

ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE MONTPELLIER

Stage d'élève-ingénieur Département Sciences et Technologies de l'Eau

ANNÉE 2020-2021

*Étude de la valorisation des eaux grises et des urines
pour l'arrosage d'un mur végétal*



Boudoire Nolwenn

*Sophie Allebone - Webb
Marc Heran*



Résumé

La valorisation des urines et des eaux grises pour l'arrosage d'un mur végétal nécessite de respecter les normes, ainsi il est important d'avoir un bon système de traitement et de pouvoir vérifier le bon fonctionnement du système. Pour cela, nous avons optimisé l'élément principal de notre procédé de traitement : le filtre à sable. Les campagnes d'analyses des eaux grises n'étant pas terminées, il n'est pas encore possible de conclure à un bon fonctionnement du système mais différents résultats d'abattement sur le filtre à sable et le stérilisateur UV sont encourageants. Pour ce qui est des urines, le stockage n'indique pas pour le moment de baisse des pathogènes mais les 6 mois de stockages recommandés par l'OMS n'ont pas encore été effectués. D'autres pistes pour la stérilisation des urines sont tout de même envisagées. Les expériences sur les paramètres d'influence du pH de l'urine ont permis de conclure à une forte influence de la température ce qui va nous permettre de mettre en place de nouveaux tests pour la stérilisation de l'urine pour mieux comprendre ces variations de pH. D'autres expériences ont été menées sur la capacité de phytoépuration du mur végétal et elles sont elles aussi assez encourageantes puisqu'elles montrent un abattement de presque tous les paramètres mais elles montrent aussi l'accumulation dans le mur de certaines substances comme les nitrates. Enfin, pour ce qui est de la réalisation du mur de Casalez, différents outils commencent à être installés pour permettre un changement d'échelle et une automatisation de la réalisation des cages.

The use of urine and grey water to irrigate living walls needs to follow reglementary standards. For this reason, this is important to have a good, well-monitored treatment system. We aimed to optimize one of the mains elements of our treatment process: the sand filter. Because the grey water analyses are not complete, we can't yet give definitive conclusions on the system performance. However, initial results showing pollution reduction after the sand filter and the UV sterilizer are hopeful. For urine, the storage did not show a reduction in pathogens but the six-month storage of urine as recommended by the WHO are not yet passed. Other solutions for sterilization have been considered. We conducted experiments on the different parameters affecting the urine's pH, concluding that temperature is the most important parameter. Given this result, we could imagine new experiments for urine sterilization based on manipulating changes in pH. Other experiments conducted on the purification capacity of the green wall are encouraging because they show a good reduction of multiple parameters, although an accumulation in the wall of nitrates are less encouraging. Finally, plans for the construction of the green wall at Casalez have been refined, including introducing new tools, changes in substrate selection, and automatizing gabion production, making the process more efficient.

Remerciements

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à mon maître de stage, Sophie Allebone, responsable du projet Cycloasis au sein d'Ecosec, pour son accueil et le temps passé ensemble à échanger. Grâce à sa confiance, j'ai pu acquérir plus d'autonomie et de confiance en moi. Un grand merci pour toutes les connaissances qui m'ont été apportées et l'enthousiasme aux idées proposées.

Je tiens aussi à remercier Marc Heran ainsi que toute l'équipe du laboratoire du bâtiment 15 pour leur aide précieuse lors des analyses réalisées à l'université de Montpellier et pour leur confiance.

J'aimerais aussi remercier Tiphaine Jabet et nos collaborateurs d'Ecofiliae pour leur patience et leur aide lors de nos sessions de prélèvements en commun.

Enfin, un très grand merci à toute l'équipe de Macondo, pour leur accueil des plus chaleureux, leur aide et leur soutien au quotidien. Merci à eux de rendre possible chaque jour la mise en place d'un lieu extraordinaire.

Table des matières

Résumé.....	2
Remerciements.....	3
Table des figures.....	4
Introduction.....	5
Présentation d'Ecosec.....	6
Présentation générale du projet Cycloasis :.....	7
Optimisation du procédé de traitement :.....	9
Campagne d'analyse des eaux grises n°1 :.....	11
Campagne d'analyse des eaux jaunes stockées :.....	13
Passage à grande échelle pour la fabrication des murs végétaux de Casalez :.....	14
Tests sur les facteurs qui conditionnent l'augmentation du pH lors du stockage des urines.....	17
Tests d'épuration direct sur le mur végétal.....	22
Conclusion.....	24
Bibliographie.....	25

Table des figures

<i>Figure 1 : Photo du module utilisé pour les expériences.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 2 : Filtre à sable avant modification.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 3 : Filtre à sable après modification.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 4 : Schéma des différents points de prélèvement.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 5 : Cage contenant seulement de l'isolant.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 6 : Cage avec revêtement en isolant et contenant le mélange de substrat à l'intérieur.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 7 : Tests sur les différents revêtements possibles pour le remplissage des cages.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 8 : diagramme de répartition des espèces pour le couple $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 9 : Différents endroits de stockage des flacons pour obtenir des variations de température.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 10 : Graphique du pH en fonction de la température le 29/07 à 14h30.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 11 : Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de la dilution.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 12 : Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de l'agitation des flacons.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 13 : Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de la quantité d'air dans le flacon.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 14 : Photos de certains résultats d'analyses au labo (turbidité et concentration en nitrites et nitrates).....</i>	<i>22</i>

Introduction

La valorisation des eaux grises et des urines est un des grands enjeux pour l'économie des ressources et l'intégration de systèmes circulaires à nos modes de vie. L'utilisation de ces mêmes ressources pour l'arrosage d'un mur végétal permet de résoudre plusieurs problématiques urbaines avec une seule installation. Le système permet d'avoir tous les avantages d'un mur végétal mais de manière durable et écologique sans avoir à utiliser de l'eau potable. Il permet de lutter contre les îlots de chaleur, d'apporter de la biodiversité en ville, il permet aussi une isolation thermique et acoustique ainsi qu'une réduction de la pollution de l'air. De plus, il a aussi comme avantage d'améliorer la qualité de vie des habitants du fait de son apport esthétique mais aussi social. La mise en place de ce système permet de fédérer les futurs habitants de l'habitat participatif autour d'un même projet et de les amener à collaborer pour son bon fonctionnement et son entretien.

Les économies réalisées grâce à ce projet qui allie séparation et valorisation sont nombreuses. Elles permettent la diminution des dépenses de ressource en eau, mais aussi des dépenses monétaires et énergétiques. Les toilettes sèches à séparation réalisent des économies en eau puisqu'il n'y a pas de chasse d'eau, mais elles ont aussi pour but d'assurer une valorisation optimale à la fois des urines et des matières fécales. Le fait que les urines ne soient pas envoyées dans le réseau de tout-à-l'égout permet aussi une réduction des coûts au niveau de la station d'épuration.

De même, la récupération des eaux grises et son traitement grâce à un maximum de technologies low-tech va permettre de rendre le système d'arrosage du mur très résilient avec une grande robustesse et une facilité d'entretien et de réparation en cas de panne. L'utilisation d'eaux usées pour l'arrosage et des low-tech permet aussi de rendre ce genre d'installation moins cher à mettre en place et donc accessible au plus grand nombre. C'est donc l'une des raisons principales qui a poussé Ecosec à travailler sur le prototype de ce mur végétal.

