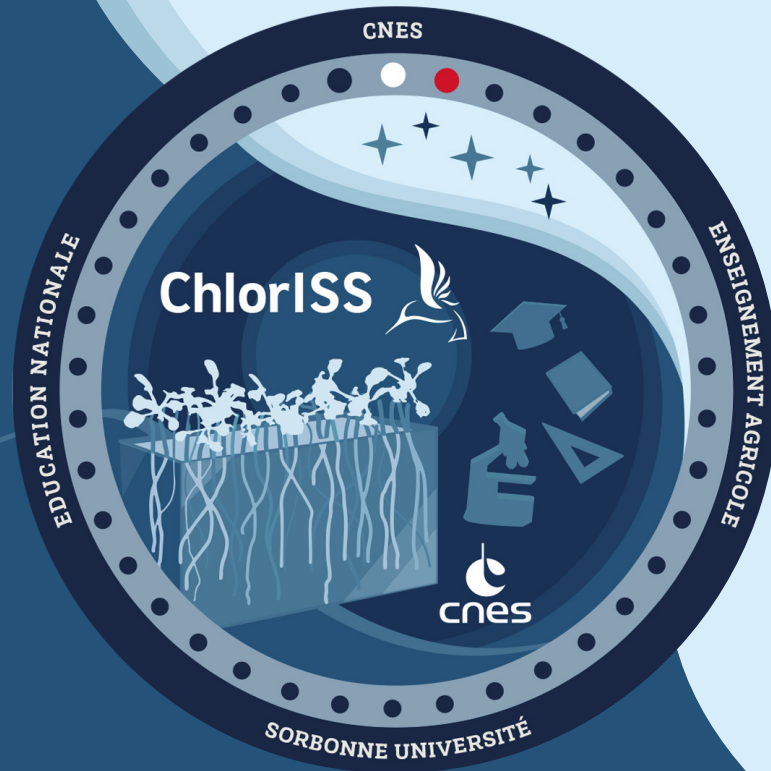




GOVERNEMENT

Liberté
Égalité
Fraternité



Expérience ChlorISS Prends-en de la graine !

Pistes de travail en classe,
en lien avec les programmes
d'enseignement

Second degré

Enseignement général, technologique et professionnel
Enseignement agricole



L'expérience ChlorISS est développée par le CNES, en partenariat avec Sorbonne Université, le ministère de l'Éducation nationale et le ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Souveraineté alimentaire.

Sommaire



Introduction



Pistes pédagogiques en lien avec les programmes du collège

- 6 Piste 1 : comprendre le rôle de la lumière dans la croissance des plantes – sciences et technologie (6^e)
- 6 Piste 2 : conception et réalisation de la boîte ChlorISS – technologie (4^e)
- 7 Piste 3 : suivi de la germination – technologie (3^e)
- 8 Piste 4 : concevoir et fabriquer un dispositif expérimental – technologie (cycle 4)
- 9 Piste 5 : comprendre l'organisation de l'Univers et la gravitation – physique-chimie (cycle 4)
- 10 Piste 6 : la coopération internationale et le rôle des différents acteurs impliqués – histoire-géographie (3^e)
- 11 Piste 7 : sciences de la vie et de la Terre (cycle 4)



Pistes pédagogiques en lien avec les programmes du lycée

- 12 Piste 1 : étudier l'effet d'une mutation sur la spécialisation cellulaire – SVT (classe de seconde)
- 13 Piste 2 : montrer le rôle de la lumière dans la croissance des plantes – enseignement scientifique (classe de première)
- 14 Piste 3 : forces gravitationnelles et lumière – physique-chimie (classe de seconde)
- 15 Piste 4 : étudier l'influence de la gravité et de la lumière sur la croissance des plantes – spécialité biologie/écologie (classe de première) et spécialité SVT (classe de Terminale)



- 16 Piste 5 : étudier l'influence des longueurs d'onde lumineuses sur le phototropisme des plantes – spécialité biologie/écologie (classe de première) et spécialité SVT (classe de Terminale)
- 16 Piste 6 : forces gravitationnelles – spécialité physique-chimie (classe de première)
- 17 Piste 7 : conception et réalisation d'un clinostat – enseignement de spécialité « Innovation Technologique » en STI2D (classe de première)
- 18 Piste 8 : le monde, l'Europe et la France depuis les années 1990, entre coopérations et conflits – histoire-géographie
- 19 Piste 9 : effets de variations de paramètres du milieu sur la croissance de la plante – bloc 1 du tronc commun du baccalauréat professionnel en classes de première et terminale
- 20 Piste 10 : création d'une serre connectée pour mesurer les paramètres de l'expérimentation – première et terminale Bac Pro
- 21 Piste 11 : comparaison de la germination et de la croissance de l'arabette entre WT et le PGM (variant en condition terrestre et/ou en microgravité) – bac STAV (sciences et technologies de l'agronomie et du vivant)
- 22 Piste 12 : capacités professionnelles en baccalauréat professionnel
- 24 Piste 13 : prolongement possible en BTSA (ou autres formations)



Introduction

À travers la mise en œuvre de l'expérience ChlorISS, les élèves sont amenés à développer des compétences liées aux démarches scientifiques : formuler des hypothèses, concevoir une stratégie, observer, comparer, analyser des résultats et en tirer des conclusions, etc. L'expérience ChlorISS est également l'occasion de mobiliser d'autres enseignements dans une démarche interdisciplinaire. L'expérience permet aussi de découvrir différents acteurs et actrices de la recherche scientifique, notamment les astronautes, les chercheuses et chercheurs, ainsi que les ingénieures et ingénieurs.

Les pistes pédagogiques proposées ont pour objectif d'accompagner les professeures et professeurs dans la mise en œuvre de l'expérience ChlorISS, en lien avec les objectifs d'apprentissage des programmes.



Pistes pédagogiques en lien avec les programmes du collège

Piste 1 : comprendre le rôle de la lumière dans la croissance des plantes – sciences et technologie (6^e)

Objectifs du programme

Thème « La Terre, une planète peuplée par des êtres vivants », partie « Écosystème : structure, fonctionnement et dynamique » : concevoir et mettre en œuvre des expériences pour relier la production de matière par les végétaux et leurs besoins (lumière, eau, sels minéraux, dioxyde de carbone).

Activités réalisables

Dans le cadre de l'expérience ChlorISS, la croissance des plantules est observée et mesurée dans différentes conditions de luminosité, puis comparée aux résultats obtenus à bord de la station spatiale internationale (ISS). Cela permet de comprendre l'importance de la lumière pour le développement des végétaux.

Dans ce cadre, les élèves suivent la croissance de plantules de Mizuna et d'Arabette des dames, placées dans des conditions lumineuses différentes (obscurité, lumière blanche, lumière rouge, lumière bleue). Le développement des plantules fait l'objet d'un suivi régulier à partir de prises de photographies, réalisées par les élèves.

Un suivi qualitatif peut être mené à l'aide d'une loupe binoculaire, ce qui constitue une occasion pour apprendre à l'utiliser. L'aspect général des plantules est observé. Leurs tailles et leurs courbures, selon les conditions de luminosité, peuvent être comparées. La croissance des plantules peut également faire l'objet d'une analyse quantitative à partir de mesures, telles que la longueur des tiges et/ou la taille des feuilles. En raison de la petite taille des plantules, ces mesures peuvent être réalisées à partir de photographies. Les élèves peuvent exploiter les données obtenues pour construire et interpréter des graphiques, ce qui permet de travailler les compétences liées à la représentation des résultats.

Piste 2 : conception et réalisation de la boîte ChlorISS – technologie (4^e)

Objectifs du programme

Repérer et expliquer les contraintes et exigences prises en compte pour répondre aux attentes des utilisateurs. Proposer et fabriquer une solution pour ajouter une nouvelle fonction à un OST.

Mettre en relation la forme d'une pièce avec le procédé de réalisation.

Comparer différents matériaux pour choisir le plus adapté.

