M6B2 : PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Etude de la croissance de l'appareil caulinaire et racinaire de végétaux cultivés en tubes

Sommaire

1. Présentation de l'étude ..... - 3 -
2. Objectifs de l'étude ..... - 3 -
3. Matériels ..... - 3 -
3.1. Support de culture : les tubes ..... - 3 -
3.2. Substrat de culture ..... - 4 -
3.2.1. Substrat 1 : ..... - 4 -
3.2.2. Substrat 2 : ..... - 4 -
3.3. Espèces testées ..... - 4 -
3.4. Appareillage de mesure ..... - 4 -
3.4.1. Mesure de la température ..... - 4 -
3.4.2. Système d'arrosage ..... - 5 -
3.5. Récapitulatif du matériel nécessaire ..... - 5 -
4. Méthodes ..... - 5 -
4.1. Facteurs et variables de l'étude ..... - 5 -
4.2. Modes de culture ..... - 6 -
4.2.1. Culture en tubes inox hors sol ..... - 6 -
4.2.2. Culture témoin ..... - 6 -
4.3 Résumé du protocole expérimental ..... - 6 -
4.3.1. Une espèce testée pour les 2 substrats dans les 2 conditions de culture ..... - 6 -
4.3.2. Deux autres espèces testées pour 1 substrat dans les 2 conditions de culture ..... - 6 -
5. Suivi ..... - 7 -
Annexe 1 : espèces envisagées ..... - 8 -
Annexe 2 : schéma des tubes ..... - 9 -

1. Présentation de l'étude

La présente étude a pour objet de définir les modalités du suivi scientifique concernant l'évolution du système caulinaire et racinaire de végétaux plantés au sein de tubes de culture spécifiques, en vue de leur mise en œuvre en façade bâtie sur un immeuble de 50 mètres de hauteur environ (soit 15 niveaux).

L'expérimentation sera menée sur le site de l'Ecole Du Breuil, dans le 12ème arrondissement de Paris, et sera encadré par le directeur de l'école Du Breuil et le responsable du jardin botanique de la Ville de Paris. Le suivi scientifique et son exploitation sera établi par un étudiant en licence professionnelle, encadré par l'équipe pédagogique.
L'expérimentation s'effectuera sur différents végétaux présélectionnés dans le cadre du projet. Ils seront mis en culture dans les tubes à un stade de développement primaire (plants forestiers).

Le suivi expérimental débutera dès réception de l'intégralité du matériel nécessaire sur le site de l'école Du Breuil.

Le système de culture en tube inox testé dans ce protocole est la propriété exclusive d'Edouard François. Les résultats de l'expérimentation pourront être exploités à titre non commercial par la Ville de Paris en mentionnant le nom d'Edouard François.

2. Objectifs de l'étude

L'hypothèse suivante sera testée : « La culture en tube métallique hors sol n'a pas d'impact négatif significatif sur le développement des espèces expérimentées ».

Une espèce sera expérimentée sur deux substrats différents, l'un dit « substrat 1 », l'autre dit « substrat 2 » ; deux autres espèces seront expérimentées sur le « substrat 2 ».

Pour effectuer ce test, les critères suivants seront utilisés :

1. la croissance de l'appareil caulinaire évaluée par des mesures régulières de la hauteur des tiges principales et éventuellement le nombre et la hauteur des tiges secondaires;

2. la croissance de l'appareil racinaire évaluée par la masse racinaire (poids de matière fraîche), la différence du volume racinaire entre le début et la fin de l'expérimentation ainsi que par la mesure de la profondeur maximale d'exploration des racines.

3. Matériels

3.1. Support de culture : les tubes

Les tubes de culture test sont des tubes en acier inoxydable de section 0,25m (diamètre interne), pour une hauteur de 3,50m, sans isolation interne. Ils seront au nombre de 30 et présenteront un exutoire à 0,70cm en partant du bas du tube, pour former une réserve d'eau.

