</li> <li>■ Membrane externe.</li> <li>■ Lipopolyoside (LPO)</li> </ul>	 Coloration de Gram de bactéries témoin et de bactéries Gram + préalablement traitées au lysozyme.

bactérienne.	ou lipopolysaccharide (LPS).	 Activité de mise en évidence des rôles antigénique et de résistance à la lyse osmotique de la paroi bactérienne. <b>⇔ Module T3.</b>
<b>S4.2 Structure des microorganismes eucaryotes : levures, moisissures, microalgues</b>		
Identifier les éléments de l'ultrastructure d'une levure.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Échelle*.</li> <li>■ Bourgeon.</li> <li>■ Paroi.</li> <li>■ Organites*.</li> </ul>	 Étude d'électronographies.  Observation au microscope de levures en division.
<p>Schématiser l'appareil sporifère d'une moisissure du genre <i>Penicillium</i> ou <i>Aspergillus</i> à partir d'une observation au microscope.</p> <p>Repérer hyphes, sporophores, spores sur un schéma de moisissure en faisant le lien avec leur fonction.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Appareil sporifère.</li> <li>■ Mycélium.</li> <li>■ Propagation des spores.</li> <li>■ Envahissement du milieu.</li> </ul>	 Observation macroscopique de cultures de moisissures.  Observation au microscope et comparaison des hyphes et des appareils sporifères de trois genres différents à l'aide d'un état frais coloré.  Schématisation des aspects microscopiques des trois genres principaux de moisissures. <b>⇔ Module T1.</b>
Comparer l'ultrastructure d'une microalgue photosynthétique et d'une cellule végétale chlorophyllienne.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Paroi.</li> <li>■ Chloroplastes.</li> </ul>	 Observation au microscope comparée de microalgues et de cellules végétales.  Étude comparative d'électronographies d'une microalgue et de cellules végétales. <b>⇔ Module S1.3.</b>
<b>S4.3 Interactions hôte humain - micro-organismes</b>		
<p>Distinguer les types d'interactions entre les micro-organismes et l'organisme humain.</p> <p>Localiser les différents microbiotes humains.</p> <p>Expliquer l'intérêt de la métagénomique pour montrer la diversité d'une flore complexe.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Commensalisme.</li> <li>■ Parasitisme.</li> <li>■ Agent pathogène.</li> <li>■ Biotopes.</li> <li>■ Dysbiose.</li> <li>■ Métagénomique.</li> <li>■ Microbiote*.</li> </ul>	<p>Présentation à partir d'exemple des interactions hôte-micro-organisme pertinentes en biologie médicale.</p> <p> Visite de laboratoires, expositions, lecture et analyse d'articles présentant les méthodes d'étude génomique des microbiotes humains.</p> <p>Étude de documents sur la corrélation entre le microbiote et certaines pathologies humaines.</p> <b>⇔ Module S2.</b>

S4.4 Micro-organismes et bio-industries		
Identifier l'intérêt d'une souche de micro-organisme donné à partir d'un exemple de production industrielle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Biomasse.</li> <li>■ Bioproduction.</li> <li>■ Métabolite d'intérêt.</li> </ul>	 Réalisation d'une fermentation, d'une production de métabolites ou d'une production de biomasse.  Analyse de documents de procédés de production alimentaire, pharmaceutique, cosmétique ...  ⇔ <b>Module T2.</b>
Identifier, à partir d'un exemple, l'intérêt d'un micro-organisme lors de la mise en œuvre d'une stratégie de dépollution.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Métabolisme d'intérêt.</li> <li>■ Conditions de culture*.</li> <li>■ Dépollution.</li> </ul>	 Visite ou étude d'une station d'épuration ou d'une unité de dépollution industrielle.  ⇔ <b>Module S1.</b>
Expliquer l'importance d'un contrôle microbiologique pour garantir la qualité d'une production industrielle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Altération microbiologique.</li> <li>■ Flore indicatrice.</li> <li>■ Critère officiel.</li> <li>■ Norme.</li> <li>■ Référence.</li> <li>■ Conformité.</li> </ul>	 Recherche d'un contaminant dans un produit alimentaire, pharmaceutique, cosmétique ...   Dénombrement de micro-organismes comme indicateurs de pollution globale ou de contamination fécale.  ⇔ <b>Module T4.</b>
S4.5 Les virus, parasites obligatoires de la cellule		
Identifier sur un schéma les principaux éléments de structure d'un virus.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Capside.</li> <li>■ Matériel génétique*.</li> <li>■ Virus à ADN / virus à acide ribonucléique (ARN).</li> <li>■ Enveloppe facultative.</li> </ul>	 Construction ou comparaison de schémas ou de maquettes de structures virales.  Étude comparée d'électronographies.
Repérer, sur un schéma de cycle infectieux, les principales étapes de la multiplication virale.  Identifier les structures de la cellule infectée mobilisées lors de la multiplication virale.  Caractériser le processus de fixation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Parasite obligatoire.</li> <li>■ Cycle infectieux.</li> <li>■ Cellule cible.</li> <li>■ Spécificité.</li> <li>■ Interaction récepteur – ligand*.</li> </ul>	Étude de plusieurs cycles de virus eucaryotes ou de bactériophages.   Observation d'électronographies de cellules infectées.  Mise en évidence de la spécificité pour les bactériophages par lysotypie.  ⇔ <b>Module T2.4</b>

<p>Décrire les conséquences cellulaires d'une infection de cellule eucaryote.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bourgeonnement viral.</li> <li>■ Lyse cellulaire.</li> <li>■ Infection lytique</li> <li>■ Infection latente.</li> </ul>	<p>Comparaison des modalités de libération des virions de virus eucaryotes.</p> <p> Observation d'électronographies de cellules infectées.</p>
<p>Comparer les principales étapes d'un cycle lytique et d'un cycle lysogène phagique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bactériophage.</li> <li>■ Phage virulent.</li> <li>■ Phage tempéré.</li> <li>■ Cycle lysogène / cycle lytique.</li> </ul>	<p>Exploitation d'électronographies du cycle infectieux de bactériophages.</p> <p>↔ <b>Module T2.4.</b></p>
<p>Relier le déroulement de certains cycles viraux avec les propriétés de transfert de gènes des virus.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Transduction phagique.</li> <li>■ Thérapie génique.</li> <li>■ Vecteur.</li> </ul>	<p>Exploitation d'articles scientifiques, visite de laboratoire.</p> <p>↔ <b>Module T9.</b></p>
<p><b>S4.6 Le VIH, pathologies associées et moyens de prévention</b></p>		
<p>Associer les principaux traitements actuels avec leurs cibles.</p> <p>Repérer sur une courbe les différents stades du syndrome d'immunodéficience acquise.</p> <p>Décrire les principaux moyens de prévention contre le VIH.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Séropositivité.</li> <li>■ Immunodéficience.</li> <li>■ Rétrovirus.</li> <li>■ Traitement antirétroviral.</li> <li>■ Mode de contamination.</li> <li>■ Exposition professionnelle.</li> </ul>	<p>Exploitation d'articles scientifiques.</p> <p> Présentations d'intervenants en recherche médicale ou en prévention sur les stratégies actuelles de lutte contre le virus, leurs limites et les perspectives.</p> <p>↔ <b>Module L2.</b></p>

# Partie T

## Développer les fondamentaux Technologiques expérimentaux des biotechnologies

Cette partie vise à approfondir les concepts présentés dans la partie « Acquérir les fondamentaux technologiques et scientifiques des biotechnologies » de la classe de première. Elle s'enrichit de la découverte de nouvelles technologies utilisant les enzymes, les anticorps et l'ADN, molécules du vivant utilisées comme outils biotechnologiques.

### ■ T1 – Observer la diversité du vivant

À la mise en œuvre des observations simples au microscope de la classe de première s'ajoute la présentation de techniques de microscopie différentielles adaptées à la visualisation de structures spécifiques du vivant.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<b>Notions déjà abordées :</b> Biochimie-biologie, classe de première : module transversal B1. Biotechnologies, classe de première : modules 1 et 3.		
Différencier les types de clichés de microscopie (optique, fluorescence, électronique : MET, MEB).  Choisir le type de microscopie adapté à l'objet étudié.	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Photon / électron.</li><li>■ Fluorochrome.</li><li>■ Excitation / émission.</li><li>■ Échelle*.</li><li>■ Grandissement / grossissement*.</li></ul>	 Comparaison de clichés obtenus avec différents types de microscopes.  ⇔ <b>Module T6.</b>  ⇔ <b>Module S4.</b>
Mettre en œuvre une coloration spécifique à l'aide d'une fiche technique afin d'observer des structures cellulaires.	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Coloration différentielle*.</li><li>■ Coloration topographique.</li></ul>	 Observation de tissus végétaux après coloration au carmin-vert d'iode.   Coloration de spores bactériennes.