Dans le cadre de mon stage de quatrième année, j'ai donc été amenée à travailler sur l'optimisation du procédé de traitement, à participer aux campagnes d'analyses des eaux grises et des eaux jaunes. Mais aussi à tenter de trouver des solutions en vue du passage à grande échelle pour la fabrication des murs végétaux ainsi qu'à réaliser des expériences sur site pour étudier la stérilisation des urines et la phyto-épuration.

Présentation d'Ecosec

L'entreprise d'Ecosec est spécialisée dans l'assainissement écologique notamment avec la fabrication de toilettes sèches de séparation à la source. Elle a été créée en 2014 par Benjamin Clouet et Bernard Caille. Ecosec est une SCOP, c'est donc une société coopérative de production où chaque employé a une voix et possède une partie de l'entreprise. C'est aussi une entreprise d'insertion qui fait partie des acteurs de l'économie sociale et solidaire dans la région Occitanie.

Le choix des toilettes sèches à séparation permet à l'entreprise de proposer des solutions écologiques et mobiles. Effectivement, les toilettes n'ont pas besoin d'être reliées au réseau d'eau potable et d'assainissement. La séparation de l'urine et des matières fécales permet de ne plus les considérer comme des déchets mais comme des matières premières valorisables. La valorisation choisie est agronomique. Les urines contiennent d'importantes concentrations en azote, phosphates et potassium qui leur permettent de remplacer les engrais chimiques. L'intérêt de la valorisation de l'urine est donc certains puisqu'elle permet de remplacer des ressources limitées dans le cas des mines de phosphates ou énergivores dans le cas de la production des nitrates. De plus, le traitement de ces mêmes composés représente l'un des coûts les plus importants des stations d'épuration.

L'entreprise a récemment fait le choix de se diversifier dans la réutilisation des eaux grises afin de compléter ses compétences dans le domaine de l'assainissement écologique et de la valorisation de nos déchets. Cette eau est utilisée à des fins d'arrosage, ce qui s'accorde avec la valorisation agronomique des urines.

Ecosec vend donc différents types de toilettes à des professionnels et des particuliers. Les toilettes peuvent aussi être louées pour des événements ponctuels de type festivals ou être installées dans des communes avec un contrat d'entretien et de collecte régulière. L'entreprise propose aussi l'installation de murs végétaux permettant un accès à des solutions écologiques et circulaires sur les flux d'eaux grises et jaunes. D'autres projets ont vu le jour récemment comme la pose et la construction de composteurs pour la Métropole de Montpellier.

L'entreprise est maintenant basée sur la commune de Montarnaud, sur un tiers lieu en construction : Macondo. Ce site accueille plusieurs projets différents avec un chantier d'insertion, une structure qui propose des formations dans différents domaines de la transition écologique, une entreprise de fabrication de tiny house, une entreprise qui fabrique des vermi-composteurs de type pot de plantes et bientôt d'autres jeunes entreprises viendront s'installer dans les ateliers nouvellement construits.

Ecosec participe donc aussi à la construction et à la mise en place de ce lieu en apportant une aide financière et humaine. L'entreprise travaille donc de front sur plusieurs projets grâce à une dizaine de salariés polyvalents.

Présentation générale du projet Cycloasis :

Cycloasis est un projet de végétalisation d'immeuble en ville qui va permettre de lutter contre les îlots de chaleur mais aussi d'augmenter la biodiversité et de valoriser différents déchets. Ce projet se fait en partenariat avec la région Occitanie, Lez'Coop, Surya consultants et Ecofiliae. Ce projet permet d'intégrer à grande échelle un système circulaire avec la valorisation de différents déchets. L'urine sera valorisée en éléments nutritifs, les déchets organiques (cuisine et matière fécales) et des déchets de construction seront valorisés en substrat, et enfin les eaux grises seront valorisées en eau d'arrosage.

Ce système permet donc de réduire la pollution envoyée au tout-à-l'égout : presque pas d'azote et de phosphore puisque toutes les urines sont récupérées. Mais aussi une réduction du débit d'eau. Les déchets organiques produits sur site n'auront pas besoin d'être transportés et pourront être utilisés comme substrat ou pour le jardinage.

La lutte contre les îlots de chaleur et la réduction des températures à l'intérieur des bâtiments faisaient l'objet des campagnes d'étude de l'été 2019. Cet été là a été caniculaire et il a pourtant été observé que les murs végétaux apportaient une baisse de température de 12°C.

Ce système permet donc de réduire l'impact énergétique d'un bâtiment en hiver comme en été, mais il apporte aussi un aspect esthétique (figure 1. ci-dessous) et une augmentation de la biodiversité en plus de la valorisation de tous les flux.



Figure 1 : Photo du module utilisé pour les expériences

La campagne de prélèvements et d'analyses de l'été 2021 vise à étudier la qualité de l'eau à différents points du système. Ces différents points vont permettre d'étudier la qualité des eaux grises avant traitement, mais aussi leur qualité en fonction du traitement appliqué. Enfin, la capacité de phyto-épuration du mur végétal sera testée. En parallèle, une campagne d'analyse des urines sera lancée sur six mois pour vérifier la réduction du taux de

pathogènes avec le stockage. Cette campagne d'analyse sera suivie d'une dernière qui se déroulera durant l'été 2022, et qui aura lieu cette fois sur le site de Casalez (habitat participatif) sur le mur végétal final.

Les paramètres qui seront étudiés lors des analyses sont de différents types : bactériologiques, majeurs et des nutriments solubles. L'objectif étant de vérifier si l'on respecte les normes françaises et européennes. La norme française étant l'Arrêté du 2 août 2010 révisé le 25 juin 2014 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts. Et les directives de L'ANSES de 2015 pour la réutilisation des eaux grises pour des usages domestiques. Les différentes normes et directives sont disponibles en annexe 1.

Les paramètres étudiés seront donc plus nombreux que ceux nécessaires à la vérification de l'application de la norme. Effectivement, seuls les MES, la DBO, la DCO, la turbidité ainsi que les paramètres bactériologiques sont nécessaires. Toutes les mesures sur les différents éléments nutritifs vont permettre d'étudier les apports pour le mur végétal et les paramètres comme la température ou le pH serviront à détecter une éventuelle anomalie.

Les analyses sont effectuées sur deux systèmes de traitement différents : un ne faisant appel qu'à une filtration lente dans un filtre à sable gravitaire et l'autre qui utilise le même procédé mais qui est suivi d'un filtre à charbon et d'une désinfection UV.

Optimisation du procédé de traitement :

Le procédé de traitement a pour but d'être le plus low-tech possible, c'est donc pour cela que l'outil principal de traitement est le filtre à sable à filtration lente. Ce procédé fonctionne sans électricité avec un écoulement gravitaire de l'eau et permet, s'il fonctionne correctement, d'apporter de très bons résultats d'abattement sur les paramètres physiques de l'eau du fait de son action de filtration mais aussi un abattement allant jusqu'à 99 % pour les pathogènes. Le pouvoir filtrant de ce filtre réside dans le bon développement d'un biofilm qui va se nourrir de la pollution contenue dans l'eau et ainsi la traiter.