Les tubes de culture témoin sont des tubes PVC de 0,25m de diamètre sur 3,50m de hauteur. Ils seront entièrement enterrés et l'évacuation de l'eau se fera par le bas ainsi que par des découpes longitudinales. L'intérieur sera tapissé d'un feutre géotextile qui garantira un volume d'exploration racinaire identique aux tubes métalliques hors sol.

Les tubes seront fournis à l'école Du Breuil par la régie de Paris Habitat OPH dans le cadre du marché de la tour M6B2, selon le descriptif du maître d'œuvre. Ils seront ensuite mis en place sur le site par l'école Du Breuil.

3.2. Substrat de culture

3.2.1. Substrat 1 :

La composition en pourcentages volumétriques du mélange drainant est la suivante :

- 60% de sable de rivière non coquillé type sable de Loire
- 25% de terre végétale argilo siliceuse
- 15% de compost ou terreau de feuille

3.2.2. Substrat 2 :

La composition en pourcentages volumétriques du mélange neutre est la suivante :

- 40-60% de Calcaire dur non gélif (type Comblanchien) concassé 0/20 mm,
- 25-40% de terre végétale limoneuse exempte de calcaire,
- 25% d'Hortifibre ® ou équivalent.

Les différents substrats devront avoir un pH compris entre 6,5 et 7.5. Ils devront également être identiques pour les plants testés et leurs témoins associés. Les pourcentages utilisés durant l'expérimentation seront déterminés après des essais préliminaires de texture.
La fourniture et la mise en œuvre des substrats seront à la charge de l'Ecole Du Breuil.

3.3. Espèces testées

Trois espèces seront testées. Une première que l'on qualifiera de « majoritaire » car elle sera représenté plus significativement sur l'immeuble, ainsi que deux espèces dites « minoritaires ».

L'espèce dite «majoritaire » sera :

- *Prunus mahaleb*
- ou *Amelanchier ovalis* si difficulté d'approvisionnement en graines pour *Prunus mahaleb*.

Les espèces dites « minoritaires » seront :

- 1ère espèce dite « minoritaire » *Lonicera periclymenum*
- 2ème espèce dite « minoritaire » *Pinus sylvestris*

Les espèces proposées pourront être remplacées en cas d'indisponibilité par d'autres taxons du corpus d'espèces arrêté pour le projet, et ce après concertation avec le maître d'œuvre.

Les végétaux seront plantés dans les tubes à l'état de jeunes plants. On veillera à ce que les plantes d'une même espèce soient plantées dans un état physiologique identique (âge, dimensions), que ce soit dans les tubes inox ou en « pleine terre ».

La fourniture et la mise en œuvre seront à la charge de l'Ecole Du Breuil.

3.4. Appareillage de mesure

3.4.1. Mesure de la température

Les thermomètres seront des thermomètres à deux sondes numériques.
Pour les tubes dont la température sera suivie, 2 mesures seront relevées : l'une au centre du tube à 1m à partir du bas du tube, l'autre toujours au centre à 3 m à partir du bas du tube.

On relèvera la température de 10 tubes :

- 3 métalliques hors sol avec le 1er substrat,
- 2 PVC en terre avec le 1er substrat,
- 3 métalliques hors sol avec le 2nd substrat,
- 2 PVC en terre avec le 2nd substrat.

Les sondes thermiques devront être reliées aux thermomètres par des connexions d'une longueur suffisante pour prendre en compte, d'une part, la distance entre les points de mesure dans un tube ; et d'autre part, l'enfoncement des tubes témoins (la sonde la plus basse sera à 2,50 m sous terre dans le cas des plants témoins).

La mise en œuvre sera à la charge de l'Ecole Du Breuil.

3.4.2. Système d'arrosage

Le principe de système d'arrosage en goutte à goutte devrait comprendre :

- Canalisations : tuyaux de goutte à goutte DN 16 auto-régulant de 2,2 l/h ;
- Canalisations : tuyaux PEHD Ø 32 mm bande blanche 10 bars ;
- Electrovannes 1 '' – 24 volts
- Programmateurs à pile
- Filtres 100 microns
- Réducteurs-régulateur de pression 1''
- Regards rectangulaire plastique pour électrovannes avec couvercle et rehausse si nécessaire.