Activités réalisables

Pour mener l'expérience ChlorISS, chaque classe a besoin de créer un dispositif, appelé boîte ChlorISS, pour placer les différentes boîtes de culture. Cela permet de construire avec les élèves la problématique suivante : « Comment concevoir et réaliser une boîte expérimentale qui répond aux besoins scientifiques, aux contraintes d'usage en classe et aux conditions de sécurité ? »

Les élèves sont placés en situation d'ingénierie au travers d'une démarche de projet : analyser un besoin réel, identifier des contraintes, concevoir un objet technique (la boîte ChlorISS) et le réaliser.

Lors d'un premier temps de lancement du projet, des échanges sont menés avec les élèves à partir d'une présentation vidéo de l'expérience, afin de construire la problématique : « Comment et pourquoi observe-t-on la croissance des plantes dans l'espace ? » Des documents sont proposés aux élèves afin qu'ils identifient les contraintes fonctionnelles et les contraintes de sécurité, de coût et d'ergonomie.

Lors d'un second temps, de recherche de solutions et modélisation, par groupes, les élèves recherchent différentes solutions pour répondre aux contraintes du projet. Ils réalisent des croquis annotés et déterminent la solution à retenir au regard du cahier des charges et du matériel fourni par le CNES (filtres, supports, etc.). Ils effectuent un choix des matériaux à utiliser (parmi une liste de matériaux donnés) et réalisent une modélisation 3D de la solution choisie.

Lors d'un troisième temps, de réalisation du prototype et validation de la solution, par groupes, les élèves assurent la réalisation et l'assemblage de la boîte ChlorISS. Ils valident ensuite la solution proposée au regard des contraintes du cahier des charges, notamment l'intégration des filtres. Afin de valoriser ce projet, des boîtes ChlorISS peuvent être mises à disposition des écoles voisines afin de faciliter la mise en œuvre de cette expérience.

Piste 3 : suivi de la germination – technologie (3^e)

Objectifs du programme

Établir une liste d'OST possibles en vue de répondre à un besoin.

Décrire un OST en caractérisant sa chaîne d'information.

Programmer un algorithme lié à une nouvelle fonctionnalité.

Modifier et tester le programme associé à une nouvelle fonctionnalité.

Proposer et fabriquer un ensemble de solutions pour produire un nouvel OST.

Interfacer deux objets techniques communicants.

Proposer un protocole de test pour valider le comportement et les performances d'un objet technique.

Activités réalisables

Dans le cadre de l'expérience ChlorISS, il est important de suivre la croissance des plants pour comprendre comment différents facteurs, tels que la lumière, l'eau et la pesanteur, influencent leur développement. La problématique peut être posée aux élèves : « Comment observer et suivre la croissance des plantes afin de comprendre l'influence de différents facteurs ? ».

Les élèves sont placés en situation d'ingénierie au travers d'une démarche de projet : analyser un besoin réel, identifier des contraintes, concevoir un objet technique (maquette ou prototype) et le réaliser, en lien avec l'expérience ChlorISS.

Lors d'un premier temps de lancement du projet, des échanges sont menés avec les élèves autour de la question « Pourquoi est-il nécessaire de suivre l'évolution de la germination ? » permettent de construire la problématique. À partir des documents fournis, les élèves identifient les différentes contraintes.

Lors d'un second temps, de recherche de solutions, expérimentations et modélisation, par groupes, les élèves recherchent plusieurs solutions pour assurer le suivi de la croissance : choix d'une caméra (webcam, ESP32-CAM, caméra Huskylens, etc.), comparaison des solutions, expérimentations pour valider le choix de la caméra, réalisation de croquis pour intégrer la caméra dans la boîte ChlorISS, élaboration d'une modélisation 3D de la solution choisie, réalisation du programme d'acquisition des images (programmation bloc avec Vittascience), stockage et partage de données (local/réseau), gestion des droits (écriture/lecture).

Lors d'un troisième temps, de réalisation du prototype, validation de la solution et partage des données, par groupes, les élèves assurent l'intégration matérielle et logicielle de la caméra dans la boîte ChlorISS. Ils effectuent ensuite les tests pour valider la solution proposée. Une fois la collecte des données réalisées, il est nécessaire de les partager sur un réseau local pour une exploitation collective, notamment en SVT, et une analyse scientifique. Pour aller plus loin, un traitement des images peut être réalisé en utilisant des outils d'IA.

Ces données peuvent également être mises à disposition des écoles et établissements voisins pour un suivi à distance de l'expérience ou une comparaison avec celle menée dans la classe.

Piste 4 : concevoir et fabriquer un dispositif expérimental – technologie (cycle 4)

Objectifs du programme

Thème : « Concevoir, créer, réaliser » : analyser un besoin et formaliser un cahier des charges, concevoir un objet technique répondant à une problématique identifiée. Utiliser des outils numériques de conception, mettre en œuvre un processus de fabrication numérique, assembler et tester un prototype.

Activités réalisables

Lors d'un premier temps de lancement du projet et d'analyse du besoin, à partir de la présentation de l'expérience ChlorISS et de la mission associée, les élèves sont amenés à réfléchir à la question suivante : « Comment concevoir un dispositif permettant d'étudier la croissance de plantes dans des conditions contrôlées ? »

Les élèves identifient les paramètres susceptibles d'influencer la croissance des plantes (lumière, température, humidité) et formulent des hypothèses.

Les élèves analysent ensuite les contraintes techniques du dispositif : capacité à accueillir plusieurs cultures (boîtes de Pétri), stabilité et protection des cultures, hygiène et limitation des contaminations, facilité d'utilisation. Cette phase permet de formuler un cahier des charges simplifié.

Lors d'un second temps, de conception du dispositif technique, par groupes, les élèves conçoivent la boîte ChlorISS permettant de réaliser l'expérience. Ils réalisent des croquis ou schémas fonctionnels du dispositif, une modélisation numérique à l'aide d'un logiciel de conception, l'organisation interne du dispositif permettant d'accueillir plusieurs boîtes de Pétri. Cette phase permet également de découvrir les principes de la fabrication numérique, notamment la préparation des fichiers destinés à la découpe laser.

Lors d'un troisième temps, de fabrication et d'assemblage du prototype, les pièces du dispositif sont fabriquées à l'aide d'une machine de découpe laser, à partir des fichiers de conception réalisés par les élèves. Les élèves réalisent ensuite : la découpe des différentes pièces, l'identification et le tri des éléments, l'assemblage de la structure (grille interne,

parois, fond), les ajustements et tests de stabilité du dispositif. La production attendue est une boîte ChlorISS fonctionnelle, pouvant être utilisée pour les expérimentations scientifiques.

Un quatrième temps, de tests et d'amélioration du dispositif peut ensuite être utilisé pour mener une expérience de germination. Les élèves peuvent alors : tester le dispositif dans différentes conditions expérimentales, analyser les résultats obtenus, identifier les limites du prototype et proposer des améliorations (ventilation, modularité, empilage, hydratation et accès aux cultures). Cette phase permet de développer une démarche d'ingénierie, dans laquelle la conception est progressivement améliorée à partir des résultats obtenus.

Ressources utilisables avec les élèves

- Fichiers nécessaires à la conception et à la fabrication du dispositif (plans, fichiers de découpe), téléchargeables à [ce lien](#).

Piste 5 : comprendre l'organisation de l'Univers et la gravitation – physique-chimie (cycle 4)

Objectifs du programme

Partie « Organisation et transformations de la matière » : décrire l'organisation de la matière dans l'Univers ; décrire la structure de l'Univers et du système solaire ; aborder les différentes unités de distance (du kilomètre à l'année-lumière) et savoir les convertir ; connaître des ordres de grandeur de distances astronomiques ; comprendre les notions de force de gravitation universelle et de force de pesanteur.

Activités réalisables

L'expérience ChlorISS, menée à bord de la Station spatiale internationale (ISS), constitue une situation concrète pour aborder l'organisation de l'Univers et la place de la Terre dans le système solaire. Les élèves sont amenés à situer la Terre, la Lune, le Soleil et l'ISS, et à comparer les distances qui les séparent en utilisant différentes unités (kilomètres, millions de kilomètres), puis à les mettre en perspective avec des distances plus grandes à l'échelle de l'Univers.

