

ALGAE
for
FARM



UE SEA2 - Apprentissage par projet

Optimisation des conditions de culture de *Chlorella vulgaris* et développement de photobioréacteurs pour l'agriculture

Algae for Farm Project 2025

Enseignants référents :

Thomas Boddaert : thomas.boddaert@universite-paris-saclay.fr

Valérie Peris-Delacroix : valerie.peris-delacroix@ens-paris-saclay.fr

Martine Thomas : martine.thomas@universite-paris-saclay.fr

Enseignants conseil :

Frédéric Bouquet : bouquet@lps.u-psud.fr

Cyril Dauphin : cyril.dauphin@universite-paris-saclay.fr

Accompagnement technique et FabLab :

Pascal Béroule : pascal.beroule@universite-paris-saclay.fr

Note : le déroulé de l'APP, avec les dates, le contenu des séances et les rendus, est susceptible d'être modifié au cours du semestre.

Sommaire Général

Objectifs pédagogiques du projet.....	4
Grandes lignes du Villebon <i>Garden Algae Project 2024</i>.....	5
Règle du concours.....	6
Composition des équipes.....	8
Planning des séquences/séances.....	9
Bibliographie.....	28
Consignes d'hygiène et sécurité.....	33
Matériel fourni et disponible à l'institut.....	34
Le cahier de laboratoire et le dossier d'archivage APP.....	36
Consignes de montage des PBR de la Grande Expérience.....	38

Les phases du projet :

SEQUENCE 1 : recherche bibliographique sur l'utilisation et la culture de microalgues	8
○ Lancement de l'APP (séance encadrée).....	8
○ Travail bibliographique (auto)	8
○ Présentation et répartition entre les groupes du travail bibliographique concernant les principaux paramètres de culture (séance encadrée)	10
○ Travail de synthèse bibliographique sur les paramètres (auto).....	10
SEQUENCE 2 : Planification d'une étude expérimentale des conditions de culture de <i>C. vulgaris</i>	11
○ Présentation du travail bibliographique réalisé et des choix des conditions de culture standard (séance encadrée).....	11
○ Réflexion sur le choix des expériences à réaliser dans le cadre de la Grande Expérience (et suite du travail bibliographique)	12
SEQUENCE 3 : Mise en place de la « Grande Expérience Test »	16
Objectif de la séquence : préparer le matériel nécessaire et les protocoles expérimentaux nécessaires à l'expérience qui sera réalisée.	16
○ Travail de préparation de la Grande Expérience	16
○ Vérification de l'organisation (séance encadrée)	16
○ Vérification des protocoles expérimentaux (séances encadrées)	16
○ Montage et stérilisation des photobioréacteurs de test (séances encadrées).....	17
○ Préparation du milieu de culture (séance encadrée)	17
SEQUENCE 4 : Réalisation de la « Grande Expérience Test »	18
○ Comptage et mise en culture (séance encadrée)	18
○ Prélèvements d'échantillons durant et en fin d'expérience (J14)	19
○ Dosage des lipides (séances encadrées)	19
○ Compilation des données expérimentales.....	19
○ Traitement des données de la Grande Expérience	19
○ Présentation orale des résultats de la Grande Expérience par groupe A à E	20
○ Réunion de labo : enseignements de la Grande Expérience.....	20
SEQUENCE 5 : Développement d'un photobioréacteur	21
○ Réflexion sur le design des photobioréacteurs.....	21
○ Présentation d'une synthèse sur les photobioréacteurs	21
○ Construction-assemblage d'un photobioréacteur	22
SEQUENCE 6 : Phase de test des PBR / production de biomasse algale	23
○ Mise en culture	23
○ Suivi des cultures	23
○ Récupération de la biomasse et analyse quantitative des macromolécules algales ; bilan phase production	23
○ Analyse chimique	24
○ Livrable 12 : Soutenance finale : le jeudi 19 février, 13h30-18h.....	24
○ Livrable 13 : Rapport final	25
○ Bilan des apprentissages : mars-avril.....	26
○ A propos des recherches bibliographiques en général.....	27

Préambule

Ce document comporte des informations importantes pour bien comprendre le travail demandé dans le cadre de l'UE SEA2.

Nous vous engageons à le lire très attentivement, ligne par ligne. Aucune d'entre elles n'est superflue.

1. Objectifs pédagogiques du projet

L'UE SEA2, basée sur une pédagogie d'apprentissage par projet, a un double objectif. Il s'agit de vous permettre d'acquérir ou d'approfondir des savoirs théoriques en chimie, physique, biochimie et ingénierie mais surtout de développer un grand nombre des savoir-faire/items constituant les trois compétences transversales du référentiel de la formation (résoudre un problème par une approche scientifique, pratiquer une communication correcte et appropriée au contexte, travailler et se former de manière efficace dans le cadre d'un projet sociotechnique).

Plus précisément, **ce projet vous permettra de développer 33 savoir-faire/items constituant les trois compétences transversales de la formation Sciences et Technologies** (Figure 1).



Figure 1 : composants des trois compétences transversales du référentiel Villebon-Charpak que les APP SEA1 (L1) et SEA2 (L2) permettent de développer.

2. Grandes lignes du Villebon Algae for Farm Project 2025

Villebon Algae for Farm Project 2025 est un projet scientifique qui comporte trois grandes étapes :

1. **L'optimisation des conditions de culture de *Chlorella vulgaris***
2. **Le développement de photobioréacteurs adaptés à la culture de *Chlorella vulgaris* et s'intégrant dans des exploitations agricoles**
3. **L'analyse qualitative et quantitative des produits des cultures algales**

Les équipes doivent impérativement respecter le règlement présenté ici.

Lors de la soutenance finale, les équipes devront présenter notamment

- i) le résultat de travaux d'optimisation des cultures de *C. vulgaris*
- ii) un prototype de photobioréacteur en état de marche et répondant au cahier des charges
- iii) une analyse qualitative et quantitative de la production algale, calculs de rendement et coût de production
- iv) une conclusion générale

Un rapport écrit devra être remis au jury à l'issue du projet.

L'évaluation du travail

L'évaluation de l'activité de chaque étudiant sera basée sur les livrables fournis par son groupe (présentations écrites et orales), sur une ou plusieurs évaluations individuelles, sur la tenue par le groupe de base d'un cahier de laboratoire, sur l'implication individuelle dans le projet. Les critères d'évaluation correspondent aux savoir-faire constituant les compétences scientifiques, communicationnelles et organisationnelles du référentiel de la formation.

Un cahier de laboratoire sera fourni à chaque groupe. Il s'agit de cahiers de laboratoire professionnels, chaque page doit être paraphée clairement par la ou les personnes l'ayant rédigée (les initiales doivent être lisibles). Ce cahier sera examiné par les enseignants à plusieurs reprises au cours du projet et remis aux membres du jury après la soutenance finale. Les cahiers de laboratoire seront exclusivement en format papier (pas de format numérique autorisé sauf si autorisé ultérieurement par les enseignantes responsables).

A l'issue de chaque restitution, chaque équipe doit estimer la part de travail fournie par chacun des membres du groupe. Les % de participation de chaque membre du groupe pour chaque livrable seront communiqués **au plus tard 48h après son rendu** dans le fichier partagé suivant :

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1OTa1u0N1jFNyTu_J6vGFKHvURcuvLUDbl44FWrkckaw/edit?usp=sharing

Les chiffres annoncés devront correspondre à un consensus établi après discussion et debriefing au sein du groupe de travail.

3. Règle du concours

Lors de la première phase du projet, du petit matériel (liste en annexe), des réactifs chimiques ainsi qu'une souche de *Chlorella vulgaris* sont fournis aux étudiants pour permettre la réalisation d'une étude scientifique à grande échelle permettant d'optimiser les conditions de culture de cet organisme. Lors de la seconde phase du projet (phase de développement de photobioréacteurs et de test), il est obligatoire en revanche de construire et d'utiliser des photobioréacteurs différents. Les équipes devront alors concevoir et construire des prototypes originaux, **radicalement différents** des premiers et répondant au cahier des charges présenté ci-dessous.

1) Les photobioréacteurs de la première phase du projet

Les photobioréacteurs de la phase de test seront tous construits sur le même modèle afin de permettre la comparaison rigoureuse de différentes conditions de culture. Ces photobioréacteurs de type colonne verticale à bulles seront assemblés, selon les indications fournies, par groupes de 6 à 12 autour d'une même source lumineuse (la position du système d'éclairage doit être justifiée par une analyse bibliographique) et d'une source d'air commune. Chaque photobioréacteur aura un volume maximal de 0,5 litre pour un volume utile de 0,3 litre de culture, sera alimenté par une source d'air filtré et disposera d'une évacuation des gaz permettant de limiter les risques de contamination des cultures. Un tube de prélèvement permettra de retirer aisément de petits échantillons de culture dans chaque photobioréacteur.

2) Les photobioréacteurs de la seconde phase du projet

Pour la phase de développement et de production de biomasse, chaque équipe doit fabriquer un photobioréacteur dans lequel seront cultivées les algues *Chlorella vulgaris* destinées à la production de biomasse de qualité alimentaire ou adéquate pour l'objectif agricole choisi. Les photobioréacteurs de cette seconde phase du projet doivent être conçus comme un ou des éléments qui prendront place dans une exploitation agricole. Le choix du type d'exploitation agricole est laissé libre mais devra être clairement précisé et argumenté (fermes de culture céréales, maraichage, élevage, ferme pédagogique, « urban farming »...). Les PBR doivent être fabriqués à partir de matériaux disponibles à l'Institut et/ou dans le commerce (magasins de bricolage, quincailleries, etc.). L'Institut Villebon peut rembourser (sur justificatif) des achats d'un montant maximal de 50 euros par groupe. De plus, si besoin, un support adapté au design de votre objet pourra sur demande être également financé. Toute dépense supplémentaire peut valoir des points de pénalité et doit être impérativement justifiée auprès de l'équipe enseignante.

Cahier des charges des prototypes développés lors de la seconde étape du projet

1. Le dispositif doit permettre la production de dioxygène et de biomasse algale à partir du CO₂ de l'air et de lumière artificielle correspondant autant que possible aux conditions de la région parisienne. Ses performances doivent être optimisées et indiquées dans le rapport final.
2. Les algues produites doivent en particulier présenter une concentration élevée en lipides.
3. Le dispositif doit être automatisé pour limiter les interventions. Il doit pouvoir fonctionner pendant au moins 14 jours sans maintenance.
4. Le dispositif doit constituer un module d'un dispositif plus important ou correspondre à une maquette de l'ensemble du dispositif ; dans ce cas l'échelle devra en être précisée.
5. La partie PBR peut être modulaire, ou non.
6. Le volume utile maximal de la partie PBR ne doit pas dépasser 10 litres.
7. Un système d'agitation adapté aux conditions architecturales et aux algues doit permettre une agitation optimale de la culture et/ou un apport régulier et homogène de nutriments.

8. Les PBR doivent être équipés d'un système permettant l'introduction de liquide (nutriments) dans le milieu réactionnel.
9. La performance et la stabilité de l'installation ainsi que la qualité de la culture d'algues seront mesurées et évaluées tout au long de l'expérience. Des dispositifs permettant des mesures pertinentes des conditions internes du système de culture (quantité de cellules algales, pH, température, CO₂, etc.) pourront être greffés aux PBR. *Cet apport sera valorisé lors de l'évaluation du dispositif.*
10. Les PBR doivent pouvoir être vidés facilement (partiellement ou complètement) pour permettre la récolte de biomasse et si besoin un changement du milieu de culture en limitant les risques de contamination.
11. Les PBR peuvent être conçus pour la culture en continu (en turbidostat) ou pour la culture en batch.
12. La consommation électrique des photobioréacteurs (pompes, lampes et autres dispositifs) doit être aussi faible que possible. Cette consommation sera calculée et présentée dans le rapport final.

Demander conseil pour avancer plus vite et aller plus loin

N'hésitez surtout pas à demander conseil aux enseignants référents.