		↔ <b>Module S4.</b>
Interpréter une observation au microscope en identifiant des structures spécifiques. Comparer des observations au microscope de différents types cellulaires.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Échelle*.</li> <li>■ Critères de reconnaissance cytologique*.</li> <li>■ Moisissure.</li> </ul>	 Comparaison cellule végétale/cellule animale, cellule végétale/microalgue, moisissure/levure, cellules différenciées. ↔ <b>Module S4.</b>

## ■ T2 – Cultiver des micro-organismes, suivre ou limiter leur croissance

Ce module introduit l'étude de la culture de micro-organismes de façon contrôlée et reproductible à l'aide d'une modélisation quantitative de la croissance en milieu non renouvelé. L'examen de cette modélisation permet de mettre en évidence et d'analyser les méthodes de limitation de la croissance des micro-organismes par des agents physiques, chimiques ou viraux.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<b>Notions déjà abordées :</b> Biotechnologies, classe de première : module 2.		
<b>T2.1 Analyse d'un produit polymicrobien – culture sélective du micro-organisme recherché</b>		
Identifier les étapes d'une procédure de recherche de micro-organisme d'intérêt à partir d'un produit polymicrobien.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Caractère d'intérêt.</li> <li>■ Enrichissement.</li> <li>■ Milieu d'isolement*.</li> </ul>	 Recherche et identification d'une bactérie d'intérêt dans un produit polymicrobien (pathogène, témoin de contamination, à métabolisme dépolluant ...). ↔ <b>Module T3.</b>
<b>T2.2 Modélisation de la croissance en milieu non renouvelé</b>		
Mettre en œuvre un suivi de croissance en tenant compte des points critiques. Faire le lien entre l'atténuation et la biomasse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Courbe de croissance.</li> <li>■ Biomasse.</li> <li>■ Atténuation.</li> </ul>	 Mise en œuvre et suivi d'une culture pour produire de la biomasse (levure), réaliser une fermentation (lactique, alcoolique) ou produire un métabolite (antibiotique). ↔ <b>Mathématiques.</b>
Identifier les phases de la croissance.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Phases de croissance.</li> <li>■ Temps de génération.</li> </ul>	↔ <b>Module L4.</b>

Déterminer les paramètres cinétiques de la croissance.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vitesse spécifique en phase exponentielle de croissance.</li> </ul>	
Identifier des paramètres influençant la croissance.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Conditions physico-chimiques de culture*.</li> </ul>	 Comparaison du suivi de croissances à différents pH ou températures.
Repérer les étapes de la mise en œuvre industrielle d'une croissance en bioréacteur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bioréacteur.</li> </ul>	 Suivi de la mise en œuvre d'une bioproduction à l'échelle pilote ou industrielle.
<b>T2.3 Les agents antimicrobiens inhibiteurs de la croissance</b>		
<p>Classer les agents antimicrobiens en agents physiques et agents chimiques.</p> <p>Identifier, à l'aide de documents, des modes d'action d'agents antimicrobiens.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Microbicide / microbiostatique.</li> <li>■ Antibiotique.</li> <li>■ Antiseptique.</li> <li>■ Désinfectant.</li> </ul>	 Identification des différents types d'agents antimicrobiens dans la composition de produits d'utilisation courante.
<p>Élaborer un protocole de réduction de charge microbienne et le mettre en œuvre.</p> <p>Choisir un agent chimique adapté au micro-organisme à éliminer et à la surface à décontaminer.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pasteurisation.</li> <li>■ Stérilisation*.</li> <li>■ Barème durée – température.</li> <li>■ Concentration minimale inhibitrice (CMI).</li> <li>■ Spectre d'action.</li> </ul>	 Étude de l'effet de la température et de la durée d'exposition sur la destruction microbienne en mettant en œuvre une stérilisation et une pasteurisation.   Détermination de la CMI d'une molécule antimicrobienne.   Mise en œuvre d'un suivi de croissance en présence ou non d'un agent antimicrobien.   Comparaison des spectres d'action de différents désinfectants et antiseptiques.
Exploiter les résultats d'un antibiogramme pour proposer un antibiotique adapté à la souche bactérienne à neutraliser.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Concentration critique.</li> <li>■ Spectre d'action.</li> <li>■ Méthode standardisée.</li> <li>■ Sensibilité.</li> <li>■ Résistance.</li> </ul>	 Mise en œuvre d'un antibiogramme dans des conditions de standardisation.   Étude de l'influence des paramètres de standardisation sur les résultats d'un antibiogramme.
Identifier, à l'aide de documents, des cibles cellulaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Résistance naturelle / résistance acquise.</li> </ul>	 Comparaison des parois Gram + et Gram – pour mettre en évidence la résistance

des antibiotiques. Illustrer un mode de résistance des bactéries aux antibiotiques. Justifier l'usage raisonné des antibiotiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bactéries multi-résistantes.</li> </ul>	naturelle aux pénicillines.  Comparaison de résultats d'antibiogrammes d'une bactérie sauvage et d'une souche multi-résistante.   Exploitation d'articles scientifiques.
<b>T2.4 Les bactériophages, virus lytiques ou lysogènes des bactéries</b>		
Mettre en évidence l'action lytique d'un bactériophage. Analyser l'effet d'un bactériophage sur une croissance bactérienne.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spécificité*.</li> <li>Cycle lytique / cycle lysogénique.</li> <li>Phage virulent.</li> <li>Phage tempéré.</li> <li>Plage de lyse.</li> </ul>	 Recherche de bactériophages dans l'eau.   <b>Module T4.</b>    Analyse d'une croissance ou d'une fermentation en présence de phages.   <b>Module S4.5.</b>
Faire le lien entre les caractéristiques des bactériophages et leurs utilisations.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spectre d'action.</li> <li>Transduction.</li> <li>Phagothérapie.</li> </ul>	 Mise en évidence de la spécificité des phages par lysotypie en comparaison avec l'action d'un antibiotique.   Mise en évidence du rôle des bactériophages dans l'échange de matériel génétique.   Étude documentaire sur la phagothérapie.

## ■ T3 – Caractériser pour identifier des micro-organismes

Dans ce module, les élèves examinent les caractères cultureux et métaboliques des micro-organismes afin de mettre en œuvre une stratégie cohérente d'identification phénotypique jusqu'au niveau de l'espèce.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<b>Notions déjà abordées :</b> Biochimie-biologie, classe de première : module transversal A. Biotechnologies, classe de première : modules 1 et 3.		

T3.1 Exploration des caractères morphologiques des micro-organismes utiles à l'orientation		
Prendre en compte les caractères microscopiques dans une démarche d'orientation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Caractères microscopiques morphologiques*.</li> <li>■ Mobilité bactérienne*.</li> </ul>	 Réalisation de colorations de Gram sur différentes souches pures ou mélanges, sur des échantillons biologiques.  ↔ <b>Module T1.</b>   Réalisation d'états frais à partir de souches présentant ou non une mobilité.  ↔ <b>Module S4.</b>
T3.2 Exploration du métabolisme microbien utile à l'identification		
Mettre en évidence le comportement d'une souche vis-à-vis du dioxygène.  Distinguer respiration et fermentation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Métabolisme énergétique.</li> <li>■ Tolérance au dioxygène.</li> <li>■ Aérobiose* / anaérobiose.</li> </ul>	 Comparaison de cultures de micro-organismes en conditions aérobies et anaérobies.   Recherche du type respiratoire.   Recherche d'enzymes associées au métabolisme (dont nitrate réductase).  ↔ <b>Module S1.</b>
Faire le lien entre la couleur d'un indicateur de pH et le pH d'un milieu.  Faire le lien entre le pH et la nature glucidique ou protidique du substrat dégradé.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Indicateur coloré.</li> <li>■ Source d'énergie*.</li> <li>■ Source de carbone*.</li> <li>■ Source d'azote.</li> <li>■ Catabolisme.</li> <li>■ Métabolites basiques.</li> <li>■ Métabolites acides.</li> </ul>	 Interprétation, après culture, de la conséquence de la dégradation des glucides et des peptones en milieu différentiel.  ↔ <b>Module S1.</b>
Faire le lien entre l'utilisation de macromolécules comme substrats et la sécrétion d'une enzyme microbienne.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Macromolécule.</li> <li>■ Exo-enzyme.</li> </ul>	 Culture sur gélose à l'amidon pour détecter l'activité de l'amylase sécrétée.   Culture sur gélose au sang pour décrire une hémolyse.
Relier la croissance en milieu synthétique avec la capacité métabolique d'utiliser un substrat particulier.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Auxanogramme.</li> <li>■ Milieu synthétique.</li> </ul>	 Réalisation d'un auxanogramme.   Lire et exploiter les résultats d'un auxanogramme.  ↔ <b>Module S1.</b>

T3.3 Démarche d'identification d'une souche à partir de ses caractères morphologiques, culturels, et biochimiques		
Mettre en œuvre une démarche raisonnée d'identification d'une souche pure à l'aide de résultats expérimentaux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Souche pure.</li> <li>■ Examen macroscopique*.</li> <li>■ Examen microscopique*.</li> <li>■ Test enzymatique oxydase / test enzymatique catalase.</li> </ul>	<p> Mise en œuvre de la démarche d'orientation et de vérification de la pureté.</p> <p> Utilisation de tableaux d'identification pour s'orienter vers une famille et poursuivre la démarche.</p> <p>↔ <b>Module S1.</b></p>
Utiliser la méthode dichotomique pour débiter l'identification d'un micro-organisme.  Réaliser l'identification du genre et de l'espèce par la méthode probabiliste.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Taxon*.</li> <li>■ Galerie d'identification.</li> <li>■ Caractères phénotypiques.</li> <li>■ Caractères discriminants.</li> </ul>	<p> Ensemencement et lecture d'une micro-galerie d'identification.</p> <p> Obtention d'un résultat d'identification en utilisant une base de données taxonomique ou un logiciel d'identification.</p>

## ■ T4 – Réaliser un dénombrement de micro-organismes présents dans un produit biologique

Ce module complète l'étude du dénombrement de micro-organismes en milieu solide et la numération directe en cellule de comptage expérimentés en classe de première par la découverte d'autres techniques telles que la détermination de la viabilité cellulaire, la filtration sur membrane et le dénombrement de bactériophages.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b> Biotechnologies, classe de première : modules 2 et 4.</p>		