L'étude des paramètres orbitaux de l'ISS (altitude, trajectoire, etc.) permet également d'introduire la loi de la gravitation universelle. Les élèves comprennent que la gravitation existe même dans l'espace, et que c'est le fait que l'ISS se déplace en orbite et est en chute libre permanente autour de la Terre, qui crée l'état d'impesanteur.

Cette piste peut être enrichie par une ouverture vers la recherche spatiale et les travaux menés grâce aux satellites, aux sondes et aux stations orbitales. Des ressources interdisciplinaires, comme celles proposées par Lumni autour de la conquête spatiale, permettent de croiser les apports de la physique-chimie avec l'histoire-géographie, en montrant que l'exploration spatiale est à la fois un enjeu scientifique, technique, géopolitique et coopératif.

Ressources utilisables avec les élèves

- Podcast [Pourquoi on flotte dans l'espace ?](#). CNES
- Dossier [Découvrir les satellites, ballons et véhicules spatiaux](#). CNES
- Dossier [Observer la Terre : données spatiales et environnement](#). CNES
- Vidéo [La course à l'espace, des années 1950 à aujourd'hui](#). Lumni Enseignement
- Vidéo [L'espace, l'ultime frontière : les différents enjeux commerciaux](#). Lumni Enseignement

Piste 6 : la coopération internationale et le rôle des différents acteurs impliqués – histoire-géographie (3^e)

Objectifs du programme

Thème « Le monde depuis 1945 » : « Quelle est la nature des rivalités et des conflits dans le monde contemporain et sur quels territoires se développent-ils ? »

Activités réalisables

Depuis 1990, l'équilibre des puissances est bouleversé par l'effondrement du bloc socialiste et l'émergence d'un monde multipolaire, où la hiérarchie mondiale est de plus en plus contestée. La fragilité des modèles de coopération internationale, singulièrement dans le format onusien, est remise en évidence par la succession de crises internationales et la difficulté des puissances à s'entendre au XXI^e siècle. La Station spatiale internationale peut dès lors fournir un exemple concret de coopération entre grandes puissances (Europe, États-Unis, Russie), après les affrontements de la guerre froide.

La problématique suivante peut être posée avec les élèves : « Comment l'ISS montre-t-elle un exemple de coopération internationale entre acteurs internationaux, dans un monde traversé par des tensions ? »

Lors d'un premier temps, les élèves replacent la Station spatiale internationale dans le temps long des projets dans l'espace. La professeure ou le professeur conçoit un dossier documentaire, par exemple à partir des photos des projets spatiaux emblématiques de la guerre froide et des déclarations des dirigeants des deux superpuissances. Les élèves contextualisent les projets spatiaux de la Russie et des États-Unis depuis les années 1950, afin de comprendre que c'était un terrain d'affrontement particulier, notamment dans l'établissement d'une station en orbite (en prenant pour exemples la station américaine *Skylab* lancée en 1973 et la station soviétique *Mir* placée sur orbite en 1986), puis les élèves présentent le projet de l'ISS. Ces différents éléments peuvent être situés sur une frise chronologique.

Dans un second temps, les élèves s'interrogent : « L'ISS est-elle un modèle de coopération ? » En réinvestissant les documents issus d'expériences réalisées dans l'ISS, les élèves sont interrogés : « Comment la station est-elle le lieu d'une coopération concrète dans plusieurs domaines, malgré des tensions sur Terre ? »

Des éléments sur le coût et l'avenir du projet sont présentés aux élèves afin de les préparer à une approche critique. Cette étape peut être conduite par prélèvement d'informations sur document, ou menée par des recherches en groupes réduits.

Dans un troisième temps, les élèves s'interrogent : « Les États peuvent-ils coopérer malgré les tensions ? ».

Dans un débat (par écrit, numérique avec des sondages, etc.) ou mené en groupes, les élèves élaborent leur réflexion afin de répondre à la problématique initiale. L'ISS peut fournir le cas d'étude principal, mais être également confronté à d'autres exemples (*Conference of the Parties* sur le climat, notamment).

Afin d'en garder une trace et formaliser cette réflexion, les élèves sont placés en écoute active des interventions de leurs camarades et invités à prendre des notes.

Ressources utilisables avec les élèves :

- Dossier [Les missions habitées qui ont marqué l'histoire](#). CNES
- Dossier [La conquête spatiale, théâtre mondial de rivalités et de coopérations](#). Lumni Enseignement
- Vidéo [Claudie Haigneré se prépare à son second voyage spatial](#). Lumni Enseignement
- Vidéo [La course à l'espace, des années 1950 à aujourd'hui](#). Lumni Enseignement
- Vidéo [L'espace, l'ultime frontière : les différents enjeux commerciaux](#). Lumni Enseignement

Piste 7 : sciences de la vie et de la Terre (cycle 4)

Objectifs du programme

Thème « Le vivant et son évolution » : relier les besoins des cellules d'une plante chlorophyllienne (CO₂, eau, sels minéraux et énergie lumineuse), les lieux de production ou de prélèvement de matière et de stockage et les systèmes de transport au sein de la plante.

Activités réalisables

Dans le cadre d'une séquence sur la biodiversité, l'expérience ChlorISS peut être l'occasion d'étudier la nutrition des végétaux chlorophylliens à travers le mécanisme de la photosynthèse. L'étude comparée des WT et PGM d'*Arabidopsis* permet d'élargir l'enseignement à la diversité génétique des individus au sein d'une population. La professeure ou le professeur peut développer notamment les particularités génomiques des individus de la souche sauvage WT et du variant PGM (présentant une capacité très limitée de synthèse d'amidon), et explique le rôle de l'amidon sur le gravitropisme. En comparant des *Arabidopsis* sauvages WT et des variants PGM, les élèves mettent ainsi en relation des observations réalisées à différentes échelles, depuis l'organisation cellulaire jusqu'à la réponse gravitropique de l'organisme entier. Les élèves établissent des relations entre génotype, phénotype et influence de l'environnement, et montrent que les caractères observables résultent à la fois de l'information génétique et des conditions de vie.

L'ensemble de la démarche permet de relier la diversité génétique et la biodiversité à différentes échelles d'organisation. Les élèves comprennent que la photosynthèse assure la production de matière indispensable aux réseaux trophiques, tandis que les mutations et le brassage génétique constituent des mécanismes à l'origine de la diversité des individus et des espèces. Ainsi, la nutrition des organismes et la diversité génétique sont abordées de manière complémentaire pour expliquer la dynamique et la stabilité du monde vivant.

Pistes pédagogiques en lien avec les programmes du lycée

Au lycée, l'exploitation des résultats expérimentaux peut s'appuyer sur des traitements de données plus approfondis. Les élèves peuvent, par exemple, réaliser un traitement statistique simple (calcul de moyennes, écarts ou comparaison entre groupes de résultats) afin d'illustrer l'importance de la reproductibilité et de la fiabilité des observations dans la construction des connaissances scientifiques.

L'expérience constitue une occasion de mettre en avant le rôle des différents actrices et acteurs de la recherche et de l'exploration spatiale, tels que les astronautes, les chercheuses et chercheurs et les ingénieures et ingénieurs, ainsi que la dimension internationale des collaborations scientifiques.

Au lycée, le travail mené prend en compte la diversité des talents et des parcours des élèves. Selon leur spécialité ou leur filière, les élèves mobilisent et approfondissent des compétences différentes.

Piste 1 : étudier l'effet d'une mutation sur la spécialisation cellulaire – SVT (classe de seconde)

Objectifs du programme

Thème « La Terre, la vie et l'organisation du vivant », sous-thème « L'organisation fonctionnelle du vivant », partie « L'organisme pluricellulaire, un ensemble de cellules spécialisées » : chez les organismes pluricellulaires, les organes sont constitués de cellules spécialisées formant des tissus, et assurant des fonctions particulières. Toutes les cellules d'un organisme sont issues d'une cellule unique à l'origine de cet organisme. Elles possèdent toutes initialement la même information génétique organisée en gènes constitués d'ADN (acide désoxyribonucléique). Cependant, les cellules spécialisées n'expriment qu'une partie de l'ADN.