4. Composition des équipes

A	Elodie	Romane	Théodore	Timéo
	1	2	3	4

B	Auriane	Assane	Gabriel G	Yaline
	1	2	4	3

C	Ali	Antonin	Iris	Marie
	1	4	3	2

D	Lina	Neil	Noé	Maël	Roxane
	1	1	3	2	4

E	Charlotte	Colin	Gabriel B	Nessrine
	4	3	2	1

5. Planning des séquences

N.B. Les séances en autonomie sont obligatoires pour tous les membres du groupe tant que le travail n'est pas terminé. Lorsque le travail demandé est achevé, la présence à l'institut n'est plus obligatoire.

Le projet comporte **8 séquences** différentes qui s'échelonnent entre le 3 septembre 2025 et le 19 février 2026 (soutenance).

SEQUENCE 1 : recherche bibliographique sur l'utilisation et la culture de microalgues

Objectifs de la séquence 1 : s'entraîner à effectuer une recherche bibliographique, écrire une synthèse (expression écrite) en citant correctement les références bibliographiques sélectionnées.

○ Lancement de l'APP (séance encadrée)

<i>Date</i>	Mercredi 3/9 – 9h45-11h15
<i>Enseignantes</i>	Martine et Valérie
<i>Objectifs</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Retour sur SEA1 et développement de compétences2. Présentation du <i>Villebon Algae for Farm Project</i> et de son planning3. Distribution des cahiers de laboratoire et rappel sur leur utilisation
<i>Déroulement</i>	Séance encadrée

○ Travail bibliographique (auto)

<i>Date</i>	Mercredi 3/9 15h45-17h45, Jeudi 3/9 8h15-10h15, 14h-17h45
<i>Organisation</i>	<i>Travail en autonomie en groupes de 4-5 (groupes A à E)</i>
<i>Objectifs</i>	Organisation du groupe Travail bibliographique sur l'utilisation des microalgues dans le contexte du projet Algae for Farm en vue de la rédaction du rapport 1
<i>Déroulement</i>	<ol style="list-style-type: none">1- Lecture attentive du livret de consignes ; échanges au sein des groupes de 4-5 réflexion sur l'organisation du travail de l'équipe ; la réflexion sur l'organisation du groupe est à intégrer dans le cahier de labo (Livrable 0).2- Travail bibliographique sur les conditions de culture des microalgues3- Rédaction du livrable 1 (Rapport 1)
<i>Evaluation</i>	<i>La réflexion sur l'organisation du groupe sera évaluée (livrable 0), cahier de labo à présenter au plus tard le jeudi 11/9.</i> <i>Le travail biblio est à intégrer dans le rapport écrit n°1 (groupe de 4-5) qui sera évaluée via la grille de compétences.</i>

	La contribution de chaque membre de l'équipe doit être précisée en fin de rapport (qui a fait quoi ?) et dans le fichier partagé (pourcentage global).
Ressources	Article Chen <i>et al</i> , 2013 (fourni) Dossier bibliographique « généralités » fourni par les enseignants (disponible sur e-campus)
Consignes pour le rapport 1	<p>1- Rapport 1 : Rendre une synthèse bibliographique de 4 à 6 pages sur l'utilisation et la culture de microalgues, en particulier <i>Chlorella vulgaris</i>, pour la production de biomasse et de dioxygène.</p> <p>La synthèse écrite doit être conçue comme la première partie de l'introduction du rapport final. Elle doit aborder différents points à propos des algues utilisées pour la production de biomasse et de dioxygène (vous pouvez modifier l'ordre de ces différents points) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Présentation de l'état de l'art sur le développement de dispositifs de culture de microalgues associées à des installations publiques (présentez les avantages et applications possibles de ces cultures de microalgues, de l'espèce <i>Chlorella vulgaris</i> en particulier, pour la production alimentaire et la fourniture de dioxygène, ou pour d'autres utilisations de la biomasse) • Brève présentation générale des microalgues : leurs places dans la classification des espèces, taille, habitats, type de reproduction, types de métabolisme, caractéristiques métaboliques en relation avec la production de nutriments • Qualités nutritionnelles de <i>C. vulgaris</i>. Quelle(s) macromolécule(s) est/sont la/les plus intéressante(s) du point de vue nutritionnel pour les humains ou animaux ? • Présentation des types de dispositifs de culture des microalgues (dispositifs de culture en enceinte fermée) et des différentes modalités de culture (culture photoautotrophique, hétérotrophique, <i>etc</i> ; culture en système fermé en batch, culture continue en chémostat). • Métabolisme et croissance de l'espèce <i>Chlorella vulgaris</i> : présentation des voies métaboliques mobilisées chez les chlorelles pour la production de glucides, de protéines et de lipides (il s'agit de donner ici des informations permettant de comprendre les besoins des cultures algales pour la production de chaque type de macromolécules) <ul style="list-style-type: none"> ◦ courbe de croissance attendue en culture en batch <p> Cette synthèse demande un effort considérable compte-tenu du temps dont vous disposez. Profitez au mieux des séances de travail en autonomie qui sont mises à l'emploi du temps !</p> <p>Les corrections demandées par les enseignants devront être effectuées et une version corrigée fournie (deadline communiquée ultérieurement).</p>
Echéance à respecter	Le rapport 1 doit être envoyé au plus tard le 8 septembre à 17h

○ **Présentation et répartition entre les groupes du travail bibliographique concernant les principaux paramètres de culture (séance encadrée)**

<i>Date</i>	Jeudi 4/9 – 16h15-17h45
<i>Enseignantes</i>	Martine et Valérie
<i>Objectifs</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Point sur l'organisation du travail au sein des groupes 2. Echanges sur le projet SEA2 et le développement de compétences (après lecture du livret par les étudiant.es) 3. Tirage au sort d'un thème d'étude (paramètre) par groupe 4. Présentation du travail à faire pour la prochaine séance encadrée
<i>Déroulement</i>	Séance encadrée puis autonomie par groupes de 4-5 (groupes A à E)

○ **Travail de synthèse bibliographique sur les paramètres (auto)**

<i>Dates</i>	Lundi 8/9 8h15-10h15 et 14-15h30 ou 15h45-17h15 ; mardi 9/9 8h45-10h15 et 14-16h
<i>Déroulement</i>	<i>Séances en autonomie par groupes de 4-5 (Groupes A à E)</i>
<i>Objectifs</i>	<p>Travail bibliographique sur le paramètre important pour la culture de <i>C. vulgaris</i> tiré au sort par le groupe ; les paramètres analysés seront</p> <p>la lumière (intensité, photopériode, qualité), la température, le pH, l'apport d'azote, auxotrophie/hétérotrophie, taille de l'inoculum de départ de la culture</p>
<i>Consignes</i>	<p>Livrable 2 - Présentation orale 1 (paramètre de culture). Le travail demandé à chaque groupe consiste à présenter en 5 min à l'ensemble des groupes les conditions de culture qu'il préconise pour le paramètre de culture dont il a été en charge. Il appuiera sa présentation orale sur un court diaporama présentant les arguments scientifiques qui l'ont conduit à ces choix (montrer des figures issues des articles consultés) ainsi que les sources dont il s'est inspiré.</p> <p>Ces présentations permettront de définir les conditions contrôles de la Grande Expérience.</p>
<i>Ressources</i>	<p>Dossier bibliographique fourni par les enseignants sur ecampus</p> <p>Il sera également nécessaire de rechercher des sources spécifiques du paramètre étudié.</p>
<i>Echéance à respecter</i>	<p>Livrable 2 : Présentation orale 1 : mardi 9/9 16h-18h (paramètres de culture).</p> <p>Le diaporama est à déposer sur ecampus avant le début de la séance.</p>

SEQUENCE 2 : Planification d'une étude expérimentale des conditions de culture de *C. vulgaris*



D'après : <http://www.mediavisioninteractive.com/blog/cross-channel-marketing-2/brand-experience-engage-consumers/>

Objectif de la séquence : mettre au point une expérience complexe pour tester différentes conditions de culture sur le rendement et la qualité nutritionnelle des cultures de *C. vulgaris* – effectuer une recherche bibliographique et concevoir à partir de là un plan expérimental.

○ Présentation du travail bibliographique réalisé et des choix des conditions de culture standard (séance encadrée)

<i>Date</i>	Mardi 9/9 – 16-18h
<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie
<i>Objectifs</i>	Présentation orale du travail bibliographique réalisé ; savoir argumenter scientifiquement
<i>Déroulement</i>	<p>Séance encadrée</p> <p>Chaque groupe (A à E) présentera le résultat de ses recherches aux autres groupes ; il donnera de manière précise les conditions de culture de base (contrôles) qu'il préconise pour le paramètre dont il a été en charge.</p> <p>Vous exposerez aux autres étudiants les principales informations recueillies par votre groupe au cours d'un pitch de 5 min en vous appuyant sur un diaporama. Le pitch comprendra les points suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • En quoi le paramètre étudié est-il important pour la culture des microalgues ? Remplacez ce paramètre dans le métabolisme général de <i>C. vulgaris</i>. Expliquez comment ce paramètre peut jouer éventuellement sur les voies métaboliques impliquées de près ou de loin dans les synthèses de macromolécules (glucides, protéines, lipides) chez <i>C. vulgaris</i> (de la photosynthèse au stockage des macromolécules). Expliquez dans quelle mesure et selon quels auteurs la variation de ce paramètre peut être intéressante pour optimiser les cultures des

	<p>microalgues dans la perspective de la production de biomasse, de pigments et de lipides</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comment peut-on faire varier expérimentalement ce paramètre afin d'améliorer la production de biomasse et d'une ou plusieurs macromolécules d'intérêt chez cet organisme ? • Présenter vos préconisations pour les conditions « standard » de culture (contrôle). Vous justifierez vos choix en vous appuyant sur votre analyse bibliographique. <p>Ces présentations seront suivies d'une discussion générale visant à déterminer les conditions de culture standard de la Grande Expérience.</p>
<i>Evaluation</i>	<p><i>La contribution de chaque membre de l'équipe doit être précisée dans le fichier partagé (travail de bibliographie et préparation du diaporama).</i></p> <p><i>Tous les membres du groupe doivent s'exprimer. Seul le critère 2.8 sera évalué individuellement (communication claire, précise, fluide), les autres critères seront communs à tous les membres du groupe.</i></p> <p><i>N'oubliez pas de répéter votre présentation ensemble !</i></p>

○ **Réflexion sur le choix des expériences à réaliser dans le cadre de la Grande Expérience (et suite du travail bibliographique)**

<i>Dates</i>	Mercredi 10/9 14-18h15
<i>Déroulement</i>	<p>Séances en autonomie, 4 groupes de 5-6 étudiant.es (Groupes 1 à 4)</p> <p>Warning ! Ce travail de réflexion est réalisé au sein de 4 nouveaux groupes formés chacun d'un membre de chaque groupe de base. Au sein de chaque nouveau groupe, chaque étudiant.e sera ainsi porteur des connaissances acquises sur le paramètre étudié par son groupe d'origine, ce qui permettra une richesse d'informations plus importante et un meilleur niveau de réflexion .</p>
<i>Objectif</i>	Proposer des expériences à réaliser dans le cadre de la Grande Expérience.
<i>Consignes</i>	<p>Le travail demandé à chaque groupe consiste à proposer une ou plusieurs expériences qui permettront de préciser les conditions idéales à mettre en place <u>en vue de production de biomasse et de lipides</u> lors de la seconde partie de l'APP.</p> <p>L'expérience proposée doit être argumentée scientifiquement (sources présentées). Les expériences proposées peuvent s'inspirer d'une ou plusieurs expériences publiées dans les articles consultés. Néanmoins vous n'êtes pas autorisés à vous contenter de reproduire à l'identique les expériences déjà publiées (plagiat).</p>

	<p>Soyez précis dans vos propositions (nombre de photobioréacteurs pour chaque condition, organisation de l'expérience, paramètres testés).</p> <p>Le nombre total de PBR impliqués dans la Grande Expérience ne pourra excéder 36.</p>
<i>Ressources</i>	Ensemble du dossier bibliographique fourni par les enseignants sur ecampus, ressources trouvées par chaque groupe pour le livrable 2 ou tt autre document qui pourrait être utile.
<i>Echéance à respecter</i>	Livrable 3 : Présentation orale 2 : jeudi 11/9 8h15-10h15h. Le diaporama est à déposer sur ecampus avant la séance.