T4.1 Réaliser un dénombrement par numération directe au microscope		
<p>Distinguer les cellules vivantes et les cellules mortes en cytomètre manuel.</p> <p>Exploiter un résultat de numération avec test de viabilité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cellule de comptage*.</li> <li>■ Colorant vital.</li> <li>■ Pourcentage de viabilité.</li> </ul>	  Réalisation d'une numération cellulaire en présence d'un colorant vital.
T4.2 Réaliser un dénombrement après culture en milieu solide		
<p>Réaliser un dénombrement par filtration sur membrane.</p> <p>Exploiter un résultat de dénombrement issu d'une filtration.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Unité Formant Colonies (UFC)*.</li> <li>■ Critère microbiologique*.</li> <li>■ Système de filtration.</li> <li>■ Membrane filtrante.</li> </ul>	 Utilisation d'une unité de filtration à l'aide d'une fiche technique.   Dénombrement des micro-organismes d'une eau par filtration sur membrane.  Comparaison d'un résultat expérimental avec un critère microbiologique dans une démarche normalisée. <p>↔ <b>Module L3.</b></p>
<p>Choisir une méthode de dénombrement en milieu solide adaptée au contexte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Filtration.</li> <li>■ Dénombrement dans la masse.</li> <li>■ Dénombrement en surface.</li> <li>■ Méthode normalisée*.</li> </ul>	  Comparaison de méthodes de dénombrement selon le contexte, le produit analysé et le(s) micro-organisme(s) à dénombrer.
<p>Choisir un milieu et des conditions de culture adaptés aux microorganismes à dénombrer.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Milieu sélectif*.</li> <li>■ Conditions physico-chimiques de culture*.</li> </ul>	  Dénombrement de micro-organismes d'intérêt dans un produit polymicrobien.
T4.3 Réaliser un dénombrement de bactériophages		
<p>Réaliser un dénombrement de bactériophages.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Souche sensible.</li> <li>■ Plage de lyse.</li> <li>■ Unité formant plage (UFP).</li> </ul>	  Mise en évidence d'une contamination fécale d'une eau par dénombrement de bactériophages.   Titration d'une suspension de bactériophages dans un contexte de recherche ou d'utilisation thérapeutique. <p>↔ <b>Module T2.</b></p>

## ■ T5 – Préparer des solutions utilisables au laboratoire – en biologie moléculaire

Ce module développe l'apprentissage des calculs et des gestes spécifiques aux techniques de manipulation de micro volumes caractéristiques des techniques de biologie moléculaire.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b> Biotechnologies, classe de première : module 5.</p>		
<p><b>T5.1 Calculer et manipuler des micro-volumes</b></p>		
<p>Choisir le matériel adapté pour préparer une solution en micro-volume.</p> <p>Identifier les points critiques d'un pipetage de micro-volume.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Micro-volume.</li> <li>■ Exactitude*.</li> </ul>	<p> Contrôle visuel de micro-volumes pipetés à l'aide de solutions colorées.</p> <p> Entraînement au maniement des micropipettes par dépôt de gouttes sur un support plat (lame) ou creux (puits).</p> <p> Analyse des points critiques spécifiques des gestes de pipetages des micro-volumes.</p> <p>↔ <b>Module L3.</b></p> <p>↔ <b>Module T9.</b></p>
<p>Calculer les volumes requis en vue de la préparation d'un mélange réactionnel (prémix/mix) à partir de solutions concentrées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Concentration finale / concentration initiale*.</li> <li>■ Concentration en masse*.</li> <li>■ Concentration en quantité de matière.</li> <li>■ Pourcentage (m/V).</li> </ul>	<p> Exercices de calculs du volume de solution concentrée (exprimée en X ou en pourcentage m/V).</p> <p>↔ <b>Module T9.</b></p>
<p>Mettre en œuvre une procédure nécessitant des micro-volumes.</p> <p>Prendre en compte les risques de contamination des expériences réalisées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Risque pour la manipulation.</li> </ul>	<p>  Réalisation d'un mix de PCR après analyse de la situation de travail.</p> <p>↔ <b>Module T9.</b></p>

T5.2 Étiqueter et stocker des solutions		
Étiqueter une solution pour une utilisation ultérieure.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Traçabilité.</li> <li>■ Règles d'étiquetage.</li> </ul>	 Élaboration d'étiquettes adaptées à toute solution utilisée au laboratoire. ⇔ <b>Module L2.</b>
Choisir le lieu de stockage adapté aux solutions.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Armoire ventilée.</li> <li>■ Température de conservation.</li> </ul>	 À partir de données techniques sur un produit, identification de son lieu et de ses conditions de stockage. Visite des salles de préparation et de stockage en collaboration avec le personnel de laboratoire. ⇔ <b>Module L2.</b>

## ■ T6 – Détecter et caractériser les biomolécules

Dans ce module, les élèves acquièrent des techniques de mise en évidence des propriétés immunologiques des biomolécules qui permettent de détecter et d'identifier des antigènes exprimés notamment par des bactéries ou des virus. Le module s'inscrit dans le prolongement de celui de la classe de première et est mis en relation avec les modules S2 et T7 du programme de la classe terminale. Une attention particulière est portée aux points critiques des étapes opératoires ainsi qu'au rôle des témoins à réaliser.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<b>Notions déjà abordées :</b>		
Biotechnologies, classe de première : modules C et 6.		
Identifier, dans une procédure, l'antigène et l'anticorps. Déterminer le rôle des différentes étapes de la procédure. Choisir des témoins adaptés. Représenter schématiquement l'édifice moléculaire obtenu à partir d'une procédure opératoire et d'un résultat.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Test qualitatif*.</li> <li>■ Antigène / anticorps.</li> <li>■ Spécificité*.</li> <li>■ Témoin d'efficacité.</li> <li>■ Témoin de spécificité.</li> <li>■ Édifice moléculaire.</li> </ul>	 Identification des acteurs de la réaction antigène-anticorps dans différents types de procédures de détection.  Identification dans une procédure des points critiques d'une réaction antigène – anticorps (lavages, concentration en molécules, système de détection) et du rôle des témoins.  Schématisation de l'assemblage des antigènes et des anticorps après analyse de différentes procédures.

<p>Mettre en œuvre une réaction d'agglutination.</p> <p>Mettre en œuvre une réaction de précipitation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Agglutination.</li> <li>■ Précipitation.</li> </ul>	<p> Réalisation d'un sérogroupage de bactéries.</p> <p> Mise en œuvre d'un groupage sanguin.</p> <p> Détection d'une biomolécule par la méthode d'Ouchterlony.</p>
<p>Mettre en œuvre une réaction immuno-enzymatique.</p> <p>Analyser un résultat qualitatif après validation des témoins.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Conjugué.</li> </ul>	<p> Détection de bactéries, virus, d'allergènes, de toxines par réaction ELISA.</p> <p>↔ <b>Module S2.</b></p> <p>↔ <b>Module T8.</b></p> <p>  Mise en évidence de structures cellulaires par immunomarquage.</p> <p>↔ <b>Module T1.</b></p>

## ■ T7 – Extraire, séparer, purifier les composants d'un mélange

Ce module vise à comprendre les étapes opératoires mises en œuvre lors de la séparation des composants d'un mélange à visée analytique ou préparative. Il permet de choisir les matériels appropriés en tenant compte des points critiques identifiés. Les modules T6 et T9 ainsi que les modules de la partie L sont mobilisés dès que possible.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b> Biotechnologies, classe de première : module 7.</p>		
<p><b>T7.1 Fractionnement d'un mélange hétérogène</b></p>		
<p>Choisir le filtre adapté aux molécules ou particules à séparer.</p> <p>Préparer et mettre en œuvre une filtration.</p> <p>Identifier les éléments retrouvés dans le filtrat et dans le</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Filtration.</li> <li>■ Porosité.</li> <li>■ Filtrat.</li> <li>■ Rétenant.</li> <li>■ Sédimentation.</li> </ul>	<p> Extraction d'une enzyme (PAL : phosphatase alcaline) après broyage et filtration de foie de bœuf.</p> <p> Extraction de pigments chlorophylliens de microalgues après centrifugation, broyage et filtration.</p>

rétentat.		 Préparation d'un culot bactérien en vue d'une extraction d'ADN.
Équilibrer une centrifugeuse. Mettre en œuvre une séparation par centrifugation. Identifier les éléments retrouvés dans le culot et le surnageant.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Centrifugation.</li> <li>■ Culot.</li> <li>■ Surnageant.</li> </ul>	
<b>T7.2 Séparation des biomolécules par électrophorèse</b>		
Déterminer la charge globale d'une molécule selon le pH du tampon de travail. Prévoir le sens de migration à partir des données fournies.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Champ électrique.</li> <li>■ Anode/cathode.</li> <li>■ Molécule chargée*.</li> <li>■ Sens de migration.</li> </ul>	 Électrophorèse sur papier de mélanges d'acides aminés dans des tampons de pH différents.   Séparation des protéines du blanc d'œuf en gel d'agarose avec révélation au bleu de Coomassie.
Choisir le support d'électrophorèse adapté aux molécules à séparer. Mettre en œuvre une procédure d'électrophorèse en tenant compte des points critiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tampon de migration.</li> <li>■ Support de migration.</li> <li>■ Vitesse de migration.</li> </ul>	  Électrophorèse des protéines du sérum et exploitation par logiciel d'analyse d'image.   Préparation d'un gel d'agarose et mise en œuvre d'une électrophorèse d'ADN.   Détermination de la taille d'un fragment d'ADN.
Interpréter un électrophorégamme pour identifier les biomolécules séparées. Critiquer la qualité de la séparation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Distance de migration.</li> <li>■ Marqueur de taille.</li> <li>■ Marqueur de masse moléculaire.</li> <li>■ Révélateur spécifique.</li> </ul>	Identification d'une protéine d'un mélange simple par sa masse moléculaire.  ↔ <b>Module T6.</b> ↔ <b>Module T9.</b> ↔ <b>Module L4.</b>
<b>T7.3 Séparation des biomolécules par chromatographie d'exclusion moléculaire dans le but de les purifier</b>		
Distinguer, selon les objectifs et le contexte, une chromatographie préparative et analytique. Schématiser le principe de séparation. Prévoir l'ordre d'éluion de molécules en fonction des données fournies. Proposer une méthode de	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Chromatographie*.</li> <li>■ Phase fixe*.</li> <li>■ Phase mobile*.</li> <li>■ Exclusion moléculaire.</li> </ul>	 Mise en œuvre d'une chromatographie d'exclusion pour séparer les composants d'un mélange (protéines, colorants ...).   Réalisation d'un dessalage suite à une précipitation de protéines.   Analyse de protocoles et de résultats obtenus.  ↔ <b>Module T6.</b>