Activités réalisables

Cette piste pédagogique vise à exploiter les résultats de l'expérience ChlorISS pour étudier l'effet d'une mutation sur la spécialisation cellulaire, en particulier sur la formation des grains d'amidon dans les racines. Elle permet de remobiliser des notions de génétique et de différenciation cellulaire, en les reliant à une fonction biologique précise : la perception de la gravité par les plantes.

En comparant des *Arabidopsis* sauvages et des variants PGM, les élèves mettent en relation des observations réalisées à différentes échelles, depuis l'organisation cellulaire jusqu'à la réponse gravitropique de l'organisme entier.

Les élèves suivent un protocole expérimental portant sur l'étude du gravitropisme chez *Arabidopsis*. Ils observent au microscope des racines de plantules sauvages et de variants PGM, après coloration à l'eau iodée, afin de mettre en évidence la présence ou l'absence de grains d'amidon dans la coiffe racinaire.

En parallèle, un suivi du développement des plantules est réalisé à partir de photographies prises par les élèves, ou par la professeure ou le professeur. Ces images sont exploitées à l'aide d'outils numériques, tels que Mesurim2, afin de mesurer et comparer l'évolution de la courbure des racines.

Les données recueillies sont ensuite analysées afin de comparer les réponses gravitropiques des plants sauvages et des variants PGM. Les résultats sont interprétés en les reliant aux notions de mutation génétique, spécialisation cellulaire et fonction des amyloplastes dans la perception de la gravité.

L'ensemble des observations et des conclusions est ensuite présenté sous la forme d'un podcast scientifique, permettant aux élèves de restituer oralement leurs résultats tout en développant des compétences de communication, de rigueur scientifique et de créativité dans la mise en forme du discours.

Piste 2 : montrer le rôle de la lumière dans la croissance des plantes – enseignement scientifique (classe de première)

Objectifs du programme

Thème « Le Soleil, notre source d'énergie », partie « De la conversion biologique de l'énergie solaire par la photosynthèse à l'énergie nécessaire à tous les êtres vivants » : suivre une démarche scientifique expérimentale ; utiliser le matériel (capteurs et logiciels) ; exploiter des données expérimentales mises à disposition par des scientifiques ; proposer une analyse critique des résultats.

Projet expérimental et numérique : acquisition numérique de données ou utilisation de données expérimentales fournies par des scientifiques ; traitement mathématique, représentation et interprétation de ces données.

Activités réalisables

Cette piste pédagogique vise à exploiter les résultats de l'expérience ChlorISS pour montrer l'importance de la lumière dans la croissance et le développement des plantes. Elle permet de remobiliser les connaissances sur la photosynthèse, tel qu'elles sont abordées en enseignement scientifique en classe de première, tout en engageant les élèves dans un projet expérimental et numérique concret, fondé sur l'observation, la mesure et l'analyse de données.

La croissance des plantules est suivie et quantifiée dans différentes conditions de luminosité, puis comparée aux résultats obtenus à bord de l'ISS, afin de mieux comprendre le rôle de la lumière dans le développement végétal.

Les élèves étudient la croissance de plantules de Mizuna et d'*Arabidopsis* placées dans différentes conditions de luminosité : obscurité, lumière blanche, lumière bleue et lumière rouge.

Un suivi régulier du développement est assuré à partir de prises de photographies, réalisées par les élèves ou par la professeure ou le professeur. L'évolution de la croissance est quantifiée à partir de mesures, telles que la longueur des tiges et/ou la taille des feuilles. Ces mesures peuvent être réalisées à l'aide d'outils numériques, par exemple le logiciel en ligne Mesurim2, en choisissant de travailler soit sur la taille finale des plantules, soit sur l'évolution de leur croissance au cours de l'expérience. Les résultats sont ensuite analysés et mis en relation avec le rôle de la lumière dans la photosynthèse et le développement des plantes.

L'ensemble du travail est synthétisé sous la forme d'un poster scientifique, présenté à un jury, en vue de la préparation au grand oral. Cette restitution permet de développer des compétences en communication scientifique, de renforcer la rigueur dans la présentation des résultats et de rendre le discours accessible à un public non spécialiste. Plusieurs réalisations concrètes peuvent être envisagées dans le cadre du projet expérimental et numérique.

Piste 3 : forces gravitationnelles et lumière – physique-chimie (classe de seconde)

Objectifs du programme

Thème « Mouvement et interactions », partie « Modéliser une action sur un système » : caractériser une force (point d'application, direction, sens, intensité) ; identifier la force d'interaction gravitationnelle ; utiliser l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle.

Thème « Lumière et spectres » : distinguer lumière blanche et lumière colorée ; relier lumière colorée et longueur d'onde ; exploiter des spectres d'émission (spectres continus, spectres de raies).

Activités réalisables

Gravitation et micropesanteur, comprendre les forces en jeu : le contexte de l'expérience ChlorISS, menée à bord de la Station spatiale internationale, permet d'aborder de manière concrète la force d'interaction gravitationnelle. Les élèves sont amenés à s'interroger sur la situation de la station spatiale internationale en orbite : « Pourquoi parle-t-on de micropesanteur, alors que la gravitation terrestre existe toujours ? »

Ils comprennent ainsi que la gravitation existe même dans l'espace, et que c'est le fait que l'ISS se déplace en orbite, qui est comme une chute libre permanente autour de la Terre, qui crée l'état d'impesanteur (comme dans l'avion zeroG).

Cette approche donne du sens aux notions de force, d'interaction et de modélisation vectorielle, en les reliant à une situation réelle.

Lumière utilisée dans l'expérience ChlorISS, couleur et longueur d'onde : l'expérience ChlorISS repose sur l'utilisation de différentes conditions lumineuses (lumière blanche, lumière rouge, lumière bleue). Ce choix expérimental constitue un support pertinent pour aborder les notions de lumière blanche, lumière colorée et longueur d'onde. Les élèves peuvent analyser la source lumineuse utilisée dans l'expérience et comparer :

- une source de lumière blanche ;
- une lumière colorée obtenue par filtration ;
- une source monochromatique.

Des activités expérimentales permettent de produire et d'exploiter des spectres d'émission à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre. Les élèves relient alors les couleurs observées aux longueurs d'onde correspondantes et comprennent le rôle des filtres dans la sélection de certaines radiations.

Cette étude permet de faire le lien entre un dispositif expérimental réel et les notions du programme, tout en montrant comment la maîtrise de la lumière est essentielle dans les expériences scientifiques en lien avec la croissance des végétaux, y compris en environnement spatial.

Ressources utilisables avec les élèves

- Activité [Programmer en Python : loi de la gravitation](#). Éduscol
- Vidéo [C'est pour quand la gravité artificielle dans l'espace ?](#). CNES

Piste 4 : étudier l'influence de la gravité et de la lumière sur la croissance des plantes – spécialité biologie/écologie (classe de première) et spécialité SVT (classe de Terminale)

Objectifs du programme

SVT : thème « Enjeux planétaires contemporains », sous-thème « De la plante sauvage à la plante domestiquée », partie « L'organisation fonctionnelle des plantes à fleurs » : établir et mettre en œuvre des protocoles montrant l'influence des conditions de milieu (lumière, gravité, vent) sur le développement de la plante.

Biologie/écologie : thème « Des enjeux environnementaux contemporains », partie « Transformation des habitats et accès aux ressources » : le métabolisme photosynthétique.

Activités réalisables

L'expérience ChlorISS peut être exploitée afin de montrer que la gravité et la lumière, en tant que conditions du milieu, influencent la croissance et l'orientation des plantes. Pour cela, les élèves observent et comparent la taille et l'orientation des tiges et des racines des plantules afin de mettre en évidence l'action conjointe de ces deux facteurs.