<i>Date</i>	Jeudi 11/9 –8h15-10h15
<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie
<i>Objectifs</i>	Partager le résultat de la réflexion menée par les groupes 1 à 4, chaque groupe présente ses propositions d'expériences aux autres groupes
<i>Déroulement</i>	<p>Séance encadrée</p> <p>Présentation par chaque groupe de 5-6 (groupes 1 à 4) des propositions d'expérience(s) à réaliser lors de la Grande Expérience (livrable 3). L'utilisation d'un support est nécessaire (diaporama).</p> <p>Vous exposerez aux autres étudiants les principales informations recueillies au cours d'un pitch de 6 min orienté exclusivement sur le point suivant :</p> <p><i>Quelles expériences proposez-vous dans le cadre de la Grande Expérience ? La proposition doit s'appuyer sur des résultats d'une ou plusieurs expériences publiées précédemment, vous devrez argumenter scientifiquement votre proposition.</i></p>
<i>Evaluation</i>	<p>Livrable 3 : Présentation orale N°2 (groupes 1 à 4).</p> <p><i>La contribution de chaque membre de l'équipe doit être précisée dans le fichier partagé (dans la partie des groupes 1 à 4).</i></p> <p><i>Tous les membres du groupe doivent s'exprimer. Seul le critère 2.8 sera évalué individuellement (communication claire, précise, fluide), les autres critères seront communs à tous les membres du groupe.</i></p>

<i>Date</i>	Jeudi 11/9 –après-midi
<i>Objectifs</i>	Préparer le débat qui permettra de faire les choix d'expériences à réaliser dans le cadre de la GE
<i>Déroulement</i>	<i>Séance en autonomie (groupes 1 à 4)</i>

	<p>En se basant sur les présentations du matin et les échanges de la séance précédente avec les enseignantes, les groupes 1 à 4 vont reprendre la réflexion concernant les expériences proposées. Chaque groupe doit identifier 1 ou 2 expériences lui semblant les plus intéressantes. Les choix peuvent s'inspirer des propositions faites par un ou plusieurs autres groupes lors des présentations du matin, être une version améliorée de leur(s) propres propositions ou être une nouvelle proposition inspirée des lectures d'articles, ou un mélange de tout cela !</p> <p>Les nouvelles propositions doivent être claires et précises et doivent être décrites clairement sur un tableau avant la séance débat.</p>
<i>Echéance à respecter</i>	Les nouvelles propositions doivent être présentées clairement sur un tableau avant 17h.

<i>Date</i>	Jeudi 11/9 –17h30-18h30
<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie
<i>Objectifs</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Décider des expériences qui seront menées dans le cadre de la Grande Expérience 2) Mettre en place une organisation efficace et partagée de la promotion pour la préparation de la GE (si manque de temps cette partie peut être faite lors de la première séance en autonomie)
<i>Déroulement</i>	<p>Séance encadrée</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Présentation rapide par les groupes 1 à 4) du résultat de leurs réflexions de l'après-midi (schémas au tableau). 2- Ce tour de table sera suivi d'un débat impliquant l'ensemble de la promotion visant à déterminer la ou les 2 ou 3 expériences qui seront menées dans le cadre de la Grande Expérience. 3- Les étudiants devront ensuite <ul style="list-style-type: none"> • établir la liste du travail à réaliser lors des séances de préparation de la GE et avant la mise en culture du 2 octobre. Les tâches à réaliser consistent, entre autres, à coordonner et mettre en œuvre plusieurs des tâches importantes de la Grande Expérience : conception générale de l'expérience (conditions à tester, répliqués, contrôles, ...), mise en place de l'expérience dans la salle projet, organisation de la mise en culture des 24 à 36 PBR, organisation de la collecte des données expérimentales (protocoles de prélèvement, de comptage, organisation d'un

	<p>Drive, formation des autres étudiant.es, compilation des données...)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Répartir ces missions en 2 à 4 lots de missions qui seront confiées à des super-groupes (SG) de 4 à 7 étudiant.es qui seront responsables de mener à bien ces missions • se répartir au sein des 2 à 4 SG (idéalement un groupe de base A à E devrait avoir 1 ou plusieurs représentants dans chaque SG afin d'avoir accès à l'ensemble des informations) • Désigner un.e étudiant.e référent.e pour chaque SG <p>La répartition des tâches entre les super-groupes (SG) ainsi que la composition de ces SG seront déterminées par l'ensemble de la promotion.</p>
<i>Evaluation</i>	La participation active des étudiant.es sera relevée et prise en compte dans l'évaluation finale individuelle de l'APP (partie implication)
<i>Consignes pour la séance suivante</i>	<p>Vous devrez établir des protocoles précis. La manière dont vous allez expérimentalement faire varier le/s paramètres étudiés, le plan expérimental (indiquez la chronologie de l'expérience, les concentrations des réactifs, les méthodes de comptage des cellules qui seront mises en œuvre, etc.) doivent être clairement présentés en vous inspirant de la littérature scientifique et en vous appuyant sur elle.</p> <p>Ces protocoles seront rédigés sous forme d'un fichier Drive (géré par chaque SG), et rendu accessible aux enseignants responsables dès que les SG auront été formés et leurs missions déterminées.</p>
<i>Echéances à respecter</i>	Livrable 4 : Les protocoles devront être mis sur un fichier partagé (dossier partagé à organiser) et finalisés au plus tard le 19 septembre 18h en vue de la préparation des échanges avec les enseignants du mercredi 23 septembre.

SEQUENCE 3 : Mise en place de la « Grande Expérience Test »

Objectif de la séquence : préparer le matériel nécessaire et les protocoles expérimentaux nécessaires à l'expérience qui sera réalisée.

○ Travail de préparation de la Grande Expérience

<i>Dates</i>	<p>Lundi 15/9 13h30-15h30 ou 15h45-17h45 ; mardi 16/9 16h15-18h15; mercredi 17/9 8h15-10h15 et 14-17h; Jeudi 18/9 8h15-10h15, Jeudi 18/9 13h30-15h30 ou 15h45-17h45 ; Lundi 22/9 10h30-12h</p> <p>Après réunion avec les enseignants</p> <p>Mardi 23/9 16h15-17h45; Mercredi 22/9 13h30-15h30 ; Jeudi 25/9 10h30-12h30 et 13h30-15h30 ou 15h45-17h45 ; Mardi 30/9 8h15-10h15 (point réunion promo, présence obligatoire de tous) ; Mercredi 1/10 13h30-15h30 ou 15h45-17h45</p>
<i>Déroulement</i>	Séances en autonomie en SuperGroupes
<i>Objectifs généraux</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rédiger les protocoles détaillés - des expériences - de préparation des milieux de culture des 36 PBR à partir des solutions mères - d'ensemencement des photobioréacteurs (comment, étape par étape, allez-vous procéder pour ensemercer, par un inoculum d'algues, les milieux de culture contenus dans vos photobioréacteurs?) - de prise d'échantillon et de comptage des chlorelles à T0 puis lors des 2 semaines de culture (qui fera quoi, quand et comment ?) • Mise en place de l'ensemble du dispositif expérimental dans la salle • Rédiger les détails de l'organisation de la collecte des données expérimentales
<i>Echéances à respecter</i>	Toutes les infos devront être mises dans des fichiers partagés (1 par SG) et rassemblés au sein d'un dossier partagé accessible à tous et finalisés au plus tard le Vendredi 20 septembre 20h en vue de la préparation des échanges avec les enseignants du mardi 23 septembre.

○ Vérification de l'organisation (séance encadrée)

<i>Date</i>	Mardi 16/9 18h-18h30
<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie
<i>Objectifs</i>	Point sur la composition et les missions des SG
<i>Déroulement</i>	Discussion entre les enseignantes et la promo, vérification qu'une organisation efficace a été mise en place

○ Vérification des protocoles expérimentaux (séances encadrées)

<i>Date</i>	Mardi 23/9 8h15-10h15, 1 créneau par super-groupe
-------------	---

<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie
<i>Objectifs</i>	Vérification des protocoles et de l'organisation des tâches avant la mise en route de la GE
<i>Déroulement</i>	Discussion avec les enseignants, par super-groupes, sur les protocoles détaillés et sur la collecte de données expérimentales
<i>Evaluation</i>	Livrable 4 : Etat d'avancement de l'organisation et du contenu (protocoles) <i>La contribution de chaque membre de l'équipe doit être précisée dans le fichier partagé (dans la partie des SuperGroupes).</i>



Ce travail vous servira pour la rédaction de la partie « Matériel et Méthodes » du rapport final. Les corrections demandées par les enseignants devront être effectuées.

○ **Montage et stérilisation des photobioréacteurs de test (séances encadrées)**

<i>Date</i>	Lundi 22/9 8h15-10h15 (1ère partie) ; Jeudi 25/9 13h30-15h30 ou 15h45-17h45 (2 ^{ème} partie)
<i>Enseignants</i>	Pascal, Martine, Valérie
<i>Objectifs</i>	Monter vos photobioréacteurs à partir des directives et des plans fournis (en annexe), procéder à la stérilisation
<i>Déroulement</i>	Travail individuel. Suivre les instructions des encadrants pour le montage. Désinfection des dispositifs de culture. L'ensemble du matériel de culture, sans oublier les dispositifs d'aération, doit être stérilisé à la javel ou à l'éthanol à 70° et rincé à l'eau distillée au cours de la séance.

○ **Préparation du milieu de culture (séance encadrée)**

<i>Date</i>	Vendredi 26/9, 13h30-17h30
<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie (Pascal)
<i>Objectifs</i>	Préparer des solutions mères et un milieu de culture algale –calcul de concentration et de dilution, pesée et dilution des réactifs-.
<i>Déroulement</i>	Préparation des solutions mères nécessaires à la fabrication des milieux de culture, stérilisation des solutions mères, calculs en vue de la préparation des milieux de culture finaux.

SEQUENCE 4 : Réalisation de la « Grande Expérience Test »

○ Comptage et mise en culture (séance encadrée)

Récapitulatif des étapes précédentes : les premiers photobioréacteurs ont été construits et sont prêts à être utilisés après l'étape de désinfection, les milieux de culture ont été préparés, les protocoles sont rédigés et prêts à être suivis scrupuleusement par tous les étudiants.

<i>Date</i>	Jeudi 2/10 8h15-10h15 et 14h-18h et si nécessaire vendredi 3/10 aprem
<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie
<i>Objectifs</i>	Mise en place d'un protocole fiable de suivi de la population algale. Comparaison des techniques de comptage utilisant la cellule de Malassez et la spectrophotométrie. Ensemencement des PBR.
<i>Déroulement</i>	Les algues sont fournies aux étudiants pour mise en culture (en conditions stériles) le 2 octobre : c'est le t_0 de la GE. Le protocole de comptage est testé ce jour-là. Les PBR sont ensemencés et un premier comptage doit être effectué pour marquer le point de départ de la courbe de croissance («la population algale à t_0 »). Un premier prélèvement doit être effectué en vue du suivi de la production de lipides (« la quantité de lipides à t_0 »). Chaque étudiant prendra en charge un (ou 2) photobioréacteur(s) et ceci pour toutes les étapes de l'expérience : mise en culture, suivi de la culture, dosage des protéines/lipides, arrêt de la culture et nettoyage du matériel. Toute autre organisation peut être proposée par la promo (en amont du 2/10 !).
<i>Evaluation</i>	Organisation collective et répartition des tâches Implication individuelle

Travail à faire entre les séances : Mesures quotidiennes pendant 2 semaines pour l'établissement de courbes de croissance en fonction des paramètres testés.