Pour optimiser l'abattement du filtre à sable ainsi que les paramètres pour le développement du biofilm, plusieurs modifications ont été effectuées. À l'origine, le filtre à sable contenait des graviers grossiers au fond et une couche de sable de chantier. Le filtre à sable possède deux robinets : un au milieu de la couche de sable et l'autre une dizaine de centimètres au-dessus de la couche de sable. Au début, seul le robinet le plus bas était utilisé ce qui permettait d'avoir un débit important mais pas de garder la couche d'eau au repos au-dessus du sable.

Figure 2 : Filtre à sable avant modification

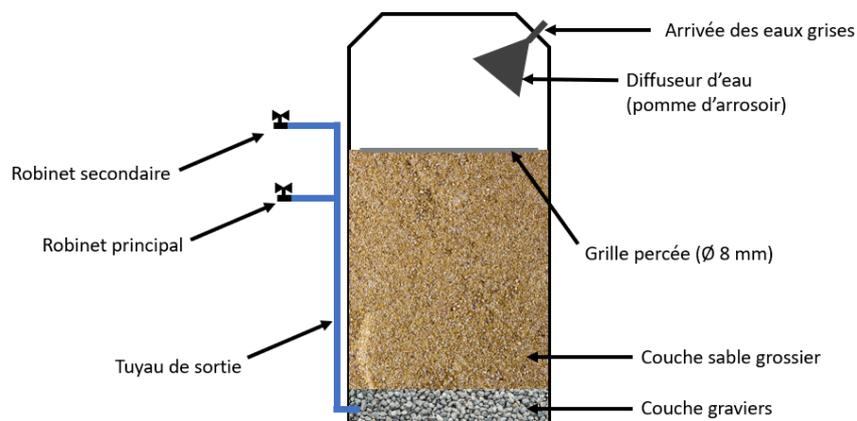
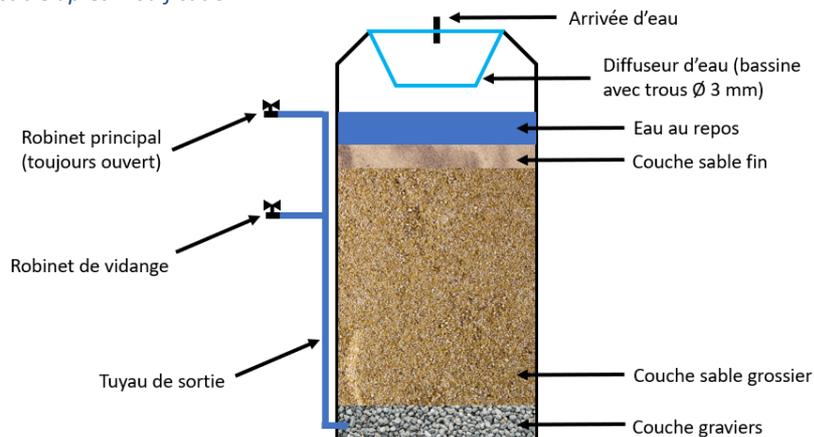


Figure 3 : Filtre à sable après modification



Il a donc été choisi d'ajouter un diffuseur d'eau plutôt que de mettre directement les seaux d'eau dans le filtre ce qui perturbait la couche supérieure de celui-ci. Seul le robinet du haut est utilisé. Des tests sur le débit ont aussi été effectués, celui-ci doit être inférieur à 1 L/min (CAWST, 2010), ce n'était pas le cas, il était bien supérieur. De plus, la hauteur d'eau au repos était trop importante (environ 15 cm). Pour pallier à ces deux problèmes, nous avons choisi d'ajouter une nouvelle couche de sable plus fin. Cela a permis de réduire le débit qui est en moyenne autour de 0,6 L/min avec un maximum à 1L/min si l'on remplit le filtre complètement et un minimum que l'on fixe à 0.3 L/min (colmatage).

Après plusieurs semaines d'utilisation, bien que le sable fin ajouté permette d'obtenir une meilleure filtration et un débit plus adapté, ce n'est pas la solution qui sera retenue. Un sable trop fin retient directement en surface un trop grand nombre de particules ce qui entraîne une maintenance accrue (nettoyage toutes les semaines). Un sable de taille intermédiaire sera donc utilisé pour l'installation finale à Casalez.

Comme expliqué ci-dessus, le prototype possède deux filières de traitement différentes : une qui ne contient que le filtre à sable et une seconde où celui-ci est suivi d'un filtre à charbon et d'une désinfection UV. La seconde filière emploie des outils qui sont beaucoup moins low-tech que le filtre à sable. Il y a donc peu d'actions réalisables pour modifier par nous-même ces installations. Nous choisirons seulement un stérilisateur UV moins sensible à la turbidité que celui du prototype pour l'installation à Casalez afin d'obtenir des résultats plus sûrs et plus réguliers.

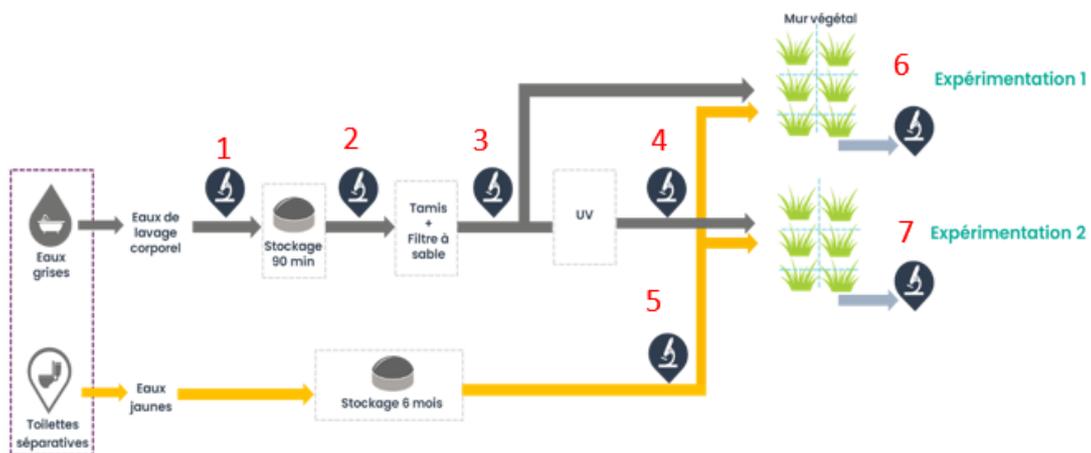
Campagne d'analyse des eaux grises n°1 :

La première campagne d'analyse a commencé le mardi 1 juin, les résultats obtenus étaient assez satisfaisants mais le laboratoire n'a pas pu mesurer les concentrations en bactéries *E. coli* pour certains points de prélèvements car il était attendu d'avoir des concentrations bien moins élevées. Nous avons donc supposé une contamination de l'eau de départ. Des tests sur l'eau de pluie qui alimente la douche ont donc été effectués la semaine suivante, il y avait effectivement 60 UFC/100 mL de bactérie *E. coli*. Le site de Macondo n'étant pas relié au réseau d'eau potable et d'assainissement c'est donc une bêche remplie d'eau de pluie de 3000 L qui alimente la douche. Il a donc été nécessaire de s'assurer que la qualité de cette eau soit la plus proche possible de celle de l'eau potable. Pour cela, avant chaque prélèvement (le lundi), une chloration a été effectuée à hauteur de 5 mg/L appliquée pendant une demi-heure suivie d'une dé-chloration grâce à de l'acide ascorbique. Le suivi de la concentration en chlore s'est fait grâce à des bandelettes tests.