La classe est organisée en binômes, répartis en deux groupes : certains travaillent sur l'influence de la lumière, d'autres sur celle de la gravité. Les élèves étudient des plantules d'*Arabidopsis* sauvages et d'*Arabidopsis* PGM, placées dans différentes conditions de luminosité (obscurité, lumière blanche) et de gravité (culture au sol et résultats obtenus à bord de l'ISS).

Un suivi régulier de la croissance est réalisé à partir de prises de photographies, effectuées par les élèves, ou par la professeure ou le professeur. Ces images sont exploitées afin d'analyser l'évolution de l'orientation et de la croissance des tiges et des racines, par exemple à l'aide du logiciel en ligne Mesurim2.

Les élèves analysent ensuite les résultats obtenus et les interprètent en lien avec l'influence des conditions du milieu sur la croissance des plantes. Les résultats et analyses sont synthétisés dans un compte rendu de travaux pratiques.

Enfin, un binôme de chaque groupe présente à l'oral les conclusions devant l'ensemble de la classe, ce qui permet une mise en commun des observations et une meilleure compréhension de l'action respective de la lumière et de la gravité.

Point d'attention :

- sur Terre, la croissance orientée des plantes dépend simultanément de deux facteurs : la gravité et la lumière (lorsqu'on met en évidence le phototropisme des tiges, on fait en réalité une simplification, car la réponse observée résulte à la fois d'un phototropisme positif et d'un gravitropisme négatif). La micropesanteur à bord de l'ISS permet justement de lever cette superposition d'effets.
- le variant PGM est déficient dans la synthèse d'amidon. Cependant, ce variant n'est pas totalement agravitrope : il présente une réponse au gravitropisme retardée et atténuée par rapport aux individus sauvages.

Complément : Il est possible d'observer au microscope les racines d'*Arabidopsis* sauvages et d'*Arabidopsis* PGM avec une coloration à l'eau iodée. Cela permet de mettre en évidence la présence ou l'absence de grains d'amidon dans la coiffe des racines. Les racines étant très fines, il suffit de faire un montage entre lame et lamelle.

Piste 5 : étudier l'influence des longueurs d'onde lumineuses sur le phototropisme des plantes – spécialité biologie/écologie (classe de première) et spécialité SVT (classe de Terminale)

Objectifs du programme

SVT : thème « Enjeux planétaires contemporains », sous-thème « De la plante sauvage à la plante domestiquée », partie : « L'organisation fonctionnelle des plantes à fleurs » : établir et mettre en œuvre des protocoles montrant l'influence des conditions de milieu (lumière, gravité, vent) sur le développement de la plante.

Biologie/écologie : thème « Des enjeux environnementaux contemporains », partie « Transformation des habitats et accès aux ressources » : le métabolisme photosynthétique.

Activités réalisables

L'expérience ChlorISS peut permettre de montrer que la réponse phototropique des plantes dépend de la longueur d'onde de la lumière reçue. Pour cela, les élèves observent et comparent l'orientation de plantules soumises à différentes lumières filtrées, puis mettent leurs résultats en perspective avec ceux obtenus à bord de l'ISS.

La classe est organisée en binômes, répartis en deux groupes : certains travaillent sur les plantules de Mizuna, d'autres sur les plantules d'*Arabidopsis* sauvages, placées dans différentes conditions de luminosité (obscurité, lumière blanche, lumière bleue et lumière rouge). Le développement des plantules est suivi par des prises de photographies régulières, réalisées par les élèves ou par la professeure ou le professeur. Les élèves analysent les photographies montrant l'évolution de la courbure des plantules, par exemple à l'aide du logiciel en ligne Mesurim2. Les résultats et les analyses sont synthétisés dans un compte rendu de TP. Un échange entre binômes ayant travaillé sur l'Arabette sauvage ou le variant ou sur le Mizuna, permet enfin de comparer et confronter les résultats, d'en discuter la généralisation et de mettre en évidence les points communs et les différences observées.

Piste 6 : forces gravitationnelles – spécialité physique-chimie (classe de première)

Objectifs du programme

Thème « Mouvement et interactions », partie « Interactions fondamentales et introduction à la notion de champ » : utiliser la loi de Coulomb, citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle, utiliser les expressions vectorielles de la force de gravitation et du champ de gravitation.

Activités réalisables

Le contexte de l'expérience ChlorISS, menée à bord de la Station spatiale internationale, permet d'aborder les modèles d'interaction à distance et d'introduire la notion de champ.

Les élèves peuvent être amenés à comparer l'interaction gravitationnelle et l'interaction électrostatique. En s'appuyant sur l'expression vectorielle de la force de gravitation, puis sur celle de la loi de Coulomb, les élèves observent ainsi l'analogie formelle entre ces deux lois, tout en distinguant leurs spécificités : la gravitation est toujours attractive, tandis que l'interaction électrostatique peut être attractive ou répulsive selon le signe des charges.

Cette mise en parallèle conduit à introduire la notion de champ gravitationnel et de champ électrostatique. Les élèves comprennent alors que le champ constitue un modèle

permettant de décrire l'influence d'un objet sur l'espace environnant indépendamment de la présence effective d'un objet test. Cette approche donne ainsi du sens aux expressions vectorielles des forces et des champs dans la description des interactions fondamentales.

Piste 7 : conception et réalisation d'un clinostat – enseignement de spécialité « Innovation Technologique » en STI2D (classe de première)

Objectifs du programme

CO2.1. Décoder le cahier des charges d'un produit, participer, si besoin, à sa modification.

CO4.1. Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés.

CO5.5. Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue.

CO7.4. Réaliser et valider un prototype ou une maquette en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial.

CO7.5. Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit.

Activités réalisables

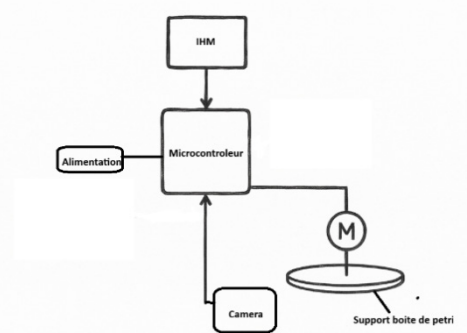
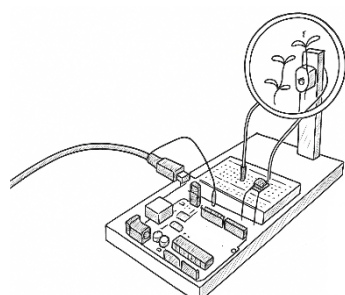
Dans le cadre de l'expérience ChlorISS, il est important de suivre la germination pour comprendre comment différents facteurs, tels que la lumière, l'eau et la gravité, influencent le développement des plantes. La problématique suivante peut être posée aux élèves : « Comment automatiser la rotation d'une boîte de Pétri contenant des graines afin de simuler la microgravité et suivre la croissance des plants ? »

Les élèves sont placés en situation d'ingénierie au travers d'une démarche de projet : analyser un besoin réel, identifier des contraintes, imaginer une solution, concevoir et réaliser un objet technique (maquette ou prototype) et mettre en œuvre un protocole de test pour valider la solution proposée, en lien avec une expérience scientifique nationale.

Dans un premier temps, l'expérience ChlorISS et le concept de microgravité sont présentés aux élèves. Un échange est mené sur la question suivante : « Pourquoi est-il nécessaire de suivre l'évolution de la croissance ? » Une problématique est ensuite formulée. Les différentes contraintes du projet sont identifiées à partir des documents fournis.

Dans un second temps, par groupes et au travers de démarches de créativité, les élèves recherchent plusieurs architectures de solutions, pour répondre au besoin identifié. Ils formalisent leurs idées par des croquis ou schémas.

Exemple :



Ils comparent ensuite les différentes solutions à l'aide d'une matrice de choix en prenant en compte les exigences du cahier des charges.

Dans un troisième temps, par groupes, les élèves réalisent le choix des composants de l'architecture retenue : moteur, microcontrôleur (*arduino, micro:bite*), caméra (*ESP32-CAM, webcam, Huskylens*, etc.). Ils modélisent ensuite le support de l'ensemble des composants et de la boîte de pétri, élaborent les programmes nécessaires et effectuent une simulation de la chaîne d'information.