Prélèvements d'échantillons pour le dosage des lipides et estimation de la biomasse à t_0 et t_{14} et autres selon les décisions prises par la promo.

<i>Date</i>	Vendredi 3/10 aprem
<i>Enseignants</i>	Martine, Pascal, Valérie
<i>Objectifs</i>	Séance visant à s'assurer que tous les étudiant.es seront aptes à réaliser les relevés de suivi des cultures
<i>Déroulement</i>	Si pas fait ou insatisfaisant, réalisation de la courbe de comparaison des techniques de comptage utilisant la cellule de Malassez et la spectrophotométrie.

	Vérification de l'existence d'un protocole fiable de suivi de la population algale, de la bonne compréhension de celui-ci par l'ensemble des étudiant.es et mise en pratique.
--	---

○ **Prélèvements d'échantillons durant et en fin d'expérience (J14)**

<i>Date</i>	Jeudi 16/10 8h15-10h15 et 14h-15h30 si besoin (date susceptible d'être modifiée selon l'état d'avancement des cultures)
<i>Enseignants</i>	Martine, Pascal, Valérie
<i>Objectifs</i>	Effectuer des prélèvements pour la mesure de la masse sèche et le dosage des Lipides/pigments (dosage le 23 octobre)
<i>Protocole</i>	Annoter soigneusement puis peser (balance de précision 0,0001g) les tubes Falcon 15 mL sans bouchon (tout doit être consigné dans le fichier partagé). Prélever 13 mL après avoir homogénéisé la culture. Centrifugation pendant 10 min à 4500 rpm. Éliminer le surnageant puis sécher les échantillons dans une étuve à 65°C au moins 1 nuit. Peser les tubes après séchage sur la même balance.

○ **Dosage des lipides (séances encadrées)**

<i>Date</i>	Mercredi 22/10 (TD) 15h45-17h15 ; Jeudi 23/10 (TP) 13h30-17h45
<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie
<i>Objectifs</i>	Dosage des lipides et pigments dans les prélèvements effectués
<i>Déroulement</i>	Suivre le protocole fourni. Calculer la masse de lipides par unité de volume de milieu de culture ainsi qu'en % de masse sèche.
<i>Echéance à respecter</i>	Les résultats doivent avoir été intégrés dans le fichier partagé des données avant 20h00 le jour même.
<i>Évaluation</i>	<i>Susceptible d'être évalué lors de l'évaluation écrite individuelle</i>

○ **Compilation des données expérimentales**

<i>Date</i>	Mardi 4/11 8h15-10h15 et Mercredi 5/11 8h15-10h15
<i>Enseignants</i>	<i>Martine en support (le 4/11)</i>
<i>Objectifs</i>	Regrouper et traiter les données de la Grande Expérience / Bilan avec enseignantes
<i>Echéances à respecter</i>	Regrouper et traiter les données de la Grande Expérience / Bilan avec enseignantes

○ **Traitement des données de la Grande Expérience**

<i>Date</i>	Mercredi 5/11 8h15-10h15, Jeudi 6/11, Mercredi 12/11 15h45-17h45
-------------	--

<i>Déroulement</i>	<i>Travail en autonomie en groupes de 4-5 (A à E)</i>
<i>Objectifs</i>	Préparer un poster (Livvable 5) qui servira de support pour la présentation orale du 14/11
<i>Evaluation</i>	Livable 5 : Poster (groupes de 4-5, A à E) <i>La contribution de chaque membre de l'équipe doit être précisée dans le fichier partagé (dans la partie des groupes A à E).</i>
<i>Echéances à respecter</i>	Poster à déposer sur ecampus (Livable 5) le 7/11 à 22h Une version 2 prenant en compte les critiques des enseignantes sera à déposer le 14/11 avant la présentation orale

○ **Présentation orale des résultats de la Grande Expérience par groupe A à E**

<i>Date</i>	Vendredi 14/11 13h30-17h45
<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie
<i>Objectifs</i>	Présenter l'analyse des résultats de la Grande Expérience
<i>Déroulement</i>	Chaque groupe de 4-5 (groupes A à E) présente les résultats de l'ensemble de la classe 10 min de présentation devant poster + questions-discussion.
<i>Evaluation</i>	Livable 6 : Présentation orale 4 (groupes de 4-5, A à E) <i>La contribution de chaque membre de l'équipe doit être précisée dans le fichier partagé (dans la partie des groupes A à E).</i> <i>Tous les membres du groupe doivent s'exprimer. Seul le critère 2.8 sera évalué individuellement (communication claire, précise, fluide), les autres critères seront communs à tous les membres du groupe.</i>

○ **Réunion de labo : enseignements de la Grande Expérience**

<i>Date</i>	Vendredi 14/11 16h-17h45
<i>Enseignants</i>	Martine, Valérie, Pascal
<i>Objectifs</i>	Tirer les enseignements des résultats de la Grande Expérience et déterminer les conditions expérimentales à mettre en œuvre lors de la 2 ^{ème} phase de l'APP.
<i>Déroulement</i>	Discussion en classe entière
<i>Evaluation</i>	L'implication individuelle dans la discussion générale sera prise en compte

SEQUENCE 5 : Développement d'un photobioréacteur



Source : <https://www.spaceedu.net/blog/photobioreactor-team-growing-algae/>

Objectif de la séquence : fabriquer un photobioréacteur en tenant compte du cahier des charges.

Cette partie sera réalisée en groupes de 4-5 (Groupes de base A à E).

○ Réflexion sur le design des photobioréacteurs

<i>Dates</i>	Mardi 7/10 8h15-10h15 ; Mercredi 8/10 14-16h ; Jeudi 9/10 8h15-10h15 et 13h30-15h30 ou 15h45-17h45 ; Vendredi 10 octobre 14-16h, Mardi 14/10 8h15-10h15 ; Mercredi 15/10 8h15-10h15 ; Vendredi 17/10 8h15-10h15 ; Mardi 21/10 8h15-10h15 ;
<i>Déroulement</i>	Travail en autonomie en groupes de 4-5 (A à E)
<i>Objectifs</i>	Réfléchir au design et à la construction du PBR intégré dans une exploitation agricole
<i>Echéance à respecter</i>	Livrable 7 : oral 4 : préparer la présentation orale du vendredi 24/10 à 8h15 Livrable 8 : rapport 3 Préparer un rapport écrit pour le vendredi 24 octobre 8h15

○ Présentation d'une synthèse sur les photobioréacteurs

<i>Dates</i>	Vendredi 24/10 matin (horaires à préciser pour chaque groupe)
<i>Enseignants</i>	Martine, Pascal, Valérie
<i>Objectifs</i>	Présentation de la réflexion design à la construction du PBR de la phase de production
<i>Consignes</i>	Le rapport écrit et la présentation orale doivent comporter : - une synthèse sur le principe de fonctionnement des PBR en général et sur leurs différents designs (une analyse comparée des différents designs serait un plus), - une synthèse des contraintes du cahier des charges justifiant les choix techniques de l'équipe - une présentation des caractéristiques du prototype qui sera construit en justifiant l'intérêt des options choisies. <i>Une maquette ou un premier prototype de photobioréacteur(s) peut être apporté.</i>
<i>Déroulement</i>	Chaque groupe passe devant les encadrants selon un planning affiché en début de séance. 12 min de présentation et 15 min de discussion avec les enseignants
<i>Evaluation</i>	Livrable 7 : Présentation Orale 3 (groupes A à E) <i>Tous les membres du groupe doivent s'exprimer. Seul le critère 2.8 sera évalué individuellement (communication claire, précise, fluide), les autres critères seront communs à tous les membres du groupe.</i>

	Livrable 8 : Rapport 3 Design (groupes A à E) <i>La contribution de chaque membre de l'équipe doit être précisée en fin de rapport (qui a fait quoi ?) et dans le fichier partagé (pourcentage global).</i>
--	---



Cette synthèse vous servira pour la rédaction de l'introduction du rapport final.

○ Construction-assemblage d'un photobioréacteur

<i>Dates</i>	Mercredi 12/11 15h45-17h45; Vendredi 14/11 8h15-10h15 ; Lundi 17/11 13h30-15h30 ou 15h45-17h45 ; Mardi 18/11 15h45-17h45 ; Jeudi 20/11 8h15-10h15 et 15h45-17h45 ; Vendredi 21/11 8h15-10h15 ou 10h30-12h30 et 15h45-17h45 ; Lundi 21/11 8h15-10h15 ; Mercredi 26/11 8h15-10h15 ; Jeudi 27/11 8h15-10h15 et 15h45-17h45 ; Lundi 1/12 8h15-10h15 ; Mercredi 3/12 15h45-17h45
<i>Objectifs</i>	Construction de PBR respectant les consignes fixées (voir la règle du concours) par groupes de 4-5 (A à E) ; les commandes doivent être passées soit avant les vacances soit au plus tard le 4 novembre
<i>Déroulement</i>	<i>Travail en autonomie par groupes de 4-5 (Groupes A à E)</i>
<i>Echéance à respecter</i>	Livrable 9 : Un prototype fonctionnel (et stérile) pour le 5 janvier

SEQUENCE 6 : Phase de test des PBR / production de biomasse algale

○ Mise en culture

<i>Dates</i>	Vendredi 12/12 journée (stérilisation PBR et prépa milieux) Mercredi 7 janvier après-midi et Jeudi 8 janvier matin (mise en culture)
<i>Enseignants</i>	Martine, Pascal, Valérie
<i>Objectifs</i>	Ensemencement des PBR. Prélèvements à T0. Mise en place d'un suivi journalier des cultures algales dans les PBR.

○ Suivi des cultures

<i>Objectifs</i>	Suivi journalier des cultures algales dans les PBR.
<i>Consignes</i>	Mesures régulières (quotidiennes ?) pendant 3 semaines et établissement des courbes de croissance par chaque groupe de 5.

○ Récupération de la biomasse et analyse quantitative des macromolécules algales ; bilan phase production

<i>Date</i>	Jeudi 29/1 aprem (prélèvements) ; Jeudi 5/2 8h15-12h30 (dosages)
<i>Enseignants</i>	Martine, Pascal, Valérie
<i>Objectifs</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Récupération, séchage et pesée de la biomasse (pesées le 5 janvier si pas fait avant) • Dosages des lipides dans les prélèvements effectués à J₀ et J₁₄ (et autres)
<i>Déroulement</i>	<p>Chaque groupe effectue les prélèvements le 29/1, sèche et pèse la biomasse algale le même jour. Les différentes missions peuvent être réparties entre les membres du groupe de base.</p> <p>L'idéal serait que le groupe fasse les calculs en fin de séance afin d'alimenter la base de données commune de la promotion.</p>
<i>Evaluation</i>	Livrable 10 : Fiche Résultats (groupes A-E) déposée ecampus et données fournies à la promotion

<i>Echéance</i>	Chaque groupe doit remettre un court compte-rendu de ses résultats (courbe de croissance, résultat des mesures de biomasse et autres mesures, résultat des dosages) avant le 10 février à 18H00.
	 Ce travail vous servira pour la rédaction du rapport final.