Les différents tests effectués pour traiter l'eau de pluie ont pris plusieurs semaines, ce qui a décalé la suite de la campagne d'analyse de 3 semaines.

Il y avait 7 points de prélèvements prévus à l'origine mais seul 6 ont été réalisés (Figure 4). Le prélèvement n°1 n'a pas été effectué car l'eau des douches est stockée 24h et parce qu'il faut environ 1h pour amener les prélèvements au laboratoire.

Figure 4 : Schéma des différents points de prélèvement



Sur la campagne d'analyse des eaux grises, nous avons dû faire face à différents problèmes sur plusieurs organes du système.

Tout d'abord, sur le stérilisateur UV, lors de la première semaine d'analyse, les taux de bactéries étaient plus importants en sortie de mur qu'en entrée pour la partie avec le filtre UV. La raison de ce dysfonctionnement est que le stérilisateur UV n'était allumé que pour l'expérience et qu'il n'était pas en fonctionnement le reste de la semaine lors de l'arrosage du mur. Il y avait une contamination de cette partie du mur tout au long de la semaine. Il a donc été décidé de mettre le stérilisateur UV en fonctionnement continu afin d'éviter ce problème. Cependant, l'arrosage automatique ne se déclenchant que 15 minutes par jour, il faudrait allumer et éteindre le stérilisateur UV pour chaque arrosage. Effectivement, il est impossible

de laisser allumer le stérilisateur en tout temps car si l'eau qui est contenue dans le réacteur n'a pas un débit assez important, cela peut conduire à une surchauffe du système et donc à une dégradation de la lampe. Le second problème vient du fait qu'on ne peut normalement pas allumer et éteindre le stérilisateur UV trop souvent sans entraîner une détérioration prématurée de la lampe. Après avoir échangé avec les fabricants du stérilisateur UV, nous avons donc choisi d'allumer le réacteur UV lors de l'irrigation le jour précédent les prélèvements et pendant les prélèvements. Pour que la désinfection soit efficace, il faut cependant allumer la lampe UV dix minutes avant pour qu'elle ait le temps de chauffer.

Lorsque le stérilisateur UV a cessé de fonctionner, par la suite nous avons remarqué une augmentation des taux de bactéries entre l'eau filtrée et l'eau qui est passée par le réacteur UV. Cette augmentation provient sûrement du fait que lorsque l'on prélève l'eau du point n°4 c'est de l'eau qui a été filtrée la veille et dans laquelle des bactéries ont pu de nouveau se développer alors que l'eau prélevée pour le point n°3 a été filtrée le matin même et provient de douche prisent le matin.

Nous avons aussi dû remplacer les doseurs qui permettaient d'ajouter les 1% d'urine à l'eau grise traitée à la suite trop nombreux dysfonctionnement de ceux-ci.

Il est pour le moment difficile de conclure quant à l'efficacité du système et au respect des normes françaises et européenne car la campagne d'analyse n'est à ce jour pas terminée et les premiers résultats ont permis de détecter des problèmes dans le système et dans le protocole de prélèvements mais ils n'ont pas réellement montré de résultats constants. On peut cependant noter des grandes tendances.

Le filtre à sable est le premier élément que nous avons modifié et cela a permis d'obtenir de bons abattements sur la bactériologie bien que pour le moment ils n'atteignent pas les 99% attendus. Cependant le filtre à sable a montré de très bons abattements sur des paramètres comme la turbidité, les MES, la DBO ou encore la DCO (voir annexe 3).

Campagne d'analyse des eaux jaunes stockées :

En parallèle de la campagne d'analyse des eaux grises pour tester le système, une campagne de suivi des eaux jaunes tout au long de leur stockage a été réalisée. Cette campagne a commencé le 6 juillet 2021. Vingt litres d'urine ont été récupérés sur les deux semaines précédentes afin de pouvoir réaliser les analyses toutes les semaines pendant les 6 prochains mois. Pendant les 6 premières semaines on fait les analyses toutes les semaines, puis toutes les 2 ou 4 semaines jusqu'à la fin des 6 mois. Les paramètres analysés sont les mêmes que ceux de la campagne d'analyse des eaux grises. Les analyses bactériologiques seront toutes réalisées au laboratoire Biofaq ainsi qu'une partie des analyses d'éléments majeurs et nutritifs. Le suivi complet des éléments majeurs et nutritifs chaque semaine a été effectué en parallèle par moi-même au laboratoire de l'université. L'ensemble des résultats d'analyses sont disponibles en annexe 2.

Pour ce qui est de l'analyse bactériologique, les paramètres analysés sont les bactéries *E. coli*, les entérocoques intestinaux, les spores de bactéries anaérobies sulfato-réductrices (SBASR) et les phages ARN-f. Lors de la première semaine, aucun phage n'a été trouvé dans les urines, le test ne sera donc plus effectué jusqu'à la dernière semaine (au bout de 6 mois) pour confirmer la composition finale des urines qui vont être utilisées. Pour ce qui est d'*E. coli*, au début leur quantité était d'environ 20 000 NPP/100 mL mais lors de la deuxième semaine celles-ci ont doublé, et de même la semaine suivante pour atteindre les 80 000 NPP/100 mL. On attend une baisse de ces résultats à partir de la sixième semaine. Pour ce qui est des entérocoques et des SBASR on observe une légère diminution puis de nouveau une augmentation, de même que pour les *E. coli* on attend une diminution à partir de la sixième semaine.

Pour ce qui est des autres paramètres, le pH, les MES, la DBO, la DCO et la conductivité, ils sont restés relativement stable sur les premières semaines des analyses. Par contre la turbidité baisse de semaine en semaine. Pour ce qui est des éléments nutritifs seules les différentes formes d'azote et le phosphore sont mesurées. Le phosphore diminue légèrement au cours du temps. L'azote total est constant au cours du temps, mais on observe un changement de forme. Les nitrates et les nitrites ne sont pas présents au début des analyses et augmentent au cours du temps. Cela s'explique du fait que l'azote de l'urine est au début majoritairement sous forme d'urée et qu'avec le temps il se dégrade sous forme d'ammonium et de nitrates.

Passage à grande échelle pour la fabrication des murs végétaux de Casalez :

Afin de réaliser un nombre important de cage et de les remplir pour couvrir les 100 m² de surface prévue dans l'habitat participatif de Casalez, il est nécessaire d'uniformiser et de rentabiliser le processus de fabrication des murs végétaux. Pour cela, nous avons monté une serre de grande taille : 8m de long, 6m de large et 4m de haut pour pouvoir multiplier et semer un grand nombre de plantes afin de remplir les nouvelles cages. La hauteur de la serre est importante pour permettre à la fois la culture au sol mais aussi sur table. Les tables de semis seront réalisées en châssis de fenêtres récupérées afin d'optimiser l'arrosage : possibilité d'avoir les racines des plantes immergées dans l'eau ou de récupérer l'eau en surplus. Cette solution permet de fabriquer les tables avec seulement des matériaux de réemploi.