<p>détection des biomolécules dans les fractions obtenues.</p> <p>Mettre en œuvre une procédure de chromatographie sur colonne en tenant compte des points critiques.</p> <p>Interpréter un chromatogramme.</p>		
<b>T7.4 Démarche spécifique à l'extraction et la purification d'une enzyme</b>		
<p>Relier une méthode d'extraction à la localisation de l'enzyme.</p> <p>Choisir une méthode de séparation en fonction des propriétés de l'enzyme à purifier.</p> <p>Établir le tableau de suivi d'une purification d'enzyme.</p> <p>Critiquer la qualité de la purification.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Critère de séparation.</li> <li>■ Activité spécifique.</li> <li>■ Enrichissement.</li> <li>■ Rendement de purification.</li> </ul>	<p> Mise en œuvre d'une purification d'enzyme (lysozyme du blanc d'œuf, invertase de levure, peroxydase du radis, PAL du foie de bœuf).</p> <p>  Mesure de l'activité enzymatique à chaque étape de la purification.</p> <p> Analyse de la qualité de la purification de l'enzyme par électrophorèse.</p> <p>↔ <b>Module T8.</b></p>

## ■ T8 – Déterminer la concentration d'une biomolécule dans un produit biologique

Initiée dès la classe de première, la détermination de la concentration d'une biomolécule dans un produit biologique est enrichie en classe terminale par la réalisation de dosages mettant en jeu des interactions « enzyme – substrat » ou « antigène – anticorps ». Les conditions opératoires sont analysées et étudiées expérimentalement selon différentes perspectives, dont l'optimisation des techniques. L'exploitation des résultats mobilise et consolide les acquis des modules L3 et L4.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b></p> <p>Biotechnologies, classe de première : modules 6 et 8.</p> <p>Biochimie-biologie, classe de première : module transversal A6, nutrition.</p>		

T8.1 Dosage d'un substrat par une méthode enzymatique en point final		
<p>Identifier le rôle des différentes étapes à partir des équations de réaction d'une méthode de dosage de substrat par méthode enzymatique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réactions enzymatiques couplées.</li> <li>■ Réaction enzymatique totale.</li> <li>■ Réaction enzymatique terminée.</li> <li>■ Réaction principale</li> <li>■ Réaction auxiliaire.</li> <li>■ Réaction indicatrice.</li> </ul>	<p>Analyse de différentes procédures de dosage enzymatique avec 2 à 4 réactions couplées.</p> <p>Analyse de différentes fiches techniques pour identifier les conditions opératoires (durée de réaction, température, dilution préalable de l'échantillon).</p> <p> Mise en œuvre du dosage du glucose par la glucose oxydase (GOD) avec une méthode avec un étalon unique et avec une gamme d'étalonnage.</p> <p>↔ <b>Module L3.</b></p>
<p>Établir la stœchiométrie de la (des) réaction(s) reliant la molécule indicatrice et le substrat à doser.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Chromogène / chromophore*.</li> <li>■ Molécule en excès.</li> <li>■ Molécule limitante.</li> </ul>	<p>↔ <b>Module L4.</b></p>
<p>Analyser une procédure pour expliquer la composition des milieux réactionnels.</p> <p>Repérer, dans une fiche technique, les conditions opératoires.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Point final*.</li> <li>■ Concentration en substrat à doser.</li> </ul>	
<p>À partir d'un mode opératoire, établir le tableau de manipulation d'un dosage avec une gamme d'étalonnage ou avec un étalon unique.</p> <p>Mettre en œuvre une procédure du dosage de substrat par méthode enzymatique en point final en tenant compte des points critiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Loi de Beer Lambert*.</li> <li>■ Étalon unique*.</li> <li>■ Gamme d'étalonnage*.</li> </ul>	
T8.2 Dosage d'une activité enzymatique (z) et de sa concentration d'activité (b)		
<p>Mettre en œuvre un suivi de réaction enzymatique en fonction du temps.</p> <p>Déterminer la période initiale d'une cinétique enzymatique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cinétique enzymatique.</li> <li>■ Période initiale.</li> <li>■ Vitesse initiale.</li> </ul>	<p> Réalisation de cinétique(s) enzymatique(s) et détermination de la durée de la période initiale en vue d'une adaptation en méthode « deux points ».</p>

Déterminer la vitesse initiale d'une réaction.		 Détermination d'une activité enzymatique dans différentes conditions de pH et de température.
Analyser l'effet des conditions physico-chimiques sur l'activité enzymatique.  Repérer les conditions opératoires dans une fiche technique de mesure d'activité enzymatique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température optimale*.</li> <li>■ Thermostatisation.</li> <li>■ pH optimal*.</li> <li>■ Tampon.</li> <li>■ Cinétique en continu</li> <li>■ Méthode « deux points ».</li> <li>■ Molécule en excès.</li> <li>■ Molécule limitante.</li> </ul>	 Étude de l'influence de la concentration en enzyme sur la vitesse initiale de la réaction en condition de substrat saturante.   Réalisation du dosage d'une enzyme sérique par une méthode cinétique en continu.   Réalisation du dosage de la phosphatase alcaline (PAL) dans le lait par une méthode « deux points ».
Établir la stœchiométrie de la (des) réaction(s) entre le substrat et le produit.  Mettre en œuvre une procédure du dosage d'activité enzymatique par méthode cinétique en continu et par méthode « deux points » en tenant compte des points critiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Temps de réaction.</li> <li>■ Conditions opératoires*.</li> </ul>	↔ <b>Physique-chimie et mathématiques (1<sup>er</sup>).</b>
Calculer, à l'aide d'une formule fournie, l'activité catalytique $z$ et la concentration d'activité catalytique $b$ .  Interpréter le résultat obtenu à l'aide de valeurs de références.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Activité enzymatique <math>z</math>.</li> <li>■ Unités d'activité enzymatique.</li> <li>■ Concentration d'activité catalytique <math>b</math>.</li> </ul>	

### T8.3 Dosage d'une molécule par une réaction antigène-anticorps

Expliquer l'établissement d'un gradient de concentration de la molécule déposée dans le puits dans le cas des méthodes en milieu gélosé.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Diffusion.</li> <li>■ Gradient de concentrations.</li> </ul>	 Mise en évidence de la diffusion dans un gel d'une molécule colorée à différentes concentrations.   Mise en évidence de l'importance de la concentration du gel sur la qualité de la diffusion.
Schématiser le réseau antigène-anticorps au niveau de la zone d'équivalence.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Spécificité.</li> <li>■ Réaction antigène - anticorps.</li> </ul>	 Mise en œuvre du dosage des aflatoxines dans les denrées alimentaires.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zone d'équivalence.</li> <li>■ Précipitation.</li> </ul>	 Mise en œuvre du dosage des antigènes dans les tests de contrôle de l'adultération.
Exploiter la relation de proportionnalité entre le carré du diamètre des halos de précipitation et le Log de la concentration en substance analysée dans la méthode de Mancini.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Substance étalon / substance à doser*.</li> <li>■ Gamme d'étalonnage*.</li> </ul>	↔ <b>Module L4.</b>
Interpréter les résultats d'une méthode immuno-enzymatique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Courbe d'étalonnage.</li> </ul>	 Mise en œuvre d'une méthode ELISA quantitative pour doser une molécule biologique.  ↔ <b>Module T6.</b>

## ■ T9 – Utiliser les technologies de l'ADN

En classe terminale, les élèves sont sensibilisés à l'environnement de travail, aux exigences spécifiques à la pratique de la biologie moléculaire et aux enjeux de société liés aux technologies de l'ADN. L'exploitation de ressources numériques complète ou introduit les démarches expérimentales du programme : la PCR (*polymerase chain reaction*), la digestion enzymatique d'une molécule d'ADN ou l'utilisation de banques de données d'ADN.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<b>Notions déjà abordées :</b> Biochimie-biologie, classe de première : modules transversaux A7, A8, A9, B6, D1 et D4.		
<b>T9.1 Préparation d'une solution d'ADN utilisable au laboratoire</b>		
Déterminer le rôle des étapes d'une extraction d'ADN en lien avec les structures cellulaires.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lyse cellulaire.</li> <li>■ Déprotéinisation.</li> <li>■ Solubilité différentielle.</li> </ul>	Analyse critique d'un mode opératoire précisant les particularités des bonnes pratiques de laboratoire en biologie moléculaire.
Identifier les points critiques d'une extraction d'ADN.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ADN exogène.</li> </ul>	 Comparaison de procédures différentes d'extraction et purification d'ADN