Le système d'arrosage définitif à mettre en œuvre sera précisément décrit par le MOE avant le début d'exécution du protocole afin que l'expérimentation se fasse dans les mêmes conditions.

La mise en œuvre sera à la charge de l'Ecole Du Breuil.
Le branchement et la fourniture en eau seront à la charge de l'Ecole Du Breuil.

3.5. Récapitulatif du matériel nécessaire

- Trente (30) tubes en acier inoxydable de 2mm d'épaisseur, de hauteur 350cm et de DN interne 25cm
  Répartis en 2 lots de 16 et 14 en fonction des facteurs étudiés.
- Trente (30) tube en PVC de hauteur 350cm et de DN interne 25cm pour installation des témoins en pleine terre
- Deux (2) substrats de plantation pour les 60 tubes acier inox ou PVC (42 remplis de substrat neutre, 16 de substrat drainant), à la charge de l'école Du Breuil
- Soixante (60) végétaux chasmophytes à l'état de jeunes plants, comprenant 32 pieds de l'espèce dite « majoritaire » (*Prunus mahaleb* ou autre espèce chasmophyte), ainsi que 14 pieds de la 1ère espèce « minoritaire » (*Lonicera periclymenum* ou autre espèce chasmophyte) et 14 pieds de la 2nde espèce « minoritaire » (*Pinus sylvestris* ou autre espèce chasmophyte)
- Dix (10) thermomètres à deux sondes, relevant automatiquement la température du substrat tous les jours à 14h00, sur deux points différents
- Système d'arrosage par goutte à goutte selon le descriptif du maître d'œuvre

4. Méthodes

4.1. Facteurs et variables de l'étude

Les facteurs suivants seront testés :

- la culture en tube en métal inoxydable placé hors sol comparée à la culture des plants témoins placés en pleine terre dans un substrat identique et disposant d'un volume d'exploration racinaire identique ;

- les 2 substrats de culture

Les variables suivantes seront mesurées lors de l'expérimentation chez les plants en tubes hors sol et chez les témoins :

- la température du substrat au centre du tube à 2 hauteurs différentes ;
- la hauteur de la tige principale et, éventuellement le nombre et la hauteur des tiges secondaires ;
- la masse, le volume et la profondeur d'exploration de l'appareil racinaire.

4.2. Modes de culture

4.2.1. Culture en tubes inox hors sol

L'emplacement des tubes inox devra être dans la mesure du possible, en plein soleil (là où les variations thermiques sont les plus importantes), et une situation exposée au vent sera préférée.

4.2.2. Culture témoin

Les plants témoins seront plantés en pleine terre, dans un tube de PVC de 25cm de diamètre et de 3.5m de hauteur entièrement enterré, et contenant le même mélange. Le tube PVC disposera sur toute sa longueur d'ouïes de drainage et sera garni sur sa face intérieure d'un géotextile non tissé visant à limiter le volume potentiel d'exploration racinaire à un volume exactement identique à celui des tubes inox hors sol.
Les plants témoins seront dans les mêmes conditions d'ensoleillement et d'arrosage que les plants en tube inox.

4.3. Résumé du protocole expérimental

4.3.1. Une espèce testée pour les 2 substrats dans les 2 conditions de culture

32 pieds de l'espèce dite majoritaire (*Prunus mahaleb* ou autre espèce chasmophyte) répartis également dans les 4 conditions suivantes :

- 8 testés en tubes inox hors sol avec le substrat 1
- 8 témoins en tube PVC en pleine terre avec le substrat 1,
- 8 testés en tubes inox hors sol avec le substrat 2,
- 8 témoins en tube PVC en pleine terre avec le substrat 2.

Pour l'espèce dite « majoritaire », chaque condition est donc répétée 8 fois.