○ **Analyse chimique**

<i>Dates</i>	Mercredi 21/1 Journée à partir de 8h15
<i>Enseignants</i>	Thomas Boddaert
<i>Objectif</i>	Découvrir les techniques d'utilisation et d'identification des lipides
<i>Evaluation</i>	Selon grille de compétences
<i>Echéance</i>	Livable 11 : CR des résultats du TP Chaque groupe doit remettre un compte-rendu de ses résultats (la date de rendu sera fixée ultérieurement)

SEQUENCE FINALE : remise du rapport de projet et soutenance

Les groupes sont invités à prendre rendez-vous avec Martine **dans le courant de la semaine du 9 février** (ou avant) pour discuter du plan du rapport final

○ **Livable 12 : Soutenance finale : le jeudi 19 février, 13h30-18h**

<i>Date</i>	Jeudi 19/2 13h30-17h45
<i>Enseignants</i>	Martine, Pascal, Valérie
<i>Objectifs</i>	Présenter l'ensemble du travail réalisé dans le cadre de cet APP
<i>Déroulement et consignes</i>	<p>Les présentations sont réalisées devant l'ensemble de la promotion.</p> <p>Le jury (composition communiquée ultérieurement) représente des investisseurs potentiels.</p> <p>Chaque groupe (groupes de base A à E) dispose de 12 min pour présenter et défendre son projet et convaincre le jury en vue d'une éventuelle commercialisation.</p>

	<p>Tous les membres de l'équipe doivent participer.</p> <p>Le ou les supports utilisés sont libres (diaporama, flyers, vidéo promotionnelle, pitch, livret, dossier....) ainsi que la forme de la présentation.</p> <p><i>Optionnel : vous vous adressez à votre banquier et développez les aspects financiers</i></p>
<i>Evaluation</i>	<p>Livrable 12 : selon grille de compétences</p> <p>Ce livrable a un poids relatif plus important que les livrables 0 à 11.</p> <p><i>La contribution de chaque membre de l'équipe doit être rapportée dans le fichier partagé</i></p>
<i>Echéance à respecter</i>	<p>Le diaporama ou support choisi doit être déposé au plus tard jeudi 19/2 à 12h sur ecampus</p>

○ Livrable 13 : Rapport final

<i>Objectifs</i>	<p>Relater l'ensemble des travaux réalisés durant cet APP</p>
<i>Consignes</i>	<p>Dans ce rapport, le groupe (A à E) reprendra l'ensemble du travail réalisé durant la période d'APP. Les points principaux sont donnés ci-dessous mais attention, cette liste ne constitue pas un plan à suivre ! Réfléchir sur un plan judicieux permettant une présentation claire.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eléments principaux à connaître sur les microalgues, leur fonctionnement, leur utilisation • La culture des microalgues (conditions, différents types de culture...) • La Grande Expérience (positionner la GE dans l'ensemble du projet, présenter les exp réalisées et les principaux résultats...) • Le cahier des charges, contexte, choix faits par l'équipe • La réalisation de votre PBR • Les performances obtenues, comparaison avec celles de la GE et celles obtenues par vos camarades • Analyse de la dynamique de votre groupe
<i>Evaluation</i>	<p>Livrable 13 : selon grille de compétences</p> <p>Ce livrable a un poids relatif plus important que les livrables 0 à 11.</p> <p><i>La contribution de chaque membre de l'équipe doit être précisée en fin de rapport (qui a fait quoi ?) et dans le fichier partagé (pourcentage global).</i></p>

<i>Echéance à respecter</i>	Livrable 13 à déposer sur ecampus au plus tard le 12/3 20h
-----------------------------	---

- **Le cahier de laboratoire (Livrable 14) est à rendre le 12 mars à 20h**
(ils auront cependant été déjà présentés le jour de la soutenance).

Tous les conseils donnés pour la rédaction d'un cahier de laboratoire lors du projet Charpak et lors du 1^{er} APP restent valables et à appliquer. Quelques consignes de base sont redonnées dans ce livret aux pages 35 à 37.

Evaluation : **Ce livrable a un poids relatif plus important que les livrables 0 à 11.**

- **Bilan des apprentissages : mars-avril**

6. Bibliographie

○ A propos des recherches bibliographiques en général

Le travail de recherche et l'écriture d'un texte scientifique (rapport, article, thèse,...) suppose toujours **une recherche minutieuse d'informations inspirantes et fiables ou jugées comme tel par la communauté scientifique**. Cette recherche de sources fait partie intégrante de la démarche scientifique.

Le travail de recherche scientifique s'appuie presque toujours sur des travaux antérieurs de scientifiques, des travaux qui ont été publiés, enregistrés et validés par la communauté de leurs collègues. Dans un texte ou un discours scientifique, les références bibliographiques renvoient ainsi, par-delà le temps et l'espace, à des données validées par des experts, des pratiques acceptées, des laboratoires et des collègues reconnus. Elles relient le discours présent à d'autres discours passés et d'autres chercheurs reconnus par des communautés scientifiques.

Les références que vous retiendrez (après lecture) et que vous citerez seront peut-être d'abord une précieuse source d'inspiration pour vos propres travaux. Elles pourront vous donner une indication de ce qui a été fait avant vous (et qui n'est peut-être plus à faire) et **attester**, auprès de vos lecteurs, **que vous connaissez et reconnaissez ce qui a été fait dans votre domaine de recherche**. Elles fourniront aussi aux lecteurs **la possibilité d'aller plus loin dans la compréhension** de votre domaine de recherche. Chacune de ces références constituera non seulement une base solide sur laquelle pourront reposer vos travaux mais elle contribuera aussi à la crédibilité scientifique de ces derniers. Les références bibliographiques peuvent être de puissants alliés sur lesquels vous devez vous appuyer pour convaincre.



Citer ses sources n'est pas seulement un moyen d'informer et convaincre ses lecteurs, il s'agit aussi d'une obligation morale pour tout chercheur. Ne pas se plier à cette règle revient à faire du plagiat, autrement dit à commettre une faute grave.

Le plagiat est la reprise à son propre compte, de toute information, sans en mentionner la source (provenance) adéquatement. Il constitue une fraude qui sera traitée par le conseil de discipline de l'université.

○ A propos des recherches bibliographiques pour ce projet

Nous vous fournissons un dossier bibliographique comprenant plusieurs articles sur les microalgues et les photobioréacteurs.

Nous vous encourageons utiliser d'autres ressources bibliographiques pourvu qu'elles soient fiables : articles de synthèse dans des revues scientifiques, manuscrits de thèse, textes de présentation des laboratoires de recherche. Les manuscrits de thèse (en français) comportent une introduction qui peut constituer une bonne synthèse sur les sujets qui vous intéressent. Attention de ne pas vous perdre dans les détails, choisissez dans un premier temps des documents synthétiques.

Pour vos recherches bibliographiques sur les microalgues, utilisez préférentiellement Pubmed, le principal moteur de recherche de données bibliographiques de l'ensemble des spécialités de la biologie et de la médecine. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>)

Vous pouvez aussi utiliser Google Scholar (<https://scholar.google.fr/>) mais attention car ce moteur inventorie des articles approuvés ou non par des comités de lecture, des thèses de type universitaire, des citations ou encore des livres scientifiques. Il faut bien faire attention ici à la fiabilité des informations.

Pour bien utiliser ces moteurs de recherche il faut entrer les bons mots clés (obligatoirement en anglais pour Pubmed). Par exemple "Chlorella vulgaris iron culture" si vous souhaitez trouver des articles sur l'effet du fer sur les cultures de *C. vulgaris*. Si vous ne trouvez pas un article, vous pouvez en faire la demande aux enseignants qui ont des abonnements via leur institution de rattachement.

- **Comment mentionner des travaux ou citer des auteurs dans votre texte**

Lorsque vous mentionnez un concept important développé par certains auteurs dans des articles ou des ouvrages, lorsque vous évoquez des travaux expérimentaux importants pour votre propre travail, vous devez renvoyer vos lecteurs vers la référence bibliographique correspondante. **Attention, il ne faut citer que les documents sur lesquels vous vous êtes appuyés (et que vous avez lus) pour rédiger vos travaux.**

Pour renvoyer le lecteur vers la référence bibliographique, plusieurs solutions sont possibles. Nous vous demandons ici de présenter **impérativement vos références bibliographiques selon le système Harvard (alphabétique)** : Le classement des auteurs est alphabétique à la section "Références bibliographiques" et les références sont non numérotées. Les références sont appelées dans le texte par le nom du premier auteur et l'année de parution de l'article cité.

Exemple :

(Logan, 2009).

Si vous voulez faire une citation textuelle (citer une partie de texte), cette citation doit être retranscrite fidèlement et placée entre guillemets. Respectez la ponctuation, les majuscules, les fautes ainsi que la mise en forme (gras, italique, souligné). La citation doit toujours être suivie de : (auteur(s), année, page).

- **Comment rédiger une liste des références bibliographiques**

Afin de permettre aux lecteurs d'identifier clairement et de retrouver facilement les références citées dans le texte, il convient de référencer correctement les travaux cités en rédigeant **une partie intitulée "Références bibliographiques"**. Cette partie va permettre au lecteur de juger votre travail ou de s'informer d'avantage sur certains points.

La rédaction des références diffère selon le type de document cité. Une référence bibliographique :

- varie selon le type (ouvrage, articles, congrès...) et le support (papier, en ligne, cédérom...) du document,
- est constituée d'éléments (auteur, titre, édition...) indispensables au bon signalement. Ces éléments doivent respecter un ordre précis. Pour retrouver les éléments d'une référence bibliographique, les principales sources sont les pages de titre et de couverture des documents.
- doit être présentée de façon homogène dans le style choisi pour chaque élément.

Nous vous proposons ici un style assez classique de présentation des références bibliographiques. Nous vous demandons de le respecter pendant toute la durée de l'APP.

D'une manière générale, il faut respecter les règles du traitement de texte : pas d'espace avant le point et la virgule, mais un espace après, un espace avant et après le point-virgule et le deux-points (règles françaises), pas de majuscule ou d'abréviation non justifiées.

Pour les auteurs, citez ici le nom et l'initiale du prénom.

Pour la pagination : première et dernière page précédées ou non de p.

p. 375 = seulement la page 375

p.375-381 ou 375-381 = pages 375 à 381

375 p. = document de 375 pages

1) Articles de périodiques

Si le nombre d'auteurs est supérieur à 3, ne citez que les 3 premiers suivis de « *et al.* ».

Si le ou les auteurs sont des auteurs personnes morales ou collectivités d'auteurs (par exemple : AFNOR...) citez-le ou les en tant qu'auteurs, mais en développant le sigle.

Si vous choisissez de reporter les titres des périodiques en abrégé, conformez-vous aux abréviations normalisées des revues scientifiques et choisissez de tout rédiger en abrégé ou de tout rédiger en développé dans la bibliographie.

Nom, Initiale du Prénom. (Année).Titre de l'article. Titre du périodique, vol. (n°), intervalle de pagination.

Exemple :

Logan, B. (2009). Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells. Nature Reviews, (7), 375-381.

Pour un article accessible en ligne :

Nom, Initiale du Prénom (Année). Titre de l'article. Titre du périodique [en ligne], vol. (n°), (date de la consultation) <URL>

2) Monographies, parties de monographies, collectivités auteur

- *Monographies*

Nom, Initiale du Prénom. (Année d'édition). Titre de l'ouvrage : sous titre. N ième édition. Ville d'édition: Editeur. numéro de vol., nombre de pages. (Nom de la collection ; n° dans la collection)

Exemples :

Ménard, C. (2004). L'économie des organisations. Paris : La Découverte. 123 p. (Repères)

Lefebvre, E., Pourcelot L. (1991) Echographie musculo-tendineuse. 2e éd. Paris : Masson, 133 p. (Collection d'imagerie radiologique)

- *Chapitre de monographies*

Nom, Initiale du Prénom de l'auteur du chapitre (Année). Titre du chapitre. In : Editeur(s) scientifique(s) de l'ouvrage (eds). Titre de l'ouvrage. Lieu d'édition : Editeur, intervalle de pagination.

Exemple:

D'Hauteville, F., Sirieix, L. (2007). Comprendre la consommation du vin en 2005. In : Couderc, J.P., Hannin, H., D'Hauteville, F. *et al.* (eds). Bacchus 2008. Paris : Dunod, 105-135

- *ouvrage collectif : ajouter une fonction d'éditeur*

Nom, Initiale du Prénom. fonction (Année d'édition). Titre de l'ouvrage : sous titre. N ième édition. Lieu de publication : Editeur, Pagination (Nom de la collection ; n° dans la collection)

Exemples :

Lemerle J. éd. (1989). Cancers de l'enfant. Paris : Flammarion, 676 p. (Encyclopédie des cancers ; 3)

Zuindeau, B. éd. (2010). Développement durable et territoire. Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion, 517p. (Environnement et société)

3) Thèses

- *Cas des thèses de doctorat d'université ou de mémoire de stage, format papier*

NOM, Initiale du Prénom. (Année). Titre de la thèse ou du mémoire. Type de document : Spécialité. Lieu de soutenance : Université de soutenance, nombre de pages.