L'optimisation du processus de fabrication des cages en métal accrochées au mur a été réalisée par un autre stagiaire de l'entreprise. Pour ce qui est du remplissage des cages, celui-ci s'effectuera toujours à la main et de la même manière que sur le mur expérimental.

Différentes options de remplissages ont été étudiés au niveau du substrat en lui-même mais aussi du matériau qui va retenir ce substrat à l'intérieur des cages. Pour ce qui est du substrat différents mélanges ont été testés avec du terreau, du BRF (Bois Raméal Fragmenté), de la fibre de noix de coco, de la sphaigne, de la pouzzolane, de la perlite et de l'isolant en fibre de bois et de chanvre. Le but étant de trouver le meilleur compromis en termes d'impact environnemental, de poids, de durabilité, et de qualité pour le développement des plantes.

Le premier mélange retenu contenait du terreau, de la pouzzolane, de la fibre de coco et de la sphaigne. La pouzzolane a ensuite été remplacée par le BRF dans le but d'augmenter l'apport en carbone du substrat. Le BRF va se dégrader jusqu'à se transformer en humus et continuer tout au long de sa dégradation d'enrichir le substrat.

Il existe différentes problématiques pour chacun des matériaux potentiellement utilisés. Pour ce qui est du terreau, on le choisit local et provenant du compostage de déchets organiques mais il ne peut pas être utilisé seul car la masse serait trop importante. La perlite est d'origine minérale et doit être expansée de manière industrielle (température qui atteint 1200°C). Ce n'est donc pas un matériau durable. La fibre de coco provient de loin mais est fabriquée avec des déchets (coques des noix de coco) et c'est un matériau organique. Le BRF peut être local et c'est un matériau organique qui peut s'apparenter à un déchet. C'est donc un bon élément pour le substrat mais il ne permet pas la rétention d'eau. D'autres tests ont été effectués sur la réutilisation d'isolant en fibre de bois et de chanvre (Figure 5 et 6), cette solution permet de valoriser un déchet local. Différents tests de remplissage ont donc été effectués pour tester la durabilité des différents substrats et la capacité de rétention d'eau qui favorise la croissance des plantes.

Comme on peut le voir sur les figures 5 et 6 ci-dessous, les cages ne contenant que de l'isolant sont plus sensibles à la chaleur et ont besoin d'être arrosées plus souvent. Cela vient du fait qu'il sèche plus vite et que l'eau traverse plus vite la cage pour aller à celle du dessous contrairement à la cage qui contient du substrat où une quantité plus importante de

l'eau va rester à l'intérieur de la cage et où plus de temps sera nécessaire pour que l'eau coule vers la cage inférieure.

Figure 5 : Cage contenant seulement de l'isolant



Figure 6 : Cage avec revêtement en isolant et contenant le mélange de substrat à l'intérieur



Pour ce qui est du revêtement, différentes solutions ont été explorées, nous avons utilisé deux types de géotextile différents, un géotextile fin (couleur noir) et un géotextile un peu plus épais (couleur grise) (Figure 7). Nous avons aussi utilisé une nappe de paillage (couleur marron) très fine qui est elle aussi en matière synthétique. Pour ce qui est des matériaux organiques du géotextile naturel a été utilisé (couleur blanche), de la toile de paillage en chanvre (couleur marron clair) et de l'isolant en fibre de bois.

Figure 7 : Tests sur les différents revêtements possibles pour le remplissage des cages



Sur la figure 7 ci-dessus, on peut donc voir les cages en isolant de fibre de bois (de face, en haut), le géotextile épais (de face, en bas à gauche), en nappe de paillage (de face, en bas à droite), en géotextile fin (de côté, en haut) et en toile de paillage de chanvre (de côté, en bas).

Après plusieurs semaines d'arrosage, les cages en isolant et en géotextile naturel semblent s'abîmer beaucoup trop vite pour résister pendant un an. Pour le moment seule la nappe de

paillage en chanvre semble pouvoir résister un certain temps pour les matériaux non synthétique. De même, les solutions avec le géotextile sont beaucoup plus résistantes, mais lorsque les plantes n'ont pas encore poussé complètement les cages chauffent beaucoup plus à cause de la couleur foncée. La nappe de paillage synthétique semble être une bonne solution puisqu'elle est résistante et très fine.

Il semblerait donc que pour le mur de Casalez la solution retenue sera celle de la nappe de paillage synthétique qui est très fine, utilisant donc moins de matière synthétique et permettant un bon passage de l'eau. Cette solution va permettre d'avoir une plus grande durabilité que les solutions naturelles. Du fait de sa faible épaisseur, cette solution permet aussi un remplissage des cages plus simple et plus rapide.

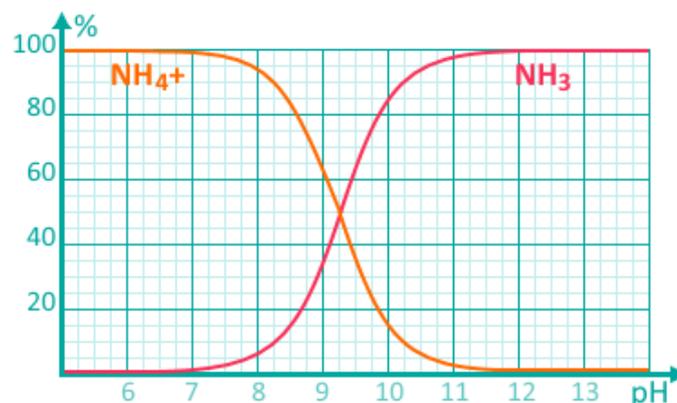
Pour les projets de jardins potagers verticaux les solutions naturelles comme le réemploi d'isolant seront sûrement celles choisies car elles permettent d'avoir un impact réduit et la durabilité des cages est moins importante puisqu'elles devront être replantées tous les ans pour la plupart.

Tests sur les facteurs qui conditionnent l'augmentation du pH lors du stockage des urines

Sachant que c'est l'augmentation du pH qui va favoriser la libération d'ammoniac et donc la stérilisation de l'urine, j'ai voulu mettre en place des tests comparatifs pour essayer de déterminer quels sont les facteurs qui peuvent influencer ce changement de pH.