4.3.2. Deux autres espèces testées pour 1 substrat dans les 2 conditions de culture

14 pieds de la 1ère espèce dite « minoritaire » (*Lonicera periclymenum* ou autre espèce chasmophyte) répartis également dans les 2 conditions suivantes :

- 7 testés en tubes inox hors sol avec le substrat 1
- 7 témoins en tube PVC en pleine terre avec le substrat 1,

14 pieds de la 2nde espèce dite « minoritaire » (*Pinus sylvestris* ou autre espèce chasmophyte) répartis également dans les 2 conditions suivantes :

- 7 testés en tubes inox hors sol avec le substrat 1,
- 7 témoins en tube PVC en pleine terre avec le substrat 1,

Pour les espèces dites « minoritaires », chaque condition est donc répétée 7 fois.

Culture	**Dans du substrat « neutre »**	**Dans du substrat « drainant »**
Dans un tube inox hors-sol	8 *Prunus mahaleb* (2 points de température par tube) 7 *Lonicera periclymenum** 7 *Pinus sylvestris**	8 *Prunus mahaleb* (2 points de température par tube)
Dans un tube témoin PVC pleine terre	8 *Prunus mahaleb* (2 points de température par tube) 7 *Lonicera periclymenum** 7 *Pinus sylvestris**	8 *Prunus mahaleb* (2 points de température par tube)

* Pas de mesures de température

5. Suivi

L'expérimentation sera mise en œuvre pendant une année, reconductible avec accord des différentes parties pour une période maximale de 3 ans.

Le suivi comprendra les opérations suivantes :

1. La tige principale et, éventuellement celles secondaires seront mesurées tous les 15 jours pendant la saison de végétation pour étudier de la croissance aérienne des plants.

2. Les températures des substrats seront relevées automatiquement tous les jours à 14h00, sur deux points prédéfinis.

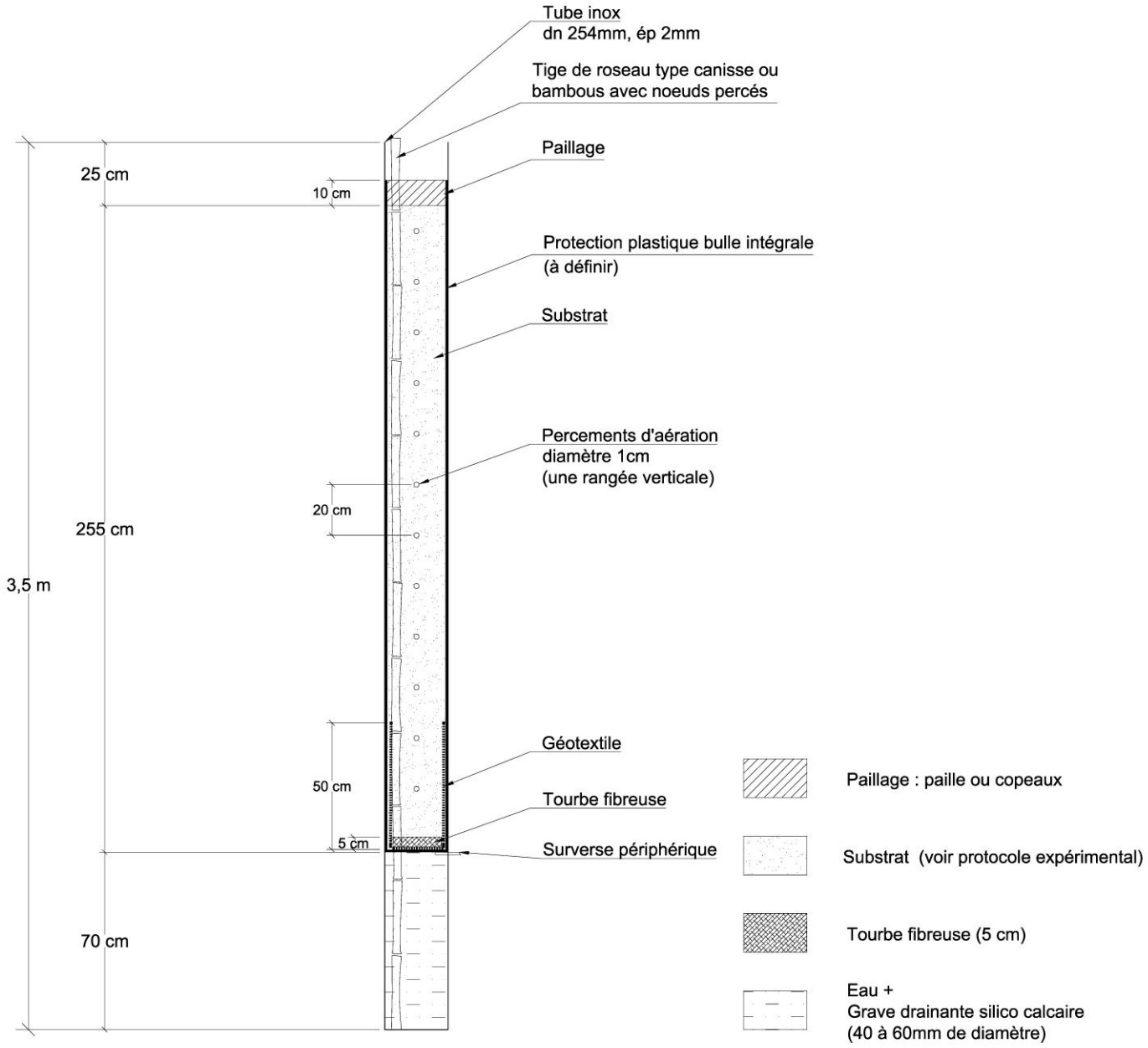
Ces résultats seront régulièrement communiqués à Edouard François.