Après avoir prototypé le support de l'ensemble, les élèves assurent l'intégration matérielle et logicielle des différents éléments choisis.

Dans un dernier temps, par groupes, les élèves définissent un protocole d'expérimentation pour valider la solution proposée. Ils mettent en œuvre l'expérimentation et valident la prise en compte ou non des contraintes du cahier des charges.

Piste 8 : le monde, l'Europe et la France depuis les années 1990, entre coopérations et conflits – histoire-géographie

Objectifs du programme

Thème « Nouveaux enjeux de puissance et enjeux mondiaux » : si le programme invite à travailler la coopération internationale par la mise en place d'une gouvernance mondiale, la Station spatiale internationale permet d'aborder un exemple de coopération internationale entre puissances après la guerre froide. L'enjeu est aussi de pouvoir mettre en lien cet exemple avec les défis contemporains (environnement, santé, compétition technologique, etc.), soit qu'ils sont traités dans les expériences de l'ISS, soit parce qu'ils sont au cœur des enjeux de rivalités et de tensions au XXI^e siècle.

Une attention particulière est portée sur les acteurs de ces coopérations et rivalités : les États, parmi lesquels peuvent être distinguées les puissances établies et les puissances nouvellement venues sur le terrain de la compétition spatiale, mais aussi d'autres acteurs publics ou privés.

Un lien peut être recherché avec le programme d'enseignement moral et civique (EMC), pour travailler la connaissance des institutions internationales et des compétences de coopération, de débat et de prise de décisions.

Activités réalisables

Pour élargir la réflexion des élèves sans perdre de vue la problématique principale, l'objectif est de proposer une activité qui puisse s'insérer dans un temps final du chapitre, y compris pour nourrir et élargir la réflexion des élèves.

La mise en œuvre proposée est de construire une activité consistant à rédiger une fiche « acteurs », par pays ou acteurs participant aux projets menés à bord de l'ISS et/ou adoptant une stratégie spatiale (cela peut être une entreprise ou une agence).

Cette fiche peut être structurée sous la forme d'un tableau répondant à ces questions, par exemple :

- Informations sur le pays (en termes politique, économique, et quelques renseignements sur les secteurs stratégiques) ;
- Quel est l'investissement (si c'est un État) dans la station spatiale internationale ? Quel intérêt pour lui à développer ce format de coopération et les expériences menées ?
- Quelle stratégie poursuit cet acteur dans le domaine spatial ?
- Quelle position adopte-t-il à l'égard des autres acteurs ?

Après un temps de travail de présentation de l'ISS (origine, acteurs impliqués, rôle de l'Europe et de la France, actions concrètes réalisées, avenir du projet, etc.) réalisé sur documents, les élèves sont répartis en groupes afin de se familiariser et s'approprier les positions de chaque acteur et rédiger cette fiche.

Puis, une mise en commun permet, à l'oral, de communiquer avec les autres groupes les positions de chacun. Une évaluation par les pairs peut compléter et conclure l'activité, si la capacité travaillée est principalement « s'exprimer à l'oral ».

Piste 9 : effets de variations de paramètres du milieu sur la croissance de la plante – bloc 1 du tronc commun du baccalauréat professionnel en classes de première et terminale

Cette activité expérimentale peut s'inscrire dans différents thèmes du référentiel, tels que l'alimentation ou l'énergie. Elle concerne les disciplines scientifiques : mathématiques, physique-chimie et biologie-écologie.

Activités réalisables

Dans un premier temps (présentation du projet ChlorISS à partir d'une vidéo du CNES), la professeure ou le professeur présente les intérêts de l'expérimentation menée à bord de l'ISS sur *Arabidopsis*. Des pistes d'exploration possibles sont ouvertes : produire son alimentation dans l'espace, production de métabolites/milieu médical, comportement agronomique du végétal en micropesanteur et en milieu artificialisé, etc.

Dans un second temps (présentation du kit et début de réflexion), une réflexion collective est menée sur les modalités de mise en place des essais, à partir des protocoles de semis (installations, équipements, outils de mesure) et sur les supports de communication à envisager (photographies, vidéo, etc.) pour réaliser un suivi régulier. Les activités sont réparties par groupe. Chaque groupe réfléchit aux hypothèses à tester et aux moyens de les vérifier.

Dans un troisième temps (préparation du TP et recueil des données), la détermination collective des variables à collecter, des dates clés de la collecte, l'élaboration des outils pour le recueil et l'organisation des données collectées est une étape de la démarche à mettre en œuvre. Cette étape peut conduire à déterminer des rôles par élève ou groupe d'élèves. Les modalités de recueil des données générées et de leur traitement (tableur *Excel* ou autre outil adapté) peuvent être décidées en concertation avec la professeure ou le professeur de Mathématiques et de TIM.

Dans un quatrième temps (lancement de l'expérimentation), la variation de certains paramètres du milieu, comme la luminosité, permet d'en observer les effets sur :

- la vitesse de croissance des plantules ;
- l'étiollement de la tige ;
- l'orientation de la croissance de la tige (héliotropisme ou gravitropisme).

Les différentes expériences mises en place ont pour finalité de valider ou d'invalider les hypothèses de départ concernant le lien entre les conditions de culture et la croissance/développement des végétaux. La formulation de ces hypothèses fait partie intégrante de la démarche scientifique à mettre en œuvre.

Les modalités d'expérimentation (lumière, hygrométrie, température, substrat, etc.) sont mises en place. Il est possible d'utiliser une boîte ChlorISS réalisée par d'autres classes (projet pluriserve connectée), à l'aide d'une mini-serre (disponible en grande surface).

Chaque groupe teste et analyse un facteur.

Facteurs climatiques :

- suivi de la vitesse de germination et/ou de croissance à différentes températures (à 18°C, à 22°C, etc.) ;
- suivi de la vitesse de germination et/ou de croissance à différents taux d'hygrométrie (étouffée avec HR proche saturation, HR 60 %, etc.) ;
- suivi de la vitesse de croissance en fonction de la photopériode (6 h de nuit, 18 h de jour, etc.) ;
- mesures de la croissance végétative et racinaire en conditions similaires à l'ISS (protocole identique) : boîtes de pétri, substrat (expérience témoin).

L'étude est répétée pour le développement racinaire et la croissance de la tige ou étiolement.

Les différentes expériences mises en place ont pour finalité de valider ou d'invalider les hypothèses de départ concernant le lien entre les conditions de culture et la croissance des végétaux.

Dans un cinquième temps (analyse des données et mise en page pour communication), avec l'aide si besoin du professeur ou professeure de mathématiques et de TIM, les résultats sont analysés et les hypothèses de départ sont validées ou invalidées.

Ces résultats, des schémas et protocole de l'expérience peuvent être publiés sous forme de poster scientifique à afficher pour présenter les résultats aux autres groupes et aux classes n'ayant pas participé au projet.

Piste 10 : création d'une serre connectée pour mesurer les paramètres de l'expérimentation – première et terminale Bac Pro

Bloc Sciences du MG1 (Physique-Chimie, Biologie-Écologie, TIM, Mathématiques)

Référence MG1 : construction d'un raisonnement scientifique autour des questions du monde actuel

Thème de pluridisciplinarité « Des capteurs connectés au service des transitions » (bloc MG1 et MP)

Activités réalisables

Afin de réaliser les expérimentations, comme Sophie Adenot au sein de l'ISS, les élèves peuvent recréer une boîte ChlorISS dans le cadre du thème pluridisciplinaire « capteurs connectés au service des transitions ».

L'objectif est de créer à partir d'une mini serre du commerce la boîte ChlorISS avec tous les capteurs de paramètres d'ambiance à mesurer pour les expérimentations et notamment :

- la luminosité ;
- l'hygrométrie (HR) ;
- la température.

Avec le recours éventuel à l'impression 3D, les élèves créent les supports pour les filtres de couleur, la séparation opaque pour l'expérimentation à l'abri de la lumière, etc.