L'urine contient 7 à 9 g/L d'azote qui est sous forme d'urée et de créatine en très grande majorité lors de l'excrétion (Dr. Liji Thomas, 2019). Cependant, lors du stockage la quasi-totalité de ces molécules sont dégradées sous forme d'ammonium (ammoniac en fonction du pH), et on retrouve des acides aminés ($\approx 5\%$), des nitrites et des nitrates ($\approx 0.001\%$) en très faible quantité. Les 95% restant se répartissent donc entre les ions ammoniums et l'ammoniac. Comme on peut le voir sur la figure 8 ci-dessous, leur pourcentage dépend du pH, et les urines que l'on stocke ont un pH entre 8.5 et 9.3, ce qui signifie que le pourcentage d'ammoniac varie entre 20 et 50%. On cherche donc à connaître quelles sont les conditions optimales pour que le pH augmente et que l'on obtienne une grande quantité d'ammoniac afin de stériliser les urines. (Pettersson, 1995)

Figure 8 : diagramme de répartition des espèces pour le couple $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$



Nous avons choisi les paramètres à comparer suivant : température, contact avec l'air, taux de dilution et ajout progressif d'urine. Pour chaque paramètre plusieurs degrés ont été choisis. Pour ce qui est de la température trois emplacements différents ont été choisis : la salle de bain (pièce la plus froide grâce au mur végétal), sous une ombrière (température extérieure mais à l'ombre) et dehors en plein soleil (Figure 9).

Figure 9 : Différents endroits de stockage des flacons pour obtenir des variations de température



Pour le contact avec l'air, certains flacons ont été remplis à ras bord, d'autres n'ont été remplis que de moitié avec certains qui sont secoués et d'autres non.

Pour le taux de dilution, en comparaison au mélange classique, un taux de dilution de 2 et de 5 a été appliqué avec de l'eau de la douche.

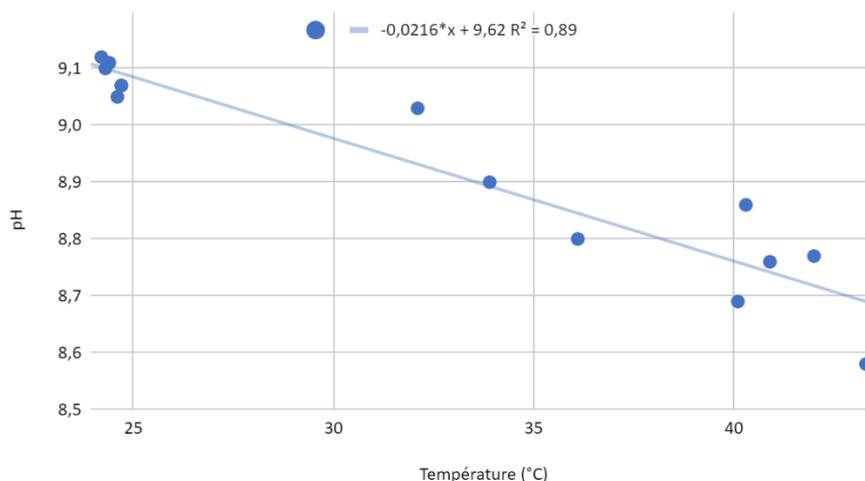
Enfin, pour l'ajout progressif d'urine, 100 mL d'urine ont été mis au départ dans un flacon de 1 L et 100 mL d'urine sont ajoutés toutes les semaines.

Le pH et la température sont mesurés tous les jours sauf le weekend et ce pendant dix semaines. L'expérience a commencé le 22 juillet, sur les premières semaines, différentes tendances se dessinent. Les résultats des premières mesurent sont disponibles en annexe 5.

Pour voir quels paramètres ont le plus d'influence et comment se traduit cette influence différents graphiques ont été tracés puis les analyses statistiques ont été faites sur le logiciel R. La normalité des données a été testée avec un test d'Anderson-Darling et l'homoscédasticité avec un test de Bartlett. Lorsque les séries comportaient des paramètres non numériques un ANOVA ou un test de Kruskal-Wallis a été effectué. Pour les comparaisons entre paramètres numériques une corrélation de Pearson a été effectué.

Il semblerait que plus la température est haute, moins le pH augmente. Sur des jours où les températures varient beaucoup entre les différents points de stockage, on observe entre les deux une relation quasi linéaire. Lorsque l'on compare ces deux paramètres sur R avec une corrélation de Pearson, on obtient alors une corrélation négative de -0,88 et une p-value inférieure à $2,2 \cdot 10^{-16}$. La corrélation de Pearson varie entre -1 et 1 avec pour 1 une corrélation positive linéaire parfaite et pour 0 l'absence totale de corrélation entre les deux paramètres. Le coefficient de -0,89 confirme donc ce qui était observé sur le graphique avec une pente négative et une corrélation forte entre les deux paramètres (Figure 10).

Figure 10 : Graphique du pH en fonction de la température le 29/07 à 14h30

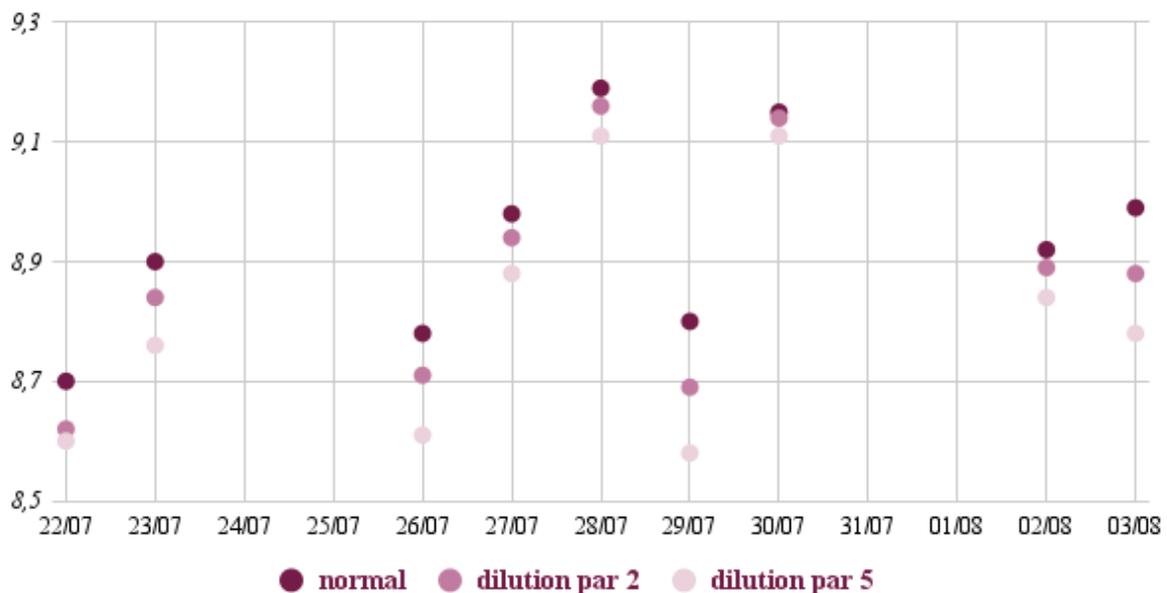


De même, plus le taux de dilution augmente moins le pH est important. Il semblerait donc qu'un trop grand taux de dilution puisse empêcher la bonne stérilisation des urines. Dans le

cas de l'habitat participatif le taux de dilution ne devrait pas être un problème puisque les urines seront semblables à celles récoltées à Macondo, c'est-à-dire provenant de plusieurs personnes différentes et à différents moments de la journée. Le taux de dilution pourrait poser un problème dans le cas d'urines récoltées en festival par exemple, puisque celles-ci peuvent être jusqu'à dix fois moins concentrées.