A la fin de la modélisation, la profondeur maximale d'exploration racinaire sera alors évaluée puis, après nettoyage des racines à l'eau claire, la masse fraîche et le volume racinaire seront mesurées pour analyser la croissance souterraine des plants (à la charge de l'école Du Breuil).

Annexe 1 : espèces envisagées

Acer campestre
Acer opalus spp tomentosum
Acer monspessulanum
Amelanchier ovalis
Arctostaphyllos Uva-ursi
Centranthus ruber
Coluthea arborescens
Cornus mas
Cornus sanguinea
Crataegus monogyna
Euonymus europaeus
Fagus sylvatica
Fraxinus excelsior
Genista tinctoria
Hedera helix
Ilex aquifolium
Juniperus communis
Ligustrum vulgare
Lonicera alpigena
Lonicera alpigena spp alpigena
Lonicera implexa
Lonicera xylosteum
Malus sylvestris
Mespilus germanica
Pinus nigra (exposition nord)
Polygonum aubertii
Prunus mahaleb
Prunus spinosa
Quercus robur
Quercus cerris (exposition est)
Quercus ilex
Ribes alpinum
Rhamnus alaternus
Rhamnus alpinus
Rhamnus catharticus
Rhamnus saxatilis spp saxatilis
Rhododendron
Sorbus domestiqua
Sorbus torminalis
Sorbus chamaemespilus
Viburnum lantana
Viburnum tinus
Wisteria sinensis

Annexe 2 : schéma des tubes



Annexe 3 : Notice arrosage automatique intégré

1. GENERALITE

Pour permettre un apport d'eau dans les tubes de plantations de ø250mm d'une hauteur de 2,5m, un goutte à goutte sera mis en place au centre des tubes de plantations. Le goutte à goutte aura des goutteurs intégrés autorégulants espacés tous les 30cm. Le débit des goutteurs est de 1.6l/h. Le goutte à goutte est de type Unitechline. Les goutteurs permettent d'éviter la pénétration des racines dans le goutte à goutte et ont un système anti-siphon.

Un goutteur complémentaire de 8l/h sera installé à la partie supérieure du tube de plantations et sous le paillage. Ce goutteur sera autorégulant. Il sera de type Techflow Junior.

Des essais avec des goutteurs Techflow d'un débit de 24l/h seront à réaliser sur certains tubes de plantations ainsi que des goutteurs Techflow junior de 4l/h.

Goutte à goutte Unitechline

Goutteur Techflow Junior

2.INSTALLATION

Le protocole d'essai sera composé de 30 tubes espacés de 2m. Les implantations de ces tubes formeront un carré.