Dans un premier temps de présentation (au moins deux semaines en amont du TP), l'expérience ChlorISS est présentée à partir d'une vidéo. La professeure ou le professeur développe les intérêts de l'expérimentation menée à bord de l'ISS sur *Arabidopsis*. Un questionnement est mené sur les pistes d'exploration possibles : alimentation, production de métabolites/milieu médical, comportement agronomique du végétal en apesanteur et en milieu artificialisé, etc.

Dans un second temps (présentation du kit et début de la réflexion), une réflexion collective est menée sur les modalités de mise en place des essais, à partir des protocoles de semis : installations, équipements, outils de mesure, etc.

Des supports de communication et de suivi régulier sont établis (photographies, vidéo). Les activités sont réparties par groupe. Une première réflexion est menée sur les hypothèses à tester et les moyens de les vérifier.

Dans un troisième temps (création des capteurs en lien avec le temps 2), chaque groupe crée son capteur connecté pour un paramètre d'ambiance. Une réflexion collective est menée sur le design de la boîte ChlorISS. L'accompagnement d'une professeure ou un professeur de TIM est nécessaire.

Dans un quatrième temps (finition du montage), la boîte ChlorISS et ses capteurs doivent être fonctionnels une ou deux semaines avant l'arrivée des graines.

Dans un cinquième temps a lieu la mise en œuvre de l'expérience.

Dans un dernier temps (analyse des données et mise en page pour vulgarisation), avec l'aide si besoin du professeure ou professeur de mathématiques et de TIM, les résultats sont analysés et les hypothèses de départ sont validées ou invalidées.

Ces résultats, des schémas et protocole de l'expérience peuvent être publiés sous forme de posters scientifiques à afficher pour présenter les résultats aux autres groupes et aux classes n'ayant pas participé au projet.

Matériel nécessaire : *arduino uno*, capteurs connectés, mini serre, outils de bricolage standard.

Piste 11 : comparaison de la germination et de la croissance de l'arabette entre WT et le PGM (variant en condition terrestre et/ou en microgravité) – bac STAV (sciences et technologies de l'agronomie et du vivant)

L'étude du comportement des végétaux en orbite illustre la recherche de solutions innovantes face aux défis futurs de l'humanité. Cultiver des plantes dans des conditions extrêmes, telles que celles rencontrées en station spatiale, permet d'approfondir la compréhension des mécanismes physiologiques des végétaux et d'expérimenter des systèmes agricoles fermés, économes en ressources et totalement recyclables. Ces recherches ouvrent la voie à des applications concrètes sur Terre, notamment dans le développement de l'agriculture urbaine, des systèmes hydroponiques ou des productions en milieux confinés. Une réflexion élargie sur les OGM, les variants PGM et la durabilité des systèmes peut être menée.

Activités réalisables

Dans un premier temps (au moins deux semaines en amont du TP), le projet ChlorISS est présenté à partir d'une vidéo. La professeure ou le professeur développe les intérêts de l'expérimentation menée à bord de l'ISS sur *Arabidopsis*. Un questionnement est mené sur les pistes d'exploration possibles : alimentation, production de métabolites/milieu médical, comportement agronomique du végétal en apesanteur et en milieu artificialisé, etc.

La professeure ou le professeur développe notamment les particularités génomiques des individus de la souche sauvage et du variant PGM (dépourvu d'amidon), et explique le rôle de l'amidon sur le gravitropisme.

Dans un second temps (présentation du kit et début de la réflexion), une réflexion collective est menée sur les modalités de mise en place des essais, à partir des protocoles de semis : installations, équipements, outils de mesure, etc.

Des supports de communication et de suivi régulier sont établis (photographies, vidéo). Les activités sont réparties par groupe. Une première réflexion est menée sur les hypothèses à tester et les moyens de les vérifier.

Dans un troisième temps (préparation du TP et recueil des données), la réflexion sur les variables à collecter, les dates clés de la collecte, l'élaboration des outils pour le recueil et l'organisation des données collectées est une étape de la démarche à mettre en œuvre. Cette étape peut conduire à déterminer des rôles par élève ou groupe d'élèves. Les modalités de recueil des données et leur organisation en vue de leur traitement peuvent être établies en concertation avec la professeure ou le professeur de mathématiques et de TIM.

Dans un quatrième temps (lancement de l'expérimentation), les modalités d'expérimentation sont mises en place : lumière, hygrométrie, température, substrat, etc. Il est possible d'utiliser une boîte ChlorISS réalisée par d'autres classes (projet pluri-serre connectée) ou une mini-serre (disponible en grande surface). Les élèves procèdent aux mesures de la croissance végétative en suivant un protocole identique à l'ISS (boîtes de pétri, substrat). Les mesures sont répétées en microgravité avec un clinostat pour WT et PGW, ainsi que pour le développement racinaire et la croissance de la tige ou étiolement.

Dans un cinquième temps (analyse des données et mise en page pour communication), avec l'aide si besoin de la professeure ou le professeur de mathématiques et de TIM, les résultats sont analysés et les hypothèses de départ sont validées ou invalidées.

Ces résultats, des schémas et protocole de l'expérience peuvent être publiés sous forme de poster scientifique à afficher pour présenter les résultats aux autres groupes et aux classes n'ayant pas participé au projet.

Piste 12 : capacités professionnelles en baccalauréat professionnel

Objectifs

Mettre en culture *Arabidopsis thaliana* en conditions réelles, et comparer le comportement de la plante, aux conditions expérimentales menées dans le même temps en micropesanteur.

Observer l'influence des facteurs climatiques et édaphiques sur la croissance aérienne et racinaire d'*Arabidopsis*.

Observer, mesurer, collecter les données, analyser, exploiter les données statistiques, poser un regard critique sur les résultats obtenus et sur le protocole ayant permis de les obtenir.

Élaborer des fiches de collecte des mesures et d'observations, justifier le choix des fréquences des mesures, des modalités de collecte et d'organisation des données en vue de leur traitement.

Utiliser un logiciel de mesure (Mesurim).

Activités réalisables

Dans le cadre de l'expérience ChlorISS développée par le CNES, les élèves de Baccalauréat professionnel vont comme Sophie Adenot dans l'espace, cultiver des plants d'*Arabidopsis* afin d'étudier l'influence des facteurs climatiques, édaphiques et physiques sur le comportement de deux variants génétiques de la plante (souche sauvage et variant PGM).

Dans cette démarche, les élèves s'impliquent concrètement pour répondre à des capacités professionnelles attendues à leur niveau de formation. Ce modèle est transposable à d'autres situations menées in situ par d'autres classes.

Déroulement possible

Dans un premier temps (contextualisation de l'expérience), le projet ChlorISS est présenté à partir d'une vidéo du CNES. La professeure ou le professeur développe les intérêts de l'expérimentation menée à bord de l'ISS sur *Arabidopsis*. Un questionnement est mené sur les pistes d'exploration possibles : alimentation, production de métabolites/milieu médical, comportement agronomique du végétal en apesanteur et en milieu artificialisé, etc.

Dans un second temps (réflexion préalable à la mise en place de l'expérience), une réflexion collective est menée sur les modalités de mise en place des essais, à partir des protocoles de semis : installations, équipements, outils de mesure, etc.

Des supports de communication et de suivi régulier sont établis (photographies, vidéo). Les activités sont réparties par groupe.

Cette étape de réflexion préalable à la mise en place de l'expérience est menée suivant une démarche scientifique qui lie les hypothèses à tester aux modalités mises en place pour les tester.

Dans un troisième temps (mise en place des différentes modalités), les élèves réalisent le semis d'après le protocole. Les modalités d'expérimentation sont mises en place : lumière, hygrométrie, température, substrat, etc. Il est possible d'utiliser une boîte ChlorISS réalisée par d'autres classes (projet pluri-serre connectée), un phytotron, un laboratoire ou une serre de production. Les élèves procèdent à l'étude de différents facteurs.