Mettre en œuvre une procédure d'extraction et de purification d'ADN.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nucléases.</li> </ul>	à l'aide de produits domestiques, des réactifs du laboratoire ou d'un kit.
Contrôler l'efficacité de l'extraction d'ADN.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pureté.</li> </ul>	 Quantification et contrôle de la pureté d'une solution d'ADN préparée par mesure d'absorption dans l'UV.
<b>T9.2 Amplification d'un fragment d'ADN par une technique de PCR</b>		
Distinguer, selon les objectifs et le contexte, une PCR préparative d'une PCR analytique.  Déterminer le rôle de chaque composant du réactif de PCR en lien avec les mécanismes de réplication.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gène d'intérêt.</li> <li>■ Séquence-cible.</li> <li>■ Amorces.</li> <li>■ Spécificité*.</li> </ul>	 Analyse des objectifs et des modes opératoires de PCR dans différents contextes.
Repérer les étapes des réactions d'un cycle de PCR à partir d'une procédure.  Expliquer l'intérêt de la répétition des cycles de PCR.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dénaturation.</li> <li>■ Hybridation.</li> <li>■ Élongation.</li> <li>■ Amplification</li> <li>■ Amplicon.</li> </ul>	 Prévision du nombre théorique d'amplicons en fonction du nombre de cycles.  ↔ <b>Mathématiques.</b>   Réalisation d'une PCR en bain thermostaté ou à l'aide d'un thermocycleur.
Mettre en œuvre une technique de PCR en respectant les points critiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Marche en avant.</li> </ul>	↔ <b>Module T5.</b>
Vérifier le résultat et la qualité de la PCR par électrophorèse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Charge.</li> <li>■ Marqueur de taille.</li> <li>■ Témoins*.</li> </ul>	 Analyse du produit de la PCR par électrophorèse.   Schématisation du résultat prévisionnel de l'électrophorèse.
<b>T9.3 Digestion d'une molécule d'ADN par une enzyme de restriction</b>		
Choisir une enzyme de restriction adaptée pour digérer un fragment d'ADN dans un contexte donné.  Prévoir la taille des fragments d'ADN digérés.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Endonucléase.</li> <li>■ Site de restriction.</li> <li>■ Bouts collants / bouts francs.</li> <li>■ Produits de digestion.</li> </ul>	 Exploitation de ressources numériques pour des activités : <ul style="list-style-type: none"> <li>— d'identification de sites de restriction dans une séquence donnée ;</li> <li>— de simulation d'une restriction <i>in silico</i> ;</li> <li>— de prévision de la taille des produits de digestion.</li> </ul> ↔ <b>Module L4.</b>

<p>Mettre en œuvre une restriction enzymatique en respectant les points critiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Conditions opératoires.</li> </ul>	<p> Réalisation de digestions en faisant varier les paramètres physico-chimiques.</p> <p> Réalisation d'une électrophorèse pour visualiser le résultat de la digestion.</p>
<b>T9.4 Clonage d'un fragment d'ADN</b>		
<p>Décrire les caractéristiques d'un vecteur de clonage.</p> <p>Explorer les outils permettant de choisir l'enzyme de restriction appropriée.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Plasmide.</li> <li>■ Origine de réplication.</li> <li>■ Promoteur.</li> <li>■ Site de clonage multiple.</li> <li>■ Marqueur de sélection.</li> <li>■ Gène rapporteur.</li> </ul>	<p>Modélisation d'un clonage à l'aide d'un support papier ou numérique.</p> <p> Extraction-purification d'un vecteur de clonage.</p> <p> Recherche dans les banques de données d'ADN.</p> <p>↔ <b>Module L4.</b></p>
<p>Décrire les étapes d'un clonage.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Digestion.</li> <li>■ Ligation.</li> <li>■ Cellule compétente.</li> <li>■ Transformation.</li> <li>■ Sélection.</li> </ul>	<p>Analyse d'un mode opératoire de clonage.</p> <p> Schématisation des différentes étapes d'un clonage.</p> <p> Exploitation de ressources documentaires pour montrer l'intérêt du clonage dans un contexte de recherche ou de production en « cellule-usine » (médicament, protéine d'intérêt industriel ...).</p>
<b>T9.5 Enjeux des technologies de l'ADN pour la société</b>		
<p>S'interroger sur la dimension éthique d'une innovation technologique ou sociétale en lien avec la biologie moléculaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bioéthique.</li> <li>■ Données génétiques personnelles.</li> </ul>	<p> Réflexions éthiques, débat sur au moins une innovation technologique en biologie moléculaires parmi :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– modification du génome (CRISPR : <i>Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats</i>) ;</li> <li>– médecine prédictive ;</li> <li>– séquençage prédictif ou ludique ;</li> <li>– organisme génétiquement modifié (OGM), génomique et propriété intellectuelle.</li> </ul> <p> Étude documentaire des innovations et controverses historiques.</p> <p>↔ <b>Philosophie, EMC.</b></p>

Repérer l'intérêt et les limites de la vulgarisation scientifique à partir d'un exemple donné.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vulgarisation scientifique.</li> </ul>	Lecture critique d'un article de vulgarisation scientifique.   Analyse de la médiatisation de l'information scientifique en comparant différents supports.  ↔EMI, EMC.
--	---	--

## ■ T10 – Découvrir les technologies cellulaires végétales

Les biotechnologies contribuent à l'amélioration des plantes cultivées pour les besoins humains. Elles mettent en œuvre des technologies cellulaires végétales auxquelles les élèves sont sensibilisés par la réalisation d'expériences simples et par des observations au microscope de cellules spécialisées et dédifférenciées.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b>  Biochimie-biologie, classe de première : module transversal B4.  Biotechnologies, classe première : modules 1 et 2.</p>		
<p><b>T10.1 Manipulation d'explants végétaux</b></p>		
<p>Expliquer le rôle des conditions de culture et les composants du milieu lors des cultures <i>in vitro</i> des végétaux.</p> <p>Repérer les caractéristiques permettant de distinguer une cellule spécialisée d'une dédifférenciée.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Totipotence.</li> <li>Hormone de croissance.</li> <li>Micropropagation.</li> <li>Dédifférenciation.</li> </ul>	<p> Observation, au cours du développement d'un organisme végétal, de changements dans la structure et la physiologie des cellules : taille, forme, polarité, activité métabolique.</p> <p> Comparaison de manipulations de bouturage et de micropropagation.</p> <p> Expérience de callogenèse sur la carotte pour observer le retour des cellules de racine à un état dédifférencié.</p>

## T10.2 Applications des biotechnologies végétales

Distinguer les techniques de modification génétique des plantes, les techniques d'hybridation et les techniques de sélection artificielle.

Repérer le principe général de la transgénèse végétale dans des documents présentant des techniques de modification d'une plante.

S'interroger sur les enjeux éthiques et socio-économiques des biotechnologies végétales.

- Transgénèse.
- Expression ectopique.
- Organisme génétiquement modifié (OGM).

 Étude d'exemples d'application dans des domaines variés : agronomie, pharmaceutique, fleuristerie ...

Analyse de documents simplifiés présentant des techniques classiques de transgénèse végétale : transfection de protoplastes, transfection par *Agrobacterium tumefaciens*.

 Cartographie des controverses à partir d'un dossier de presse équilibré sur l'acceptabilité des plantes génétiquement modifiées.

⇔ **EMC, module L1.1.**

# Travailler ensemble au Laboratoire de biotechnologies

Les modules L approfondissent les modules transversaux de la classe de première et explicitent des savoir-faire et des concepts essentiels à la construction des compétences de la pratique au laboratoire. Ces dernières sont mobilisées de manière itérative dans les activités des différents modules scientifiques et technologiques visant à assurer des acquis solides et pérennes.

À partir de l'enseignement des méthodes et concepts qui sous-tendent les activités au laboratoire, les modules L visent l'appropriation de différentes démarches (recherche, projet, métrologie, prévention des risques) et l'utilisation raisonnée des outils numériques. Ils contribuent à la construction progressive d'une autonomie de l'élève au laboratoire en développant ses capacités d'analyse critique.

### ■ L1 – Pratiquer une démarche de projet pour répondre à un enjeu des biotechnologies

Dans le prolongement de l'initiation mise en œuvre en classe de première, le professeur encadre les élèves dans la réalisation de leur projet technologique accompagné tout en développant leur formation à cette démarche et en la formalisant afin de favoriser sa transposition dans d'autres contextes. Pour atteindre cet objectif, il convient donc de mettre en œuvre des démarches de projet avec l'ensemble de la classe dans des activités variées

Parce qu'elle engage activement l'élève, la démarche de projet adossée à une méthode de recherche est privilégiée. Cette démarche n'est pas réservée au domaine de la recherche : l'innovation et les transferts technologiques existent aussi dans les domaines de la production et de l'analyse par exemple. Ainsi, à partir d'une procédure existante, introduire une innovation même minime qui témoigne de la réflexion de l'élève, et dont on évalue l'apport par la mise en œuvre expérimentale, répond aux objectifs de formation dans la mesure où l'élève ne reproduit pas simplement une procédure mais y intègre un élément nouveau et peut justifier sa démarche. L'évaluation apprécie la démarche du projet et non la conformité d'un résultat attendu lors de la mise en œuvre expérimentale puisque ce résultat n'est ni défini, ni attendu au départ.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b> Biotechnologies, classe de première : modules A et D.</p>		
<p><b>L1.1 Enjeux des activités en biotechnologies</b></p>		
<p>Expliquer le lien entre l'objectif des activités et le questionnement technologique dans le contexte d'un exemple donné.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Formulation d'un questionnement.</li> <li>■ Confirmation / infirmation d'une hypothèse de travail.</li> <li>■ Objectif opérationnel.</li> </ul>	<p>Ancrage des questionnements dans l'actualité des biotechnologies.</p> <p>↔ <b>Thématiques pour l'enseignement.</b></p> <p> Répartition des objectifs opérationnels entre plusieurs groupes d'élèves afin de répondre collectivement à l'enjeu apporté par le contexte technologique d'une activité technologique (ex : optimisation d'une production en modifiant un paramètre, comparaison de deux techniques).</p>
<p>Identifier dans une activité, selon l'objectif recherché, le type de méthode expérimentale utilisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– de recherche ;</li> <li>– d'analyse ;</li> <li>– de contrôle ;</li> <li>– de production.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Paramètres d'influence.</li> <li>■ Optimisation.</li> <li>■ Standardisation.</li> <li>■ Norme / critère.</li> <li>■ Conformité.</li> <li>■ Validation d'une procédure opératoire.</li> <li>■ Modèle expérimental.</li> </ul>	<p>Proposition d'activités variées illustrant chacune des méthodes expérimentales.</p> <p>Mise en relation de chaque type de méthode expérimentale avec les formations post-bac de biologie appliquée et avec les métiers des biotechnologies.</p> <p>Repérage des concepts scientifiques associés à chaque méthode expérimentale.</p> <p>Formalisation des étapes de la méthode de recherche expérimentale.</p>
<p><b>L1.2 Conduite d'un projet de recherche au laboratoire de biotechnologies</b></p>		
<p><b>L1.2.1 Conception du projet</b></p>		
<p><b>Identification des phases</b> Identifier les phases d'une démarche de projet.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Diagnostic.</li> <li>■ Conception.</li> <li>■ Réalisation.</li> <li>■ Suivi.</li> <li>■ Évaluation.</li> <li>■ Perspectives et valorisation.</li> </ul>	<p> Étude de cas pour faire émerger les phases d'un projet déjà déroulé.</p> <p> Présentation des rôles de chaque phase du projet et des outils méthodologiques associés.</p> <p> Au cours de certaines activités technologiques, mise en exergue d'une étape</p>