L'ensemble des tubes de plantations du protocole d'essai sera géré par un réseau d'arrosage alimentant l'ensemble des tubes. Un filtre à lamelle 1" de 130µ et un régulateur de pression seront installés après la vanne électrique. La vanne électrique sera à régulation de débit et d'une section en 1". Elle sera de type ICV. Cette vanne électrique sera installée dans un regard rectangulaire 12" en pleine terre. Un programmateur à piles permettra le déclenchement du réseau en automatique.

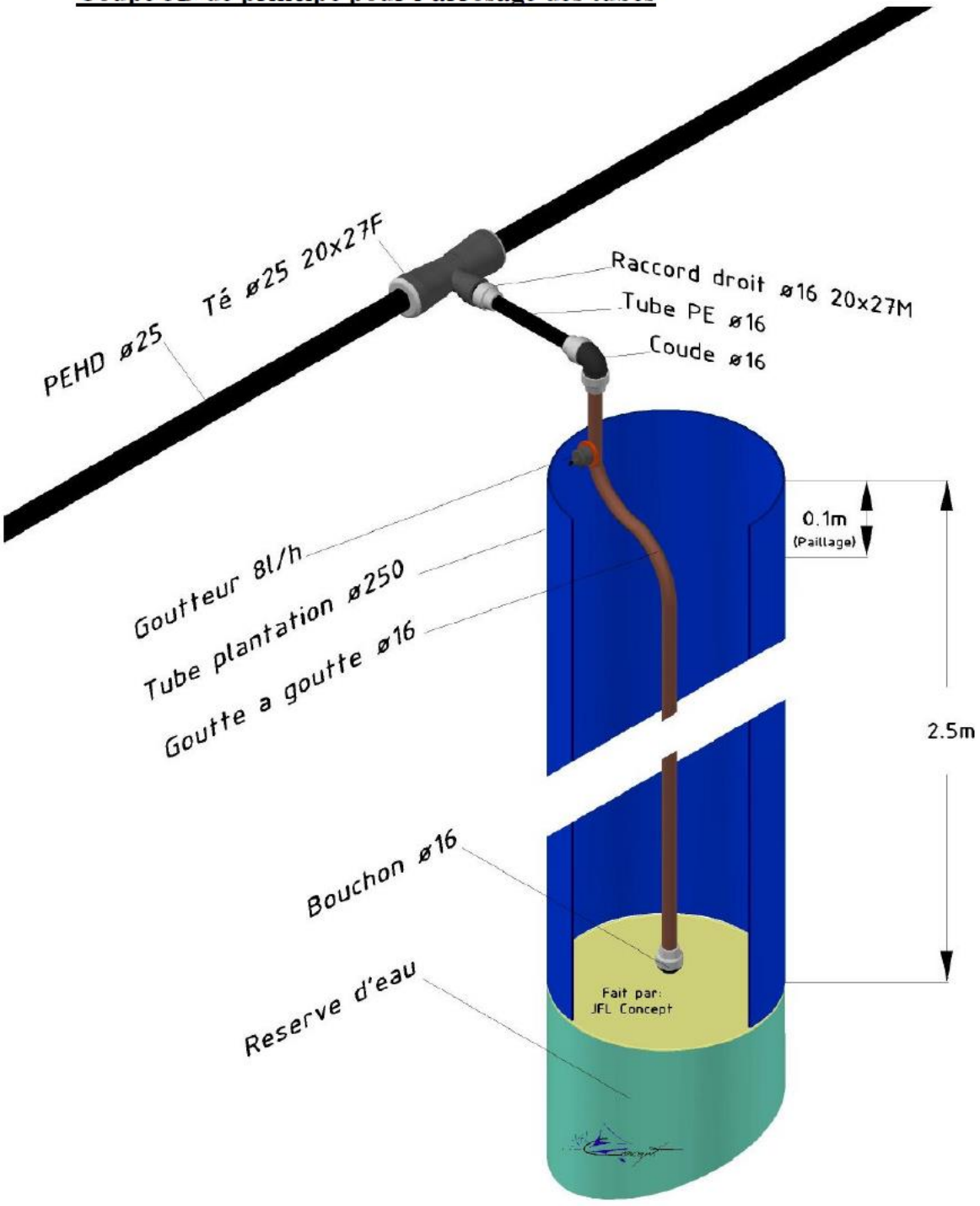
Une canalisation PEHD diamètre 25mm alimentera les tubes. Une antenne en PEHD ø16mm sera installée et permettra le raccordement du goutte à goutte de type Unitechline.