Facteurs climatiques :

- suivi de la vitesse de germination à différentes températures (à 18°C, à 22°C, etc.) ;
- suivi de la vitesse de germination à différents taux d'hygrométrie (étouffée avec HR proche saturation, HR 60 %, etc.) ;
- suivi de la germination en condition de jours courts (12 h), ou de jours longs (16 h), et de l'intensité lumineuse faible au moyen de lampes à incandescence (60 watts), ou élevée, au moyen de tubes à néons ou de lampes photosynthétiques (400 watts).

Facteurs édaphiques :

- mesures de la croissance végétative et racinaire en conditions similaires à l'ISS (protocole identique) : boîtes de pétri, substrat (terreau de semis, sable ou vermiculite) ;
- mesures de la croissance végétative et racinaire, avec une germination sur substrat, en laboratoire (conditions climatiques similaires à la boîte de pétri) ;
- mesures de la croissance végétative et racinaire, avec une germination sur substrat, en serre (modalité professionnelle) ;
- possibilité de comparer les résultats sur des substrats différents : sable / vermiculite, terreau de semis, etc.

Nutrition hydrique et minérale :

- mesures de la vitesse de croissance, après germination (10 jours), sur substrat sec (humidifié 2 fois/semaine), ou très hydraté (humidifié une fois par jour) ;
- mesures de la vitesse de croissance, après germination (10 jours), suivant des modalités avec et sans apport de fertilisant (engrais 10-10-10) et selon une fréquence à déterminer (une fois/semaine, etc.).

Dans un quatrième temps (collecte et traitement des données), les observations sont menées en utilisant des fiches de relevés des mesures élaborées par les élèves. Un logiciel de mesure (Mesurim) est utilisé.

Dans un cinquième temps (analyse et interprétation des résultats), avec l'aide si besoin de la professeure ou le professeur de mathématiques et de TIM, les résultats sont analysés et les hypothèses de départ sont validées ou invalidées. Les résultats sont comparés avec ceux de l'ISS.

Ces résultats, des schémas et protocole de l'expérience peuvent être publiés sous forme de poster scientifique à afficher pour présenter les résultats aux autres groupes et aux classes n'ayant pas participé au projet.

Dans un dernier temps (réalisation de supports de communication), les élèves communiquent autour de l'expérience lors de la journée portes ouvertes et/ou sous forme d'exposé oral, de support vidéo, etc. Ces présentations ouvrent à un questionnement sur les utilisations possibles d'*Arabidopsis*, ses adaptations en culture, etc.

Piste 13 : prolongement possible en BTSA (ou autres formations)

Objectifs

Maitriser la mise en place et le suivi de la culture d'*Arabidopsis* et comparer les résultats obtenus avec ceux conduits à bord de l'ISS ; développer une culture scientifique auprès des élèves de différents niveaux.

Appliquer un protocole défini pour observer l'influence des facteurs climatiques et édaphiques sur la croissance aérienne et racinaire d'*Arabidopsis*.

Encadrer en toute sécurité le personnel lors de la mise en place et le suivi de l'essai. Piloter les chantiers, prévoir, anticiper les effectifs et les intrants nécessaires, coordonner et organiser les postes de travail ; rédiger une fiche de consignes.

Piloter des interfaces numériques, des équipements et matériels connectés pour contrôler le milieu de culture spécialisé.

Observer, mesurer, collecter et analyser les données, et diffuser les résultats.

Activités réalisables

Dans le cadre de l'expérience ChlorISS développée par le CNES, les étudiants de BTSA vont, comme Sophie Adenot dans l'ISS, mettre en culture *Arabidopsis thaliana* afin d'étudier l'influence des facteurs climatiques et édaphiques sur le comportement de la plante.

Les étudiants pilotent l'expérimentation, portent un regard critique sur le protocole et l'adapter, anticipent la gestion des intrants et fournitures, s'approprient des interfaces numériques dans la gestion des conditions de culture, utilisent le cas échéant des outils élaborés par d'autres classes (boîte ChlorISS), analysent et diffusent les résultats, réalisent une analyse réflexive sur leurs actions, sur les résultats obtenus et sur les ouvertures qu'amène l'expérience.

Dans cette démarche, les étudiants s'impliquent concrètement pour répondre à des capacités professionnelles et générales, attendues à leur niveau. Cela contribue à développer une ouverture d'expérimentation auprès d'élèves d'autres formations.

Déroulement possible

Dans un premier temps (contextualisation de l'expérience), le projet ChlorISS est présenté à partir d'une vidéo. La professeure ou le professeur développe les intérêts de l'expérimentation menée à bord de l'ISS sur *Arabidopsis*. Un questionnement est mené sur les pistes d'exploration possibles : alimentation, production de métabolites/milieu médical, comportement agronomique du végétal en apesanteur et en milieu artificialisé, etc.

Dans un second temps (regard critique sur les protocoles), une réflexion collective est menée sur les modalités de mise en place des essais, à partir des protocoles de semis et de recherches documentaires sur les conditions de culture d'*Arabidopsis* : installations, équipements, outils de mesure, etc. Les élèves planifient le travail et les chantiers en veillant à leur ergonomie. Des supports de communication et de suivi régulier sont établis (photographies, vidéo). Les activités sont réparties par groupe.

Dans un troisième temps (planification des opérations et préparation du matériel), les élèves planifient les interventions, l'utilisation de boîte ChlorISS (ou un clinostat réalisé par d'autres formations) et paramètrent les outils et matériels connectés. Un travail d'organisation et d'anticipation des conditions d'encadrement de groupes d'élèves en toute sécurité est mené. Les élèves prévoient, quantifient et chiffrent les intrants.

Dans un quatrième temps (accompagnement de la mise en place de l'expérience), les élèves réalisent le semis d'après le protocole. Les modalités d'expérimentation sont mises en place : lumière, hygrométrie, température, substrat, etc. Il est possible d'utiliser une boîte ChlorISS réalisée par d'autres classes, un phytotron, un laboratoire ou une serre de production. Les élèves procèdent à l'étude de différents facteurs.

Facteurs climatiques :

- suivi de la vitesse de germination à différentes températures (à 18°C, à 22°C, etc.) ;
- suivi de la vitesse de germination à différents taux d'hygrométrie (étouffée avec HR proche saturation, HR 60 %, etc.) ;
- suivi de la germination en condition de jours courts (12 h), ou de jours longs (16 h), et de l'intensité lumineuse faible au moyen de lampes à incandescence (60 watts), ou élevée, au moyen de tubes à néons ou de lampes photosynthétiques (400 watts).

Facteurs édaphiques :

- mesures de la croissance végétative et racinaire en conditions similaires à l'ISS (protocole identique) : boîtes de pétri, substrat (terreau de semis, sable ou vermiculite) ;
- mesures de la croissance végétative et racinaire, avec une germination sur substrat, en laboratoire (conditions climatiques similaires à modalité pétri) ;
- mesures de la croissance végétative et racinaire, avec une germination sur substrat, en serre (modalité professionnelle) ;
- possibilité de comparer les résultats sur des substrats différents : sable / vermiculite, terreau de semis, etc.

Nutrition hydrique et minérale :

- mesures de la vitesse de croissance, après germination (10 jours), sur substrat sec (humidifié deux fois/semaine), ou très hydraté (humidifié une fois par jour) ;
- mesures de la vitesse de croissance, après germination (10 jours), suivant des modalités avec et sans apport de fertilisant (engrais 10-10-10), et selon une fréquence à déterminer (1fois/semaine, etc.).

Dans un cinquième temps (encadrement de la collecte des données), les élèves conçoivent des fiches de relevés des mesures et d'observations. Ils définissent les fréquences des mesures et leurs modalités. Un logiciel de mesure (Mesurim) est utilisé.

Dans un sixième temps (analyse et interprétation des résultats), avec l'aide si besoin de la professeure ou le professeur de mathématiques et de TIM, les résultats sont analysés puis comparés avec ceux de l'ISS. Un regard critique est posé sur les résultats et le protocole.

Dans un dernier temps (communication), les élèves communiquent autour de l'expérience lors de la journée portes ouvertes et/ou sous forme d'exposé oral, de support vidéo, etc. Ces présentations ouvrent à un questionnement sur les utilisations possibles d'Arabidopsis, ses adaptations en culture, etc.