		particulière de la démarche de projet.
<p><b>Diagnostic</b> Faire émerger des besoins en menant des études documentaires ou en effectuant une enquête sur le terrain.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hiérarchisation.</li> <li>■ Besoins</li> <li>■ Intérêts.</li> <li>■ Ressources fiables.</li> <li>■ Problématique / hypothèse de travail.</li> </ul>	<p> Accompagnement à la recherche documentaire : identification de sources fiables, recoupement, recueil des données bibliographiques.</p> <p> Travaux de synthèse, de tri et de classement pour faire émerger les questionnements. Réalisation d'une bibliographie et d'une sitographie.</p>
<p><b>Objectifs</b> Faire des choix argumentés pour passer de la problématique à la formulation d'objectifs opérationnels.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Objectif général / objectif opérationnel.</li> <li>■ Priorisation des objectifs.</li> <li>■ Contrainte.</li> <li>■ Faisabilité.</li> </ul>	<p> Choix d'un objectif général à partir d'une problématique.</p> <p> Choix des objectifs opérationnels à partir de l'objectif général.</p>
<p><b>Élaboration d'expériences</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Formuler une hypothèse de travail à partir d'un objectif opérationnel.</li> <li>— Concevoir une expérience permettant de tester l'hypothèse de travail.</li> <li>— Choisir des techniques permettant de réaliser les expériences.</li> <li>— Adapter une procédure opératoire au contexte.</li> <li>— Proposer une méthode de validation de la procédure opératoire.</li> <li>— Mobiliser les concepts associés à la méthode de recherche expérimentale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cahier des charges.</li> <li>■ Hypothèse de travail.</li> <li>■ Modèle expérimental.</li> <li>■ Expérience / technique / procédure opératoire.</li> <li>■ Témoin.</li> <li>■ Étalon de contrôle.</li> </ul>	<p>Réflexion accompagnée pour formuler une hypothèse de travail.</p> <p> Étude de faisabilité d'une expérience dans le contexte du lycée.</p> <p> Entraînement à la conception d'une expérience à partir d'un objectif opérationnel, puis au choix d'une technique et du matériel adaptés.</p> <p>↔ <b>Module L3.</b></p>

L1.2.2 Réalisation		
Rédiger un document de travail approprié.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Procédure / mode opératoire.</li> <li>■ Matière d'œuvre.</li> </ul>	Construction d'une matière d'œuvre à partir d'une procédure opératoire donnée et d'un modèle.
Proposer une analyse <i>a priori</i> des risques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Données de sécurité.</li> </ul>	 Utilisation de sites dédiés aux données de sécurité.   Mise en œuvre d'une démarche d'analyse <i>a priori</i> des risques et confrontation des points de vue.  ⇔ <b>Module L2.</b>
Repérer des points critiques liés au principe de mesure d'une technique, pour choisir les instruments adaptés.  Identifier des points critiques liés à l'usage des instruments pour limiter les erreurs évitables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Points critiques.</li> <li>■ Erreurs évitables.</li> </ul>	 Exploitation des erreurs évitables observées en activité technologique pour identifier les points critiques liés au choix et usage des instruments et proposer des remédiations.   Constitution d'une bibliothèque des erreurs commises lors des activités technologiques.  ⇔ <b>Module L3.</b>
Mettre en œuvre les procédures opératoires en envisageant les ajustements nécessaires.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ajustement.</li> <li>■ Respect des consignes.</li> </ul>	 Réalisation de tests préliminaires.   Prise en compte des contraintes et des erreurs pour réorienter, le cas échéant, le projet.
L1.2.3 Suivi du projet		
Constituer une équipe.  Interagir au sein du groupe pour favoriser l'atteinte d'objectifs communs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Répartition des tâches.</li> <li>■ Coopération / collaboration.</li> <li>■ Respect des contraintes du groupe.</li> </ul>	 Expérimentation de responsabilités différentes au sein d'un groupe.   Choix de modalités de travail sous forme de collaboration ou de coopération pour les différentes tâches du projet.
Organiser le travail de groupe et l'ajuster en utilisant un plan d'action ou un tableau de bord.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anticipations.</li> <li>■ Réajustement.</li> <li>■ Planification.</li> <li>■ Traçabilité des travaux.</li> </ul>	 Élaboration d'un calendrier alternant les phases de travail individuel et les phases de mise en commun.  Mise à jour régulière du plan d'action.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Stockage et sauvegarde de fichiers.</li> <li>■ Organigramme.</li> </ul>	<p> Présentation et utilisation en classe des outils permettant de retracer l'avancée du projet.</p> <p> Élaboration d'un organigramme sur une technique isolée, sur une expérience ou sur un ensemble d'activités.</p> <p>↔ <b>Module L4.2.</b></p>
Communiquer dans le groupe et avec les acteurs du projet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Communication interne.</li> </ul>	<p> Présentation et utilisation en classe des outils numériques à disposition (ENT) pour collaborer, coopérer et communiquer.</p> <p> Construction d'une liste de ressources utiles à la mise en œuvre du projet : activités technologiques, procédures opératoires, fiches techniques, outils de gestion du projet.</p>
<b>L1.2.4 Évaluation des résultats expérimentaux</b>		
Valider la ou les méthodes et analyser les résultats expérimentaux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Étalon de contrôle.</li> <li>■ Témoin.</li> <li>■ Répétabilité / reproductibilité.</li> <li>■ Acceptable / exploitable.</li> <li>■ Acceptabilité / conformité.</li> </ul>	<p> Confrontation des résultats attendus et des résultats obtenus pour les étalons de contrôle, afin de valider ou d'invalider la procédure opératoire, en amont de l'exploitation des résultats d'essai.</p> <p> Exploitation des résultats obtenus pour les témoins afin d'analyser les résultats expérimentaux.</p> <p>↔ <b>Module L3.</b></p>
Exploiter et interpréter les résultats expérimentaux.  Faire un retour sur l'objectif opérationnel puis sur la problématique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Confirmation / infirmation d'une hypothèse de départ.</li> <li>■ Objectivité / subjectivité.</li> <li>■ Biais cognitif.</li> </ul>	<p>Analyse de résultats présentés sous différentes formes et démonstration de l'incidence de la présentation sur les conclusions établies.</p> <p>Illustration, par des exemples, de l'analyse d'un même résultat qui peut varier selon l'objectif fixé au départ et selon le contexte.</p> <p>Illustration, par des exemples, que l'absence de preuve n'est pas une preuve de l'absence.</p>

L1.2.5 Valorisation du projet		
Présenter le projet à un public étranger au projet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Communications interne / communication externe.</li> <li>■ Intégrité.</li> <li>■ Rigueur scientifique.</li> </ul>	 Accompagnement aux techniques de communication et de présentation.  Restitutions à la classe. Identification des destinataires de la communication, du message à valoriser, et des moyens à utiliser.
L1.2.6 Évaluation du processus		
Analyser la démarche de projet en distinguant les facteurs de réussite et les causes des difficultés rencontrées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Analyse réflexive.</li> <li>■ Erreur / opportunité.</li> <li>■ Revue de projet.</li> </ul>	 Présentation orale d'un bilan sur le fonctionnement du groupe et sur la pertinence des activités engagées en intégrant une vision positive des erreurs.  Auto-évaluation de chaque groupe permettant un positionnement sur un ensemble d'indicateurs à mi-parcours.

## ■ L2 – Pratiquer une démarche de prévention des risques au laboratoire de biotechnologies

Prenant appui sur la démarche d'analyse des risques présentée en classe de première, l'élève propose des mesures de prévention pour le manipulateur et pour l'environnement, les met en œuvre et justifie les choix qu'il a effectués. La pratique systématique de la démarche de prévention tout au long de la formation lui permet de réagir de façon appropriée aux situations de travail qu'il rencontre au laboratoire.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<b>Notions déjà abordées :</b> Biotechnologies, classe de première : module B.		