Pour ce qui est de l'analyse statistique, la normalité des valeurs n'étant pas vérifiée, c'est un test non paramétrique qui a été réalisé : test de Kruskal-Wallis. Le résultat de ce test ne permet pas de conclure à une différence significative entre les trois dilutions avec une p-value de 0,08 qui est donc supérieure à la valeur alpha de 0,05 (Figure 11).

Figure 11 : Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de la dilution

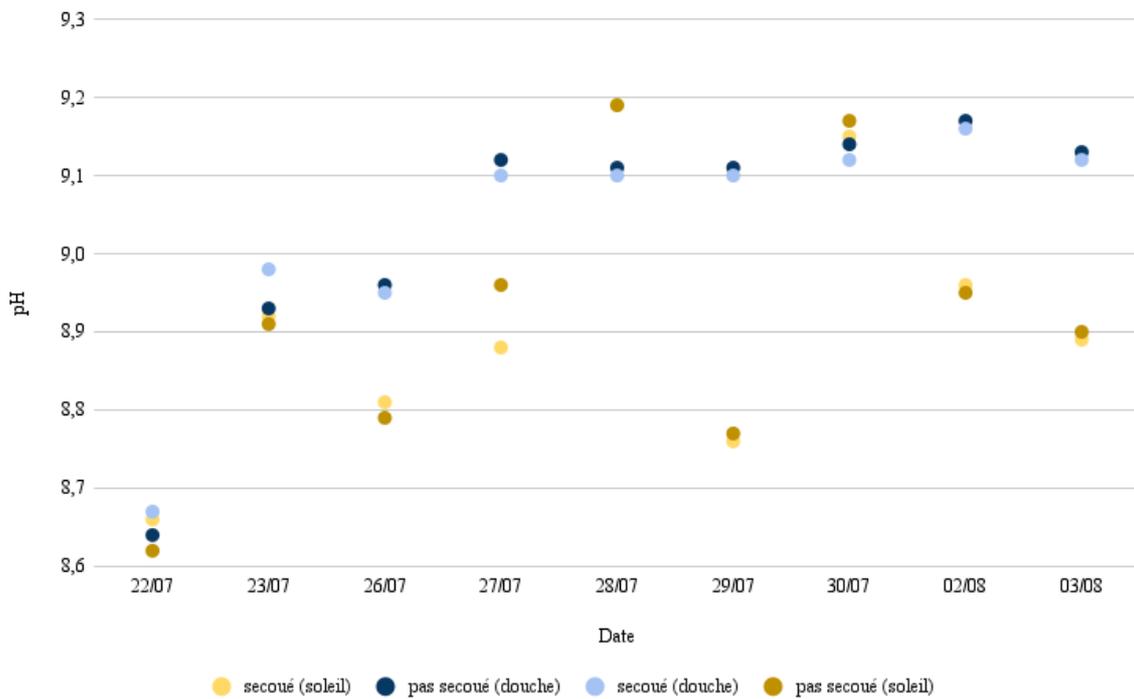


L'ajout d'urine ne semble pas perturber l'augmentation du pH. Puisque le lendemain de l'ajout on observe un pH similaire à celui de la veille. De même, si l'on mesure le pH juste avant l'ajout et juste après, la variation observée provient seulement du changement de température puisque le pH augmente ou diminue suivant la variation de température.

Pour ce qui est du contact avec l'air, le fait de secouer ou non le flacon ne semble pas influencer le pH. Comme on peut le voir sur la figure 12 ci-dessous, les différences entre les points proviennent plutôt de la température (de leur emplacement de stockage) et non pas du fait de secouer ou non le flacon. Les points bleus se confondent presque tout le temps et il en est de même pour les points orange.

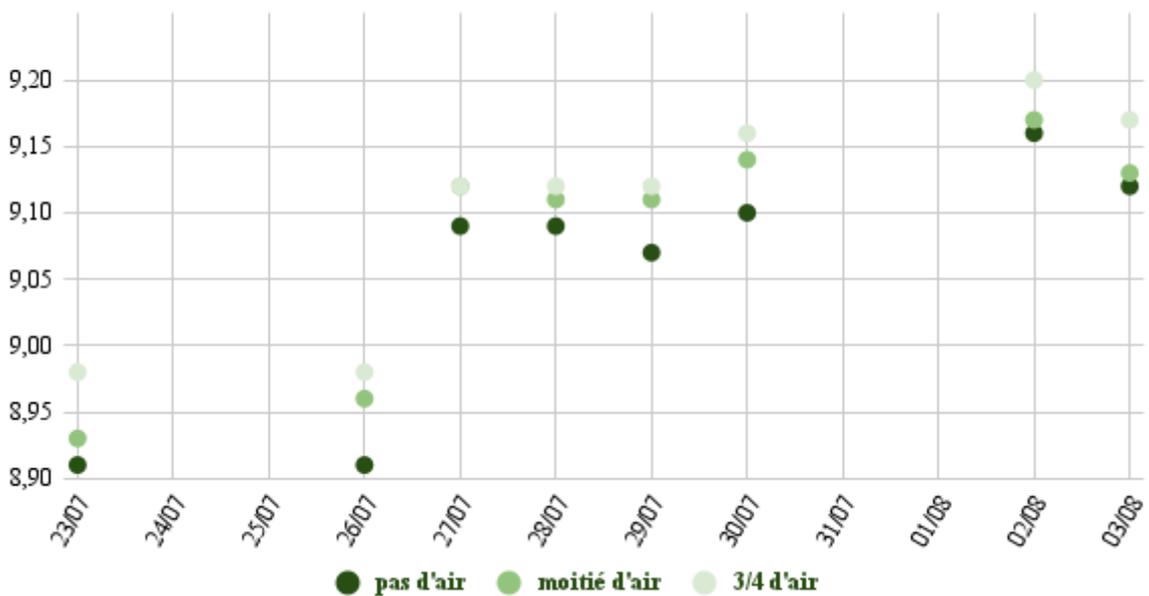
Les tests statistiques confirment que le fait de secouer le flacon n'a pas d'influence puisque la p-value du test de Kruskal-Wallis est de 0,78, soit bien supérieur à la valeur de alpha qui est de 0,05. Ici encore c'est un test non paramétrique qui a été effectué car la normalité des données n'a pas pu être vérifiée (Figure 12).

Figure 12 : Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de l'agitation des flacons



Cependant, les flacons à moitié rempli ont bien un pH plus important que ceux qui n'ont pas de contact avec l'air. De plus, sur les deux premières semaines, les flacons avec ajout d'urine, qui sont ceux avec le volume d'air disponible le plus important, sont ceux qui avaient le pH le plus élevé de tous les flacons.

Figure 13 : Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de la quantité d'air dans le flacon



De même, que pour les autres séries de données, ne pouvant pas montrer la normalité des valeurs, un test de Kruskal-Wallis a été effectué, la p-value étant de 0,02 elle est inférieure

au alpha de 0,05 ce qui signifie qu'on peut conclure à une différence significative du pH en fonction de la quantité d'air dans le flacon.

Cependant, l'augmentation du pH n'est pas le seul facteur qui peut favoriser la désinfection des urines lors du stockage. Effectivement, bien qu'une température importante limite l'augmentation du pH, elle peut favoriser l'élimination des microorganismes sensibles à la chaleur. De même, une exposition prolongée à la lumière, peut du fait de la forte quantité d'UV, tuer une partie des microorganismes.