Exemple :

Mainka, J. (2011). Impédance locale dans une pile à membrane H₂/air (PEMFC) Etudes théoriques et expérimentales. Thèse de doctorat d'université. Nancy : Université Henri Poincaré - Nancy 1, 315p.

Sidibe, Y. (2009). La tarification de l'eau d'irrigation. Mémoire Master Recherche : Agriculture, Alimentation et Développement Durable – A2D2. Montpellier : Montpellier SupAgro, 69 p.

- *Cas des thèses de doctorat électroniques*

NOM Initiale du Prénom. (Année). Titre de la thèse. [En ligne]. Discipline. Lieu de soutenance : Université de soutenance, année de soutenance. Disponible sur : URL (page consultée le jour/mois/année)

Exemple :

Gauthier C. Contribution à l'étude du fractionnement de l'aluminium libéré dans des solutions de sols forestiers : influence de la quantité et de la nature de la matière organique [En ligne]. Thèse de doctorat d'université. Limoges : Université de Limoges, 2003. Disponible sur <http://www.unilim.fr/theses/2002/sciences/2002limo0038/these.pdf>

4) La citation d'une communication à un congrès

Auteur(s) de la communication (Année). Titre de la communication. Titre de la conférence, organisateur de la conférence, date et lieu de la conférence, nombre de pages.

Exemple:

Aubert, M., Bouhsina, Z., Egg, J. *et al.* (2008). Substitution céréales locales -céréales importées et stabilisation du marché : une liaison impossible au Sahel? Colloque international : intégration des marchés et sécurité alimentaire dans les pays en développement, CERDI, 03-04/11/2008, Clermont-Ferrand (FRA), 15 p

5) Ressource internet

La citation d'un site web

NOM de l'auteur ou de l'organisme. Titre de la page d'accueil [en ligne]. (date de consultation du site). <URL>

Exemple:

AGRESTE. Recensement agricole 2000 [en ligne] (page consultée le 10/11/2009). <http://agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/recensement-agricole>

6) Brevets

AUTEUR (Inventeur). Titre du brevet. Numéro du brevet. Date du brevet.

Exemple :

Vandame, T. Composition pharmaceutique destinée à libérer une substance active au niveau du colon. Brevet FR0112988. 09-10-2001.

7. Consignes d'hygiène et sécurité

1- Des gants jetables seront fournis à tous les groupes, ainsi que des solutions bactéricides/fongicides pour le nettoyage des mains et des solutions d'alcool à 70° et d'eau de Javel pour le nettoyage du matériel de culture et des plans de travail. Des poubelles pour déchets organiques seront mises à votre disposition dans la pièce de stockage des photobioréacteurs. Vous êtes tenus de respecter les consignes d'asepsie qui vous seront communiquées ultérieurement.

2- Les outils tranchants et l'électroportatif (cutter, perceuse,...) ne doivent pas être utilisés seuls. Suivez les consignes données lors du premier APP.

3- Notez dans le cahier prévu à cet effet votre nom, votre groupe le jour et l'heure de l'emprunt et l'heure de retour du matériel électroportatif que vous empruntez.

4- Utilisez les lunettes de protection et un masque anti poussière si vous utilisez la perceuse-meuleuse Dremel.

5- Evitez de vous mettre de la colle sur la peau. Utilisez toujours la colle pour PVC dans un lieu bien ventilé. Cette colle contient des solvants très toxiques.

6- N'utilisez le chloroforme que sous une sorbonne et ne soyez jamais seul lorsque vous utilisez ce solvant. Demandez de l'aide à un.e enseignant.e avant la première utilisation.

7- Les photobioréacteurs contenant des micro-algues doivent être impérativement stockés dans le lieu prévu à cet effet et ne doivent pas en sortir (sauf éventuellement pour les soutenances).

8- L'accès au FabLab est réglementé (règlement dans la Charte des Etudiants).

8. Matériel fourni et disponible à l'institut

- Le matériel commun est accessible à tous les groupes. Tout emprunt d'outil électroportatif doit être consigné dans le cahier prévu à cet effet (heure de sortie, heure prévue de restitution, nom et coordonnées de l'emprunteur et de numéro de groupe).
- Chaque équipe reçoit une boîte à outil complète dont elle est responsable.



Tout outil manquant dans la boîte à outils à la fin du projet sera sanctionné par un point de moins sur la note finale de chaque étudiant de l'équipe.

- Matériel et outils disponibles pour l'ensemble des équipes :
 - Perceuse-meuleuse Dremel
 - Scie sauteuse
 - Perceuse
 - Fer à souder et étain

 - Masques anti poussières
 - Lunettes de protection
 - gants jetables

 - Papier abrasif

 - Eau déminéralisée et minérale

 - Microscopes
 - Cellules de Malassez
 - Spectrophotomètres

 - Colle pour plastique (attention produit toxique)
 - Colle cyanolyte
 - Mastic-colle d'étanchéité
 - Velcro

 - Electroportatif
 - Dremel - Perceuse de précision
 - DREMEL kit de perçage sans fil
 - Perceuse
 - Jeu de 10 forêts Métaux
 - Jeu de 8 forêts Bois
 - Visseuse sans fil BOSCH
 - Scie sauteuse avec fil BOSCH

- Matériel fourni pour la construction des photobioréacteurs

- 1 pompe à air à double sortie et débit réglable (2x 200l/h) par groupe de 6 étudiants
- 1 m de tuyau 4/6 mm par étudiant
- 1 diffuseur d'air par étudiant
- 1 clapet anti retour pour circuit air/CO₂
- 1 répartiteur d'air en métal à 3 sorties par étudiant
- 2 raccords pour tuyau 4/6 mm par étudiant



- 1 raccord droits pour tuyau 4/6 mm par étudiant
- 1 robinet pour tuyau 4/6 mm
- 1 filtre 0,2 µm par étudiant
- 1 tube néon T8 LUMIVIE 25W lumière spécial plantes par groupe de 6 étudiants
- 1 tube néon T8 LUMIVIE 25W lumière blanche par groupe de 6 étudiants
- 2 supports de néon T5 par groupe de 6 étudiants
- 1 prise programmable par groupe de 6 étudiants



9. Le cahier de laboratoire et le dossier d'archivage APP

Il s'agit ici de mettre en œuvre l'expérience acquise lors du premier APP.

Les enseignants demanderont les cahiers de laboratoire le jour des séances encadrées et ces derniers seront évalués.

○ Le cahier de laboratoire

A quoi sert un cahier de laboratoire ? Tout scientifique ou ingénieur tient à jour une documentation sur son travail de recherche sous la forme d'un document appelé « cahier de laboratoire » ou « cahier de labo ». Cette activité permet d'assurer un suivi chronologique des tâches techniques effectuées et des idées liées à l'exécution d'un projet. Le cahier est un outil indispensable pour le chercheur qui peut retrouver facilement les résultats de ces travaux et peut s'avérer un document légal important pour des questions relatives à la propriété intellectuelle.

Chaque équipe doit maintenir son propre cahier. Chaque étudiant peut évidemment avoir, en plus, un cahier individuel s'il le souhaite. Il est ainsi conseillé d'avoir un cahier de brouillon pour consigner rapidement les données et détails techniques (erreur, modification en temps réel, observation...) pendant l'expérience. Ces informations sont ensuite remises au propre dans le cahier de laboratoire.

Les enseignants du jury demanderont ces cahiers le jour de la présentation, il est donc important pour les étudiants d'y porter une attention particulière.

Contenu du cahier de laboratoire Le cahier de labo devra contenir toutes les idées de conception et tous les résultats expérimentaux générés lors du projet. Il peut ainsi contenir des tableaux, des dessins, des calculs, des graphiques, des diagrammes, des notes manuscrites, des notes de réunion, des copies de documents externes et des formulaires qui peuvent tous s'y retrouver directement ou sous forme de copie lorsqu'il s'agit d'une version papier (voir figures 1 et 2). De plus, il contiendra ici un relevé des temps passés sur les diverses activités documentées du projet.

La rédaction doit être partagée entre tous les membres de l'équipe. Il est demandé à chaque étudiant de signer clairement les pages dont il est responsable au fur et à mesure de leur rédaction.

Forme du cahier de laboratoire Dans le cadre de ce projet, le cahier collectif sera sous forme papier (fourni) dont les pages doivent être numérotées. Ce cahier collectif pourra *exceptionnellement et temporairement* être sous format numérique (Google Doc par exemple) accessible uniquement aux membres de l'équipe. Dans ce cas le texte pourra être imprimé et collé au fur et à mesure de la rédaction (pas à la fin du projet !).

Organisation du cahier La page de garde ainsi que la première page doivent contenir les informations relatives à l'équipe (ou à l'étudiant) propriétaire du cahier de labo. Le nom, le prénom, les coordonnées de chaque membre de l'équipe, le numéro de l'équipe et le titre du projet doivent figurer sur la page de garde. Les règles de fonctionnement convenues entre les membres de l'équipe lors du démarrage du projet doivent être inscrites sur la première page. Le cahier doit contenir ensuite une table des matières. Cette table des matières précise le numéro de la page où l'information signalée débute. Le but premier de cette table des matières est de faciliter la recherche

d'information dans le cahier, il faut donc la maintenir à jour dès le début et durant toute la durée du projet. Il est fortement conseillé aux étudiants qui utilisent une version papier de laisser des pages blanches au début du cahier afin de conserver la place nécessaire pour rédiger, au fur et à mesure, la table des matières. Les informations sont ajoutées régulièrement dans le cahier de façon chronologique. Les inscriptions doivent se faire en temps réel. Les dates doivent figurer sur chaque page pour aider le lecteur à suivre le déroulement du travail et lui permettent de naviguer facilement dans le cahier.

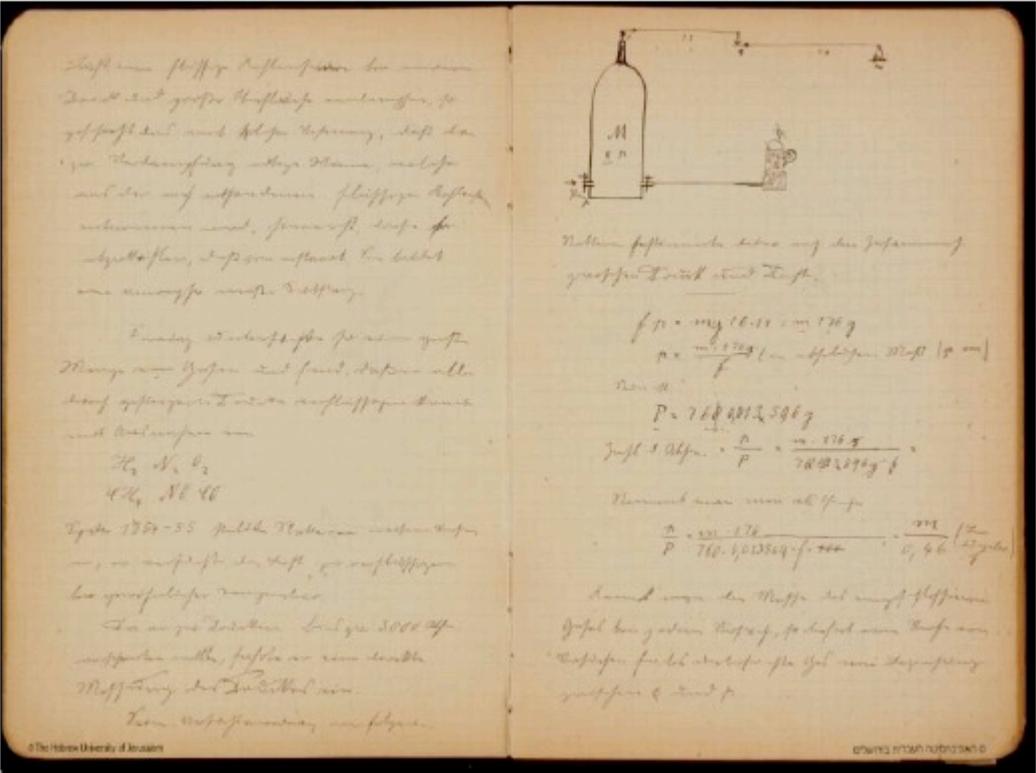


Figure 1 : une page du cahier de laboratoire d’Albert Einstein. Le cahier comporte du texte, des schémas et des calculs.