<b>L2.1 Dangers</b>		
<p>Identifier en autonomie le danger et ses voies d'exposition associées.</p> <p>Comprendre les données de sécurité associées à un produit chimique dangereux.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Danger*.</li> <li>■ Voies d'exposition*.</li> <li>■ Mentions de danger*.</li> <li>■ Pictogrammes*.</li> <li>■ Classe de risques infectieux.</li> </ul>	<p>Identification des dangers biologiques et chimiques et de leurs voies d'exposition au sein de la situation de travail.</p> <p>Recherche, avec un logiciel dédié, de la classe des agents biologiques pathogènes manipulés ou potentiellement présents dans un échantillon ainsi que de leurs voies d'exposition.</p> <p>Recherche des liens entre les mentions de dangers associées à un danger chimique et ses voies d'exposition afin d'analyser le risque.</p>
<b>L2.2 Démarche d'analyse des risques et proposition de mesures de prévention pour le manipulateur en laboratoire</b>		
<p>Identifier l'ensemble des situations exposant au danger au sein d'une situation de travail.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Situation de travail.</li> <li>■ Situation exposante*.</li> </ul>	 Repérage des situations exposantes sur l'organigramme d'une manipulation.
<p>Évaluer les risques lors d'une situation exposante en identifiant les événements dangereux les plus probables et en considérant le niveau du danger.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Risques*.</li> <li>■ Dommages*.</li> <li>■ Événements dangereux*.</li> </ul>	<p>Comparaison du niveau de danger entre un produit irritant et un produit corrosif.</p>  Prévision des événements dangereux les plus probables en observant le matériel et les produits chimiques préalablement installés.
<p>Proposer des mesures de prévention pour limiter l'apparition de l'événement dangereux et pour assurer la protection collective puis individuelle.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gestuelle préventive.</li> <li>■ Mesures organisationnelles de prévention.</li> <li>■ Équipements de Protection Collective (EPC)*.</li> <li>■ Équipements de Protection Individuelle (EPI)*.</li> <li>■ Déchets d'Activité de Soins à Risque Infectieux (DASRI)* et assimilés.</li> </ul>	 Mesures de prévention adaptées aux 5 M (contraintes du laboratoire, matériel et réactifs installés, conditionnement des dangers, procédure opératoire, aptitudes du manipulateur, voies d'exposition du danger et niveau du danger). <p>Proposition de mesures de protection collective et individuelle.</p>

L2.3 Démarche d'analyse des risques et proposition de mesures de prévention pour l'environnement		
Repérer les dangers chimiques et biologiques présentant un risque pour l'environnement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pictogramme environnement.</li> <li>■ Mentions de danger environnement.</li> </ul>	Recherche, dans une documentation technique, des informations concernant le mode d'élimination d'un réactif.
Choisir les types de conteneurs d'élimination des déchets en fonction de la nature du danger.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Déchets Assimilables aux Ordures Ménagères (DAOM).</li> <li>■ DASRI * (déchets d'activités de soins à risques infectieux).</li> <li>■ Déchets chimiques.</li> </ul>	Utilisation de conteneurs adaptés aux déchets biologiques coupants-tranchants ou non, aux déchets chimiques ou aux produits non dangereux (DAOM : Déchets Assimilables aux Ordures Ménagères).
L2.4 Mise en œuvre des mesures de prévention dans une situation de travail déterminée		
Adopter des mesures de prévention en cohérence avec l'analyse <i>a priori</i> des risques.  Réagir de façon appropriée en cas d'incident / accident.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gestuelle préventive.</li> <li>■ Mesures organisationnelles de prévention.</li> <li>■ EPC*.</li> <li>■ EPI*.</li> </ul>	 Démarches d'auto-évaluation ou d'évaluation entre élèves, dans le cadre de la mise en œuvre des mesures de prévention.  Mise en œuvre explicite et analyse d'une simulation d'incident.  Analyse <i>a posteriori</i> d'un incident.

## ■ L3 – Obtenir des résultats de mesure fiables

Fondées sur l'exploitation de mesures, les activités expérimentales exigent des moyens et des instruments de prise d'information fiables et performants, respectueux de la démarche qualité. L'appropriation progressive des outils d'analyse de la fidélité et de la justesse d'une technique ou d'un appareil, de l'acceptabilité d'une valeur mesurée, de la compatibilité de deux valeurs mesurées, s'effectue dans le cadre d'activités technologiques qui y sont dédiées ou, le plus souvent, en lien avec les activités expérimentales d'un module T. En donnant du sens aux valeurs numériques, la métrologie développe le regard critique et la capacité de discernement du futur citoyen.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<b>Notions déjà abordées :</b> Biotechnologies, classe de première : module C.		

<b>L3.1 Établissement du modèle de mesure de la procédure opératoire</b>		
Établir, à partir du principe de mesure, le modèle de mesure et isoler la grandeur de sortie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Principe de mesure.</li> <li>■ Modèle de mesure*.</li> <li>■ Grandeur d'entrée*.</li> <li>■ Grandeur de sortie*.</li> </ul>	 Détermination d'une équation mathématique liée au principe d'un dosage.
<b>L3.2 Analyse de la fidélité et de la justesse d'une procédure de mesure ou d'un appareil</b>		
Repérer les points critiques d'une procédure opératoire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erreur évitable*.</li> <li>■ Caractéristiques des instruments.</li> </ul>	 Identification des points critiques liés au principe de mesure pour choisir les instruments adaptés.   Identification des points critiques liés à l'usage des instruments pour éliminer les erreurs évitables.
Comprendre que l'analyse de la justesse et de la fidélité repose sur une étude statistique d'un ensemble de valeurs mesurées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Série de valeurs mesurées.</li> </ul>	 Réalisation de prélèvements répétés à l'aide d'une même pipette afin d'établir une étude statistique des volumes délivrés.
<p>Associer erreur aléatoire et fidélité de la procédure opératoire.</p> <p>Associer erreur systématique et justesse de la procédure opératoire.</p> <p>Quantifier le défaut de justesse et de fidélité d'une série de valeurs mesurées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dispersion.</li> <li>■ Erreur aléatoire*.</li> <li>■ Erreur systématique*.</li> <li>■ Fidélité.</li> <li>■ Justesse.</li> <li>■ Biais.</li> <li>■ Écart-type.</li> </ul>	 Exploitation statistique de valeurs mesurées pour quantifier les défauts de justesse et de fidélité. Déduction de la qualité de la justesse et de la fidélité de la méthode de mesure.
Distinguer les conditions de travail en répétabilité et en reproductibilité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Répétabilité / reproductibilité.</li> <li>■ Inter / intra</li> </ul>	 Mise en œuvre d'activités « inter-laboratoires » (manipulateur et matériel différent) et « intra-laboratoire », et comparaison des ensembles de valeurs mesurées obtenues.
<b>L3.3 Analyse de l'acceptabilité d'une valeur mesurée</b>		
Vérifier l'acceptabilité des valeurs mesurées pour les échantillons à l'aide d'un étalon de contrôle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Exactitude* de la procédure dans les conditions du jour.</li> <li>■ Erreur de mesure.</li> <li>■ Étalon de contrôle*.</li> <li>■ Valeur mesurée (YEC)*.</li> </ul>	<p>Application de la démarche d'analyse de l'acceptabilité à des dosages biochimiques en proposant des étalons de contrôle.</p> <p>Utilisation fréquente de l'aide-mémoire de métrologie lors des activités technologiques.</p> <p>En cas de non acceptabilité des valeurs mesurées, retour sur les points critiques et</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Valeur de référence (Y REF)*.</li> <li>■ Erreur maximale tolérée (EMT)*.</li> <li>■ Intervalle d'acceptabilité*.</li> </ul>	recherche des erreurs évitables éventuellement commises.
<b>L3.4 Analyse de la compatibilité de deux valeurs mesurées</b>		
Valider la compatibilité de deux valeurs mesurées en cas de mesurages répétés sur un échantillon.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Logigramme de compatibilité.</li> <li>■ Écart-type de répétabilité.</li> <li>■ Valeur retenue.</li> </ul>	En cas de non compatibilité des valeurs mesurées, retour sur les points critiques et recherche des erreurs évitables éventuellement commises.
<b>L3.5 Repérer et limiter les sources d'incertitude associées à une valeur mesurée</b>		
Repérer des sources d'incertitude associées à un appareillage ou une procédure opératoire simple, en établissant le diagramme cause-effet.  Mettre en relation l'incertitude avec les erreurs aléatoires et systématiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Diagramme de cause-effet.</li> <li>■ 5 M (mesurande, méthode, milieu, main d'œuvre, matériel).</li> <li>■ Grandeur de sortie*.</li> <li>■ Grandeurs d'entrée*.</li> <li>■ Erreur aléatoire*.</li> <li>■ Erreur systématique*.</li> <li>■ Incertitude.</li> </ul>	 Inventaire des sources d'incertitude dans une procédure opératoire simple, par exemple dans une dilution, avec le diagramme de cause-effet.  Optimisation de la procédure opératoire à l'aide du diagramme de cause-effet, pour limiter les sources d'incertitude.  ↔ <b>Physique-chimie et mathématiques (1<sup>e</sup>).</b>
<b>L3.6 Exprimer et critiquer le résultat de mesure</b>		
Exprimer le résultat de mesure.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Incertitude.</li> <li>■ Chiffre significatif*.</li> <li>■ Règle d'arrondissement.</li> </ul>	Expression du résultat de mesure à l'aide de l'incertitude fournie.
S'interroger sur la cohérence d'un résultat de mesure dans un contexte donné.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Valeur de référence.</li> <li>■ Critère.</li> <li>■ Ordre de grandeur.</li> </ul>	Mettre en lien le résultat de mesure avec le contexte de l'activité.   Analyser un même résultat obtenu dans des contextes différents.

## ■ L4 – Mobiliser les outils numériques en biotechnologies

Dans la continuité des compétences développées en classe de première, ce module initie les élèves à l'exploitation des ressources et des outils de bio-informatique en ligne qui permettent l'analyse de séquences protéiques et nucléiques, la visualisation de biomolécules et une programmation simple. La recherche documentaire numérique (publications et données) est exploitée, en lien avec d'autres modules. L'outil informatique est également utilisé pour permettre l'analyse des résultats expérimentaux.