Le goutteur complémentaire sera branché sur le goutte à goutte.

Les raccords qui seront utilisés pour les antennes ø25 vers les canalisations ø16 seront de type Plasson Série 1. Ils permettent d'avoir des dimensions inférieures aux raccords à compression standard et seront identique que sur le projet M6B2.

Lors de la mise en place du mélange terreux, une coordination pour la mise en place du goutte à goutte est impérative. Le goutte à goutte devra être implanté au centre du tube de plantation afin d'avoir une homogénéisation d'humidité du substrat.

Coupe 3D de principe pour l'arrosage des tubes



3. SUIVI DU PROTOCOLE

Après l'installation, une vérification régulière de la programmation sera à réaliser afin de maintenir une humidité dans le substrat.

Une gestion de la programmation sera nécessaire afin que le mélange terreux soit toujours dans une plage de RFU (Réserve Facilement Utilisable).

Les temps d'arrosage seront variables et seront réajustés suivant les besoins en eau et les ETP (Evapo-Transpiration Potentiel).

Suivant les résultats, des tests avec des goutteurs Techflow de 24l/h pourront être réalisés. Ils remplaceront les goutteurs de 8 l/h installés en partie supérieure des tubes de plantations. Des essais avec des goutteurs Techflow Junior de 4l/h seront également à réaliser.

La variation du débit pourra permettre de faire varier les apports d'eau et permettra d'intervenir sur les facteurs d'expositions des tubes et des besoins.

4. LISTE DE MATERIEL D'ARROSAGE

Voici une liste de matériel nécessaires pour le protocole d'essai.

Désignation	Unité	Quantité	Prix U.	Prix Total
Canalisation PEHD 25 (10 bars) - 50ml	u	2		
Canalisation PE 16 (4bars) - 25ml	u	2		
Raccord à compression Plasson				
Coude ø 25	u	5		
Té ø 25	u	2		
Raccord droit ø25 fileté 1"	u	3		
Raccord droit ø25 fileté 3/4"	u	2		
Raccord Plasson Serie1				
Raccord droit ø25 fil 1"	u	3		
Raccord droit ø25 fil 3/4"	u	2		
Té ø25 taraudé 3/4"	u	40		
Bouchon ø25	u	2		
Goutteur techflow junior 8l/h	u	40		
Goutteur techflow junior 4l/h	u	20		
Goutteur techflow 24l/h	u	20		
Goutte à goutte - Unitechline - 1,6l/h-30cm - 50ml	u	3		
Raccord droit Goutte à goutte ø16 fil. 3/4" avec bague de serrage	u	40		
Coude Goutte à goutte ø 16mm avec bague de serrage	u	80		
Bouchon goutte à goutte ø 16mm avec bague de serrage	u	40		
Programmateur T.BOSS ou similaire	u	1		
Console T.BOSS Radio ou similaire	u	1		
Boitier Radio T.Boss ou similaire	u	1		
Pile 9 volts	u	3		
Vanne 1/4 de tour 1" (FF)	u			
Electrovanne ICV 1" + solénoides impulsions (9volts)	u	1		
Régulateur de pression tar. 3/4" – 3,0 bars	u	1		
Filtre à lamelle Arkal 1" - 130µ	u	1		
Mamelon 1" PVC	u	6		
Mamelon réduit 1"x3/4" PVC	u	2		
Union droite FF tar. 1" - 3 pièces (PVC)	u	4		
Manchon polypro 1"	u	2		
Connexion étanche DBM	u	5		
Regard Jumbo + Rehausse	u	1		
Téflon PRO (largeur 19mm) - Rouleau	u	10		
Montant Total HT				
TVA 19,6%				
Montant Total TTC				