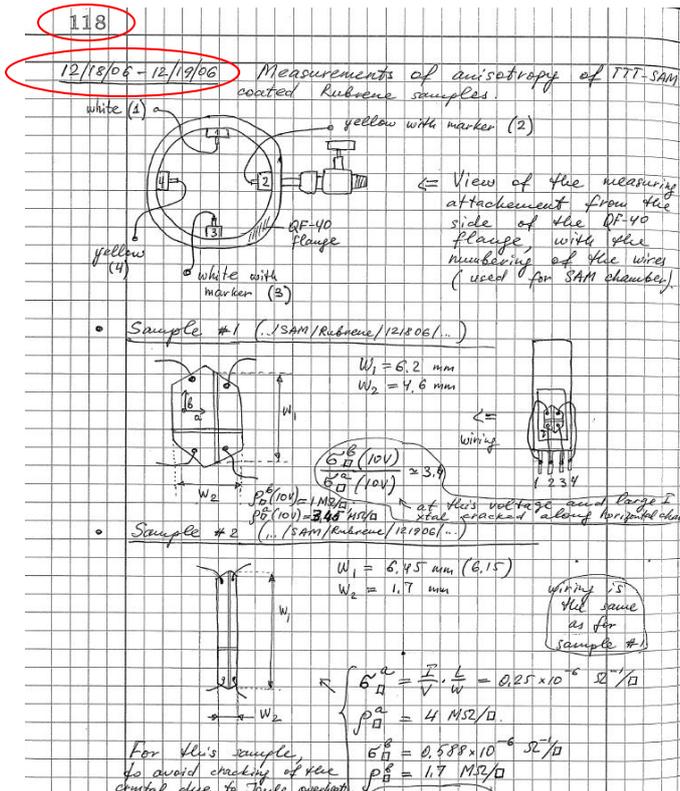


Figure 2 : une page d'un cahier de laboratoire classique. Cette page est numérotée et la date y est indiquée (cercles rouges). Elle comporte un titre, des dessins et des calculs.

o L'archivage des livrables des APP

Nous vous demandons à chacun d'archiver au fur et à mesure les différents livrables de son groupe de manière organisée dans un dossier approprié. Chaque étudiant doit être en mesure de fournir les différents livrables de son groupe et au temps T la dernière version d'un livrable en cours de construction. A la fin de l'APP, le dossier ne contiendra que les dernières versions de chaque livrable (rapport, diaporama, poster etc). Un contrôle sera réalisé par les enseignants durant la période d'APP.

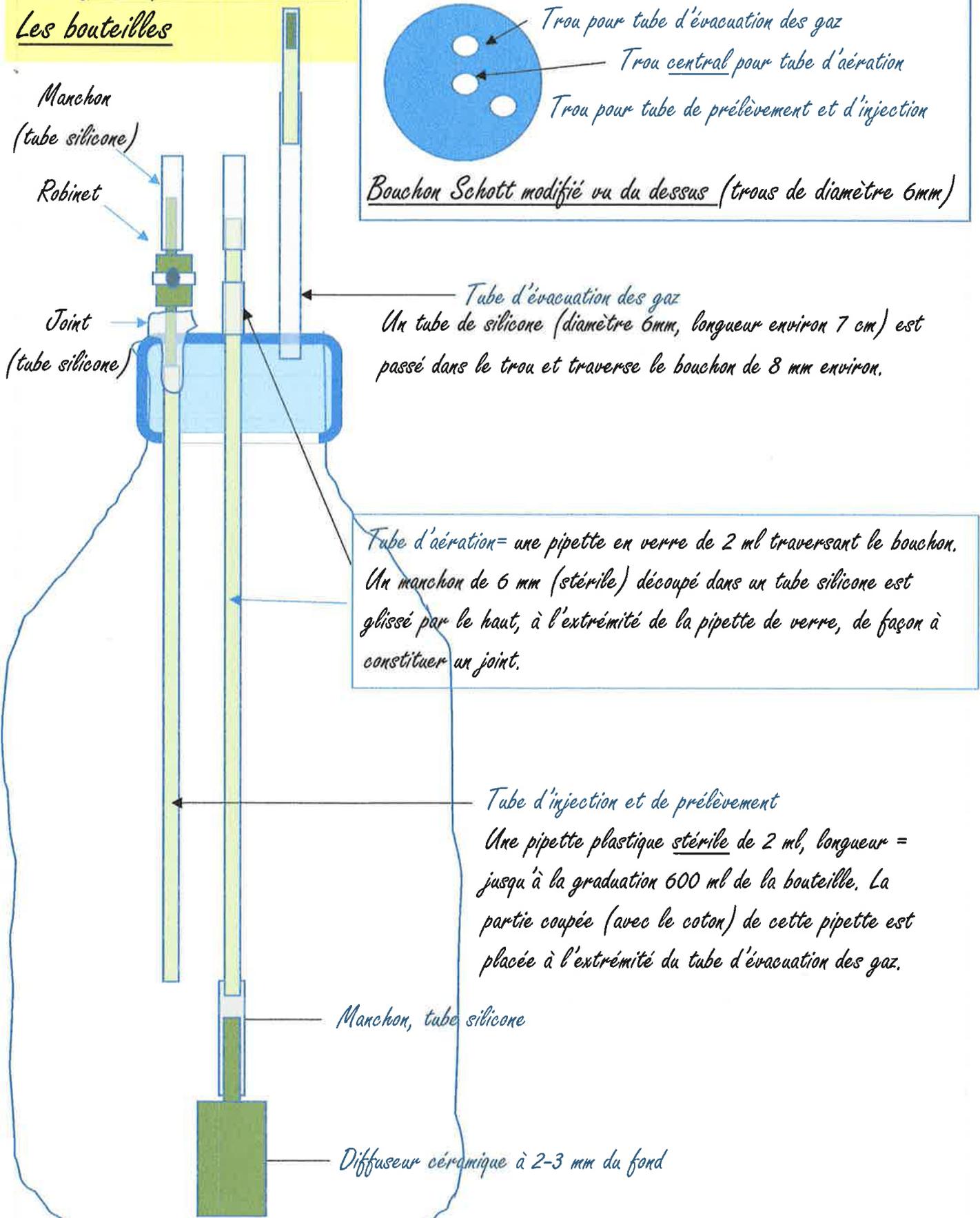
10. Consignes de montage des PBR de la Grande Expérience

Montage du photobioréacteur Thomas-Brouillard:Le matériel

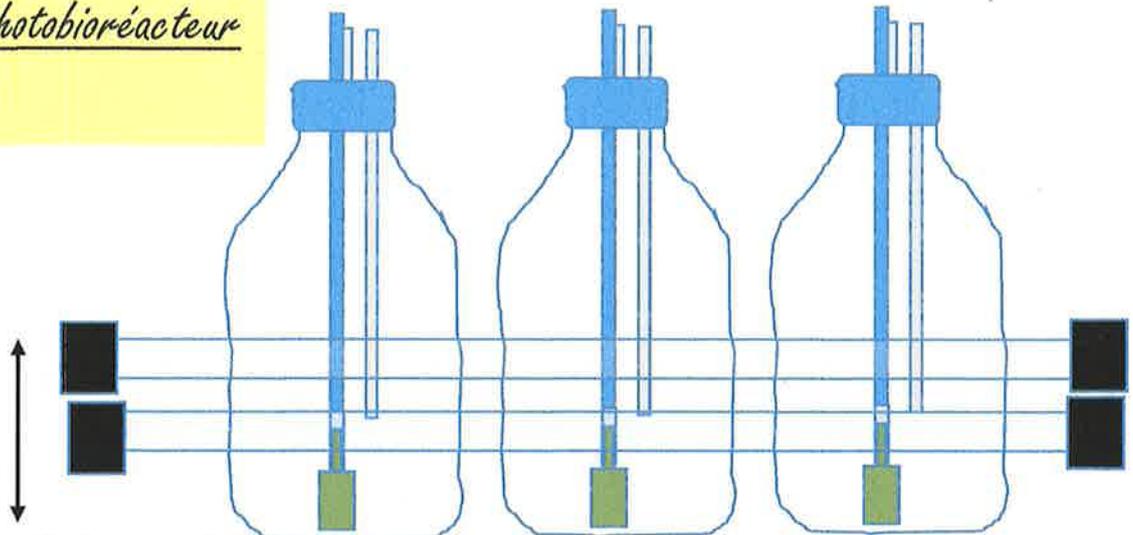
- 6 bouteilles Schott de 2 litres avec leurs bouchons en plastique
- 6 pipettes graduées de 2 ml, en verre
- 6 pipettes en plastique, sous emballage stérile
- 1 pompe à air SA 9000 OTTD à double sortie et débit réglable (2x 200l/h)
- 2-3 m de tuyau silicone diamètre 4/6 mm pour circuit d'air aquarium
- 6 diffuseurs d'air cylindriques en céramique, hauteur 5 cm
- 6 robinets en plastique pour tuyau 4/6 mm
- 6 filtres 0,2 µm
- 6 seringues stériles de 5 ml
- 2 répartiteurs 3 voies en inox
- 1 tube néon T8 LUMIVIE 25W lumière spécial plantes
- 1 tube néon T8 LUMIVIE 25W lumière blanche
- 1 Système Bloc QLD pour deux tubes T8 18/20 watts
- 1 prise programmable