Pour l'élève, objectifs en fin de formation		Pour le professeur, au cours de la formation
Savoir-faire	Concepts	Activités technologiques
<p><b>Notions déjà abordées :</b></p> <p>Biochimie-biologie, classe de première : modules A et D.</p> <p>Biotechnologies, classe de première : modules A et D.</p> <p>Mathématiques, classe de seconde : algorithme et programmation.</p>		
<p><b>L4.1 Bioinformatique</b></p>		
<p>Suivre une procédure d'interrogation d'une base de données pour identifier une séquence nucléique ou protéique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Base de données*.</li> <li>■ Séquence protéique*.</li> <li>■ Séquence nucléotidique*.</li> </ul>	<p> Détermination de la taille et l'origine d'une séquence protéique ou nucléotidique.</p> <p> Comparaison de bases de données dédiées aux séquences nucléiques ou protéiques.</p> <p>↔ <b>Module S3.</b></p> <p>↔ <b>Module T9.4.</b></p>
<p>Suivre la procédure d'interrogation d'une base de données pour visualiser une biomolécule.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Structures secondaire tertiaire et quaternaire.</li> <li>■ Relation structure – fonction*.</li> </ul>	<p> Repérage des hélices alpha et feuillets bêta d'une protéine à l'aide d'un logiciel de modélisation.</p> <p> Visualisation de la structure quaternaire des anticorps.</p> <p>↔ <b>Module S2.</b></p>
<p>Rechercher un motif dans une séquence à l'aide d'un outil numérique adapté.</p> <p>Utiliser un logiciel pour obtenir une séquence répondant aux critères expérimentaux.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Site de restriction.</li> <li>■ Amorces.</li> <li>■ Complémentarité des bases*.</li> <li>■ Taille de l'amorce.</li> <li>■ Tm.</li> <li>■ Température</li> </ul>	<p> Repérage de sites d'enzymes de restriction sur un gène ou un plasmide.</p> <p> Analyse de séquences nucléotidiques et positionnement d'amorces de PCR.</p> <p> Vérification de la pertinence d'un couple</p>

	d'hybridation.	d'amorces pour réaliser une PCR à l'aide d'un logiciel de PCR virtuelle.  ↔ <b>Module S3.</b>
Modéliser un phénomène des biotechnologies en concevant un programme simple.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Modélisation.</li> <li>■ Programmation.</li> <li>■ Langage informatique.</li> <li>■ Algorithme.</li> </ul>	 Écriture ou conception d'un programme avec un langage de programmation (Python ou autre) afin de déterminer le nombre d'amplicons lors d'une PCR, le nombre de micro-organismes au cours d'une croissance, à l'aide de la fonction exponentielle.   Écriture ou conception d'un programme avec un langage de programmation (Python ou autre) afin de visualiser le fonctionnement d'un thermocycleur ou la transformation d'un substrat en produit.  ↔ <b>Mathématiques.</b>
Traiter et exploiter des données expérimentales à l'aide du numérique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Logiciel de traitement de données*.</li> <li>■ Résultats expérimentaux bruts.</li> </ul>	  Construction et analyse de courbes de suivi de croissance de micro-organismes et de suivi d'un paramètre, selon les échelles d'ordonnées choisies.  ↔ <b>Mathématiques.</b>   Quantification d'une masse de protéines contenue dans une bande sur gel d'électrophorèse.  ↔ <b>Module T6.</b>
<b>L4.2 Éthique et numérique</b>		
Discuter la fiabilité des ressources numériques utilisées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sens critique.</li> <li>■ Réseaux sociaux.</li> <li>■ Communication scientifique.</li> <li>■ Croisement d'informations.</li> <li>■ Fiabilité d'une source.</li> </ul>	 Comparaison d'informations provenant de sources variées pour identifier par exemple des « infox ».
Communiquer des informations en respectant la propriété intellectuelle de l'auteur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Plagiat.</li> <li>■ Sitographie.</li> <li>■ Bibliographie.</li> <li>■ Source d'information.</li> </ul>	 Construction et organisation d'une bibliographie.

Choisir une représentation de données en fonction de l'effet recherché.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Corrélation / causalité.</li> </ul>	 Consultation ou construction de graphiques, d'articles mettant en évidence des corrélations sans causalités et des causalités démontrées.  ↔ <b>Philosophie, EMC.</b>
Respecter, lors du choix d'outils numériques, la confidentialité des données personnelles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Données personnelles.</li> <li>■ Données massives (Big data).</li> </ul>	 Utilisation de sites académiques, environnement numérique de travail (ENT) du lycée, choix des outils collaboratifs pour le projet.  ↔ <b>EMC.</b>

## Thématiques pour l'enseignement

L'enseignement de biotechnologies est contextualisé pour donner du sens aux situations d'apprentissage. Pour cela, il s'appuie sur des thématiques relevant de différents domaines d'application représentatifs des secteurs professionnels qui utilisent des biotechnologies : la santé, les bio-industries, l'environnement, l'art et la culture. Dans tous ces domaines, les thématiques peuvent concerner des activités de recherche, de production ou d'analyse.

Cette liste contient des thématiques liées aux champs scientifiques et technologiques abordés en classe terminale. Ni exhaustives, ni limitatives, ces thématiques sont adaptées au tissu professionnel local et aux formations du supérieur proposées par l'établissement ou par un établissement proche (université, école d'ingénieur ...), en particulier les sections de technicien supérieur du secteur des biotechnologies (analyses de biologie médicale, bio-analyse et contrôles, biotechnologies, métiers de l'eau, qualité dans les industries alimentaires et les bio-industries, diététique, imagerie médicale et radiologie thérapeutique).

Art et culture	
Conservation du patrimoine.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lutte contre les moisissures (papier, bois) et les lichens (pierre).</li> <li>■ Bio-reconstruction des bâtiments.</li> <li>■ Utilisation d'amylase pour décoller les anciens documents.</li> </ul>
Reconstitution historique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Recherche d'ADN dans des échantillons biologiques.</li> </ul>
Bio-Art.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Culture de micro-organismes et participation à des concours artistiques.</li> <li>■ Production de bio-cuir.</li> </ul>

<b>Santé</b>	
Exploration fonctionnelle et diagnostic médical.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Analyses de sang.</li> <li>■ Analyses microbiologiques et biochimiques des urines.</li> <li>■ Analyses microbiologiques de pus.</li> <li>■ Diagnostic d'une pathologie : histologie, dosages biochimiques et analyses microbiologiques, imagerie médicale.</li> </ul>
Prophylaxie et traitement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hygiène et sécurité dans le domaine hospitalier : prévention des maladies nosocomiales.</li> <li>■ Antibiothérapie, sérothérapie, phagothérapie.</li> <li>■ Traitements de pathologies.</li> </ul>

<b>Contrôle des environnements de travail</b>	
Hygiène des locaux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Qualité microbiologique des surfaces.</li> <li>■ Aérobiocontamination.</li> <li>■ Efficacité de la désinfection.</li> </ul>
Prophylaxie et traitement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hygiène et sécurité dans le domaine hospitalier : prévention des maladies nosocomiales.</li> </ul>

<b>Industrie agro-alimentaire</b>	
Produits laitiers.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Contrôles qualité d'un lait : analyses microbiologiques, immunologiques et biochimiques.</li> <li>■ Méthodes de conservation du lait.</li> <li>■ Fabrication du yaourt, de fromage, de lait sans lactose.</li> </ul>
Boissons fermentées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fabrication de bière, de cidre, d'hydromel, de vin, de kéfir ou de vinaigre.</li> <li>■ Croissance en bioréacteur.</li> <li>■ Traitement du produit fini : pasteurisation, filtration.</li> </ul>
Autres aliments.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Contrôles qualité biochimiques, microbiologiques et de la qualité</li> </ul>

	<p>nutritionnelle.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Recherche d'OGM, de mycotoxines.</li> </ul>
--	---

<b>Pharmaceutique et cosmétique</b>	
Médicaments.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mesure de l'action d'antibiotiques.</li> <li>■ Recherche de molécules actives.</li> <li>■ Contrôle qualité biochimique : excipient et principe actif.</li> <li>■ Comparaison entre médicament princeps et molécules génériques.</li> <li>■ Conception par génie génétique.</li> <li>■ Production de biomédicaments en bioréacteurs à l'aide de cellules-usines.</li> </ul>
Cosmétiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fabrication de produits cosmétiques.</li> <li>■ Évaluation de l'efficacité d'un conservateur (challenge-test).</li> <li>■ Analyse des paramètres physicochimiques.</li> <li>■ Cosmétiques.</li> </ul>
Probiotiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fabrication d'un probiotique.</li> </ul>

<b>Transition écologique et développement durable</b>	
Réduction des déchets.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Production d'un bioplastique.</li> <li>■ Test de la biodégradabilité de produits ménagers « faits maison » ou non.</li> </ul>
Énergie renouvelable.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Agro-carburants et algo-carburants.</li> <li>■ Bio-carburants.</li> </ul>
Économie d'énergie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mobiliers urbains sans électricité.</li> <li>■ Bioluminescence.</li> </ul>
Réduction de l'utilisation des pesticides et engrais.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bio-insecticides : toxine « Bt » de Bacillus thuringiensis.</li> <li>■ Fertilisant écologique.</li> <li>■ Permaculture et aquaponie.</li> <li>■ Caractérisation ou identification génétique de variétés cultivées</li> </ul>

	<p>(semences anciennes, sylviculture, ...).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Agriculture biologique et raisonnée.</li> </ul>
--	--

<b>Environnement</b>	
L'eau.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Qualité microbiologique et biochimique.</li> <li>■ Impact d'une pollution nitrate sur la biodiversité.</li> <li>■ Recherche de bactériophages.</li> </ul>
Le sol.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Recherche d'actinomycètes.</li> <li>■ Qualité d'un sol et impact sur l'agriculture.</li> <li>■ Lombricomposteur.</li> </ul>
Dépollution et climat.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Élaboration ou fonctionnement d'une station d'épuration.</li> <li>■ Biométhanisation.</li> <li>■ Puits à CO<sub>2</sub>, biofaçades.</li> <li>■ Adaptation de plantes cultivées au changement climatique.</li> </ul>