Montage du photobioréacteur

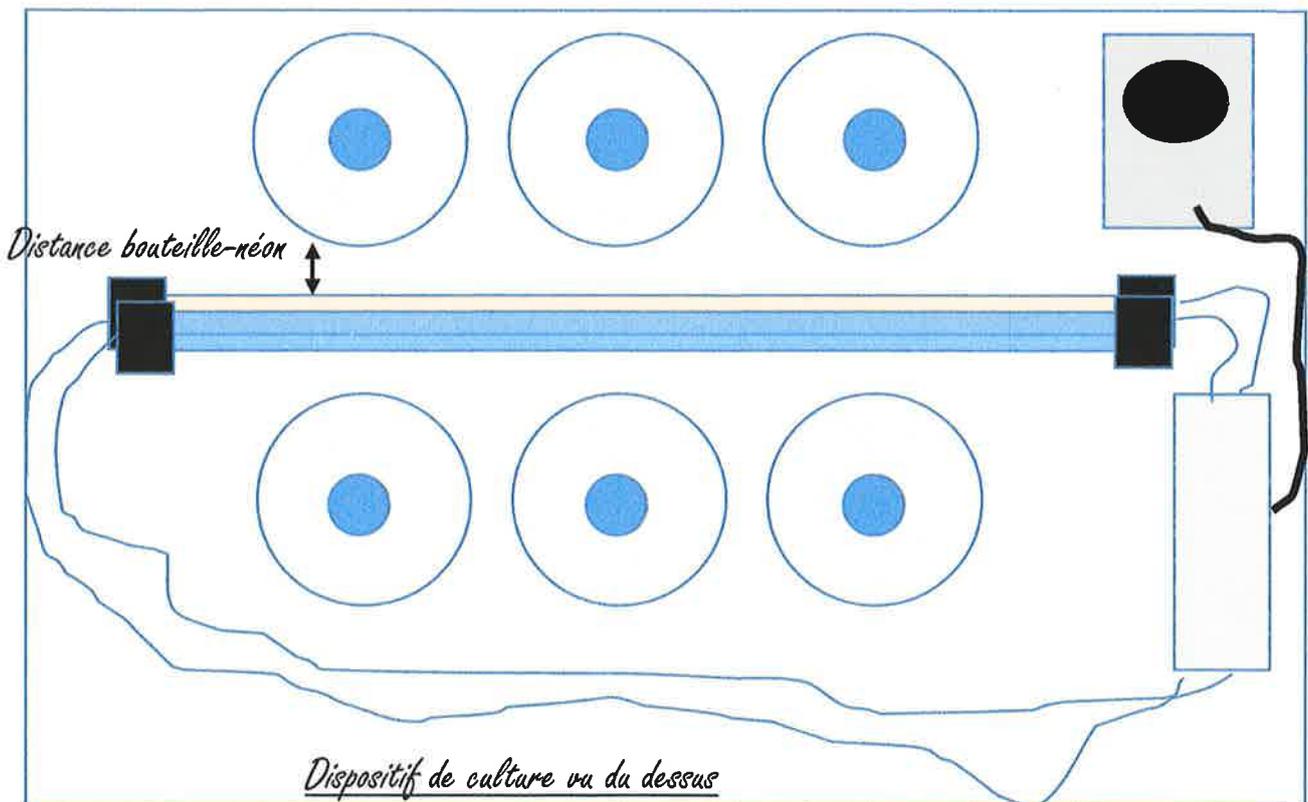
Les bouteilles



Montage du photobioréacteur
L'éclairage



Dispositif de culture, Vue latérale, néons en place



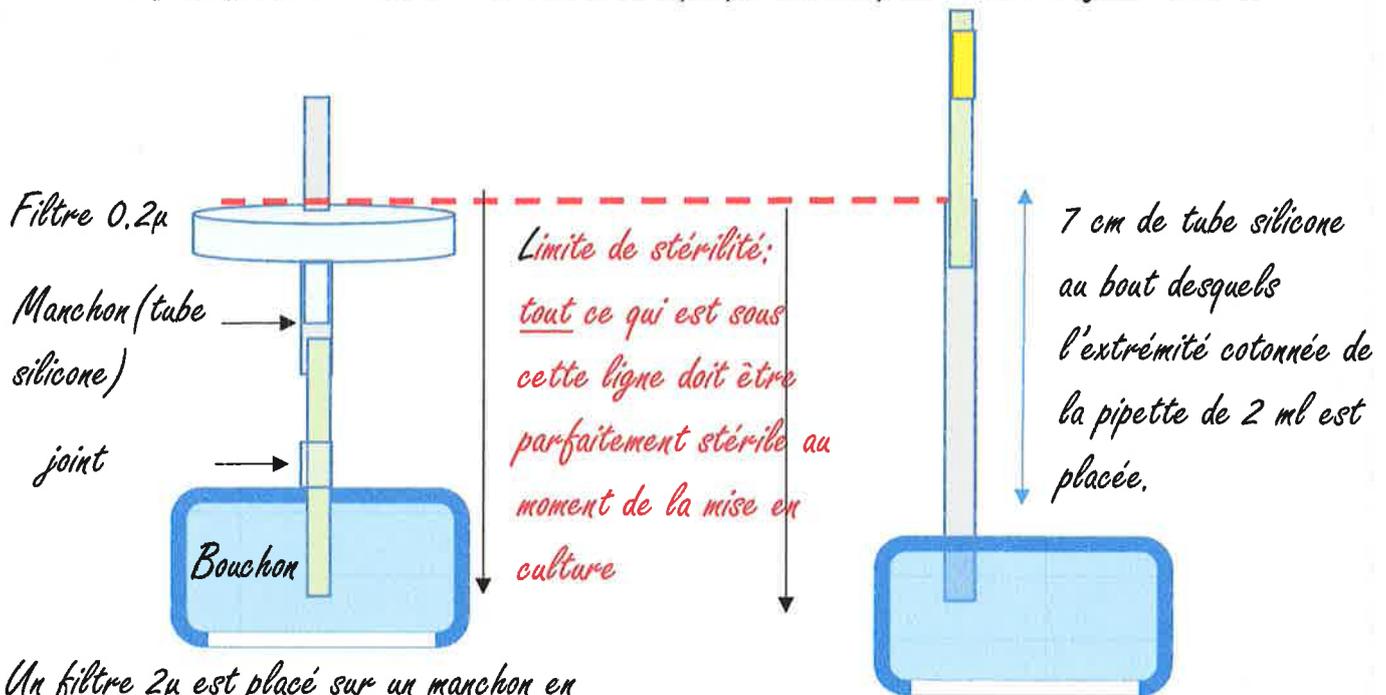
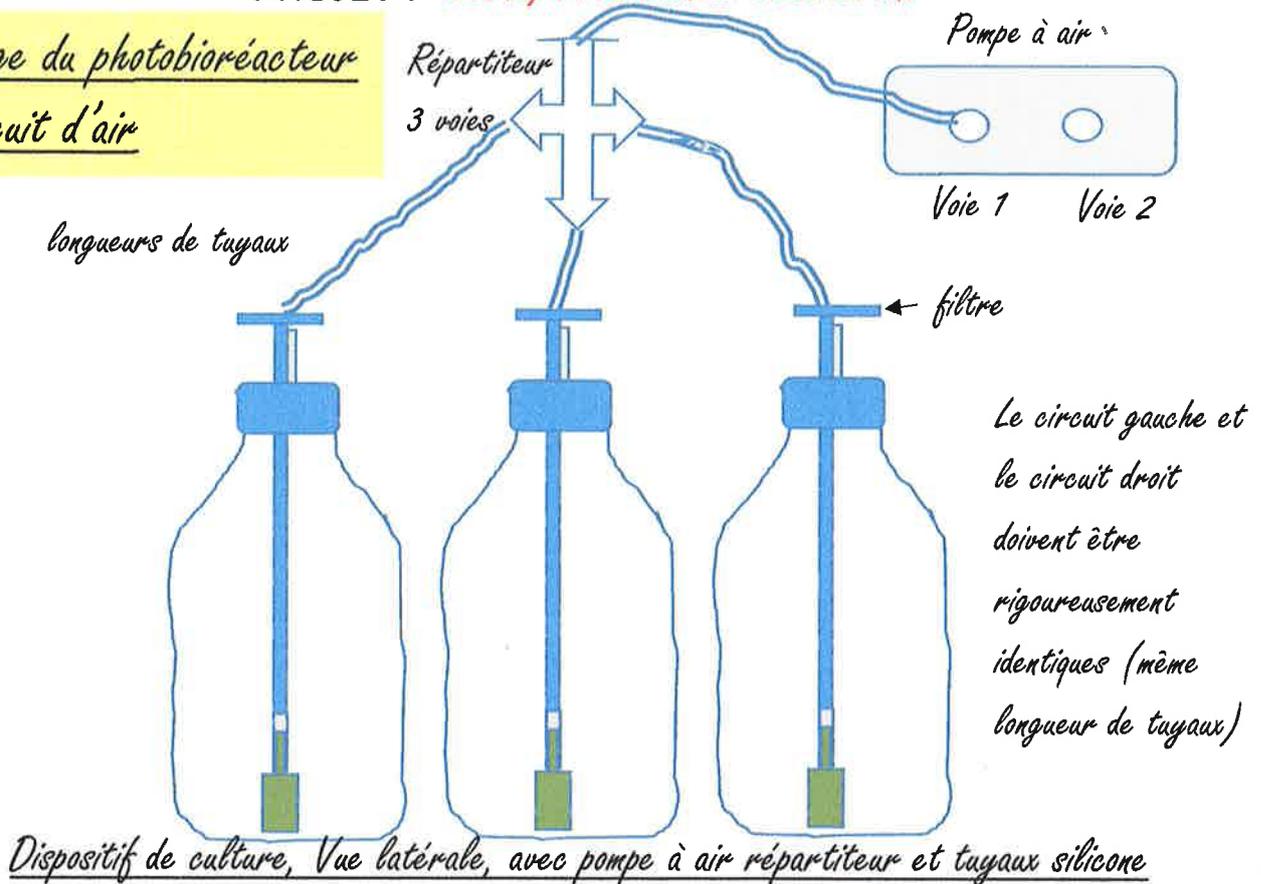
Dispositif de culture vu du dessus

Les néons sont superposés.

- Hauteur des néons : la partie supérieure du néon supérieur doit être au niveau de la surface du liquide
- Distance bouteille-néon: cette distance est déterminée par l'intensité lumineuse arrivant sur la surface du verre de la bouteille: $100 \mu\text{mol de photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$

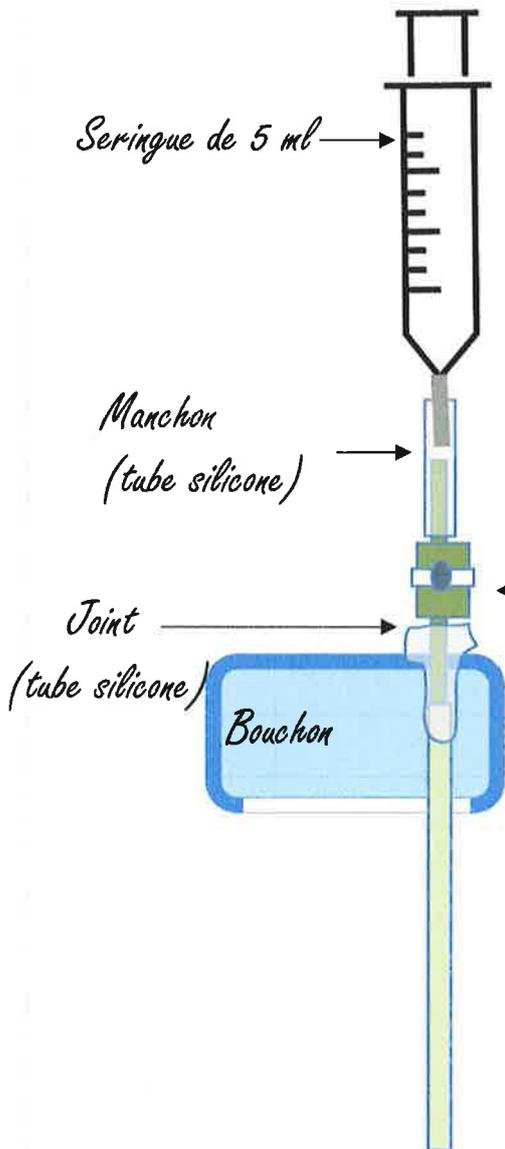
Le boîtier d'allumage des néons T8 est branché sur une prise à minuteur. Cette dernière est elle-même branchée au secteur.

Montage du photobioréacteur
Le circuit d'air



Un filtre 2µ est placé sur un manchon en silicone à l'extrémité du tube d'aération. L'air entrant dans le réacteur est ainsi stérile. Attention, effectuer cette opération avant la mise en culture de l'inoculum et dans une zone stérile.

Le bouchon de coton stérile (bout de pipette) prévient l'entrée des germes dans la culture. Attention, le gaz doit passer.

Montage du photobioréacteur Thomas-BrouillardLe tube de prélèvement

La seringue permet de prélever des échantillons de la culture ou d'injecter des réactifs dans le milieu de culture.

Robinet : enfoncé à travers l'épaisseur du bouchon dans un tube silicone de 2-3 cm passant lui-même à travers le bouchon. Dans sa partie supérieure, le manchon (5-6mm) doit s'écraser pour faire office de joint. De l'autre côté du bouchon, le manchon reçoit l'extrémité d'une pipette de 2 ml (stérile) coupée de façon à plonger jusqu'à la graduation 600 ml de la bouteille.