Au vu des premiers résultats obtenus sur la campagne d'analyse des eaux jaunes, il semblerait que l'augmentation de pH ne soit pas suffisante à la stérilisation des urines dans les conditions de stockage actuelle. Il semblerait donc que la modification de l'endroit et de la méthode de stockage puisse permettre une augmentation du pH plus importante. Dans le cas où cette augmentation ne serait toujours pas suffisante, nous avons pensé à d'autres solutions pour la stérilisation des urines avec par exemple l'ajout de potasse qui permettrait d'augmenter le pH mais aussi la teneur en potassium de l'urine pour en faire un meilleur engrais. Il serait aussi possible de disposer le bidon de stockage en plein soleil avec un système de réflexion de la lumière afin d'obtenir une augmentation de température suffisante pour tuer tous les microorganismes en plus de l'exposition aux UV qui devrait en tuer aussi une grande partie (Catherine D. Groh, 1996) . De même, en hiver il serait possible de tester si l'exposition prolongée à des températures très froides permet d'éliminer les microorganismes présents (Mortureux, 2012). Enfin, la diminution de la contamination croisée avec la modification du système de séparation dans les toilettes pourraient grandement réduire les problématiques liées à la stérilisation des urines (Croissant-Rouge, Genève).

Tests d'épuration direct sur le mur végétal

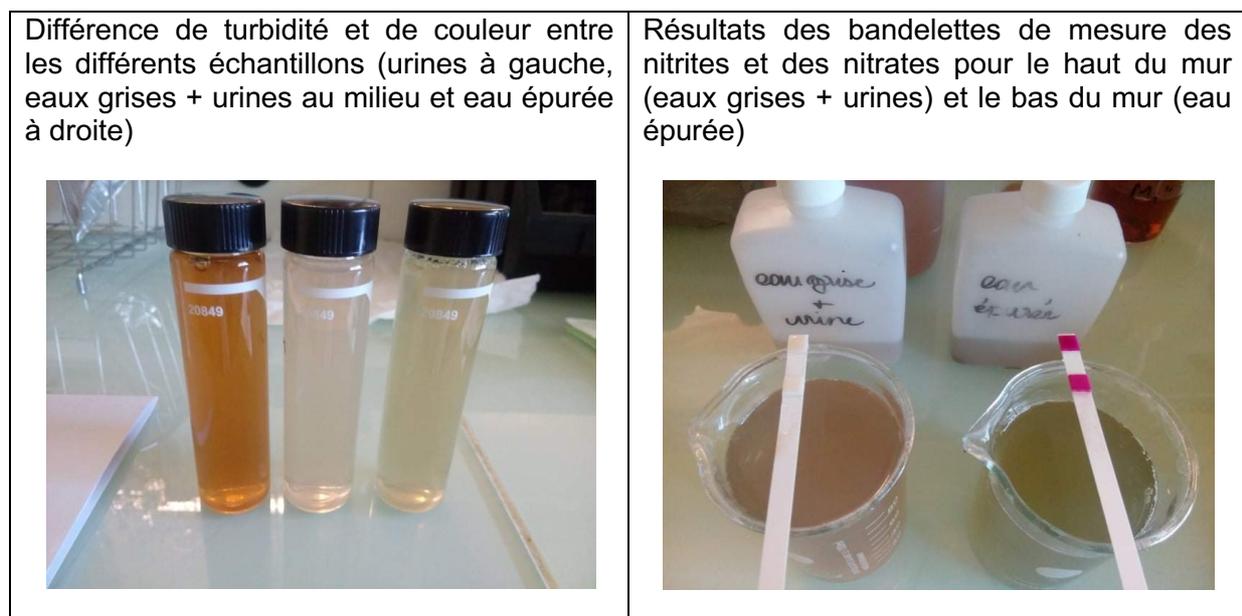
En plus des tests réalisés lors de la campagne d'analyse des eaux grises, d'autres tests ont été réalisés afin de tester le pouvoir épuratoire du mur végétal. Les tests étant réalisés au laboratoire de l'université, les paramètres bactériologiques n'ont pas pu être analysés.

Pour réaliser ces tests, c'est la façade sud du mur qui a été utilisée pour ne pas contaminer la façade est qui sert lors des prélèvements habituels. Deux arrosoirs de 10L chacun ont donc été remplis avec un mélange d'eau grise et d'urine (5%). Le choix des 5% d'urine provient du dosage qui est conseillé par Renaud de Looze qui a publié un livre sur la valorisation des urines au jardin. Bien que le dosage utilisé habituellement dans le mur ne soit que de 1%, le fait de suivre celui de M. de Looze permet d'avoir des résultats plus nets sur la capacité d'épuration pour un premier test. Les analyses suivantes prendront en compte un mélange à 1%.

L'eau récupérée en bas du mur a traversé au moins une cage (50 cm de mur) et dans le meilleur des cas, elle a traversé quatre cages (2 m de mur).

Ces analyses ont permis de montrer un abattement de 40% de la DBO, de 60% de l'azote total et de 40% du phosphore total. Les résultats sur la DCO pour cette analyse ne sont pas exploitables car ils sont hors gamme. Il y a aussi une diminution du pH qui passe de 8.9 à 8. Cependant, on a une augmentation de la turbidité, des MES et de la conductivité. L'ensemble des résultats sont disponibles en annexe 4. On peut tout de même noter que les particules contenues dans l'eau ne semblent pas être les mêmes au vu du changement de couleur de l'eau mais aussi du fait que l'eau ne semble plus contenir de résidus de savon mais des particules de terre provenant des cages.

Figure 14 : Photos de certains résultats d'analyses au laboratoire de l'UM



Il est aussi important de noter que même si on a une diminution de l'azote total entre le haut et le bas du mur, il y a aussi un changement de forme de l'azote puisque les eaux grises et

l'urine ne contiennent pas de nitrites et de nitrates alors que l'eau épurée en contient beaucoup : plus de 50 mg/L et plus de 3 mg/L (voir figure 14 ci-dessus).

Comme ces résultats sont bien au-dessus des normes de rejet, j'ai continué les tests d'épuration direct seulement sur les nitrites et les nitrates pour voir si les 5% d'urine sont responsable de cette pollution ou s'il y a d'autres facteurs.

Un second test a donc été effectué avec des eaux grises ne contenant pas d'urine, les résultats se sont avérés être les mêmes pour les nitrates (> 50 mg/L) et être beaucoup moins élevés pour les nitrites (entre 0.15 et 0.3 mg/L). Sachant que les eaux grises ne contiennent pas une quantité très importante d'azote, nous avons donc pensé à une contamination du mur du fait de l'utilisation trop fréquente de l'urine pour l'irriguer. Pour tester cette hypothèse, les tests suivants ont été effectués sur de nouvelles cages qui n'avaient jamais été irriguées avec de l'urine, mais seulement avec de l'eau de pluie ou de l'eau passée par le mur végétal. Pour les nitrates, les résultats étaient les mêmes (entre 2 et 5 mg/L) que les cages soient irriguées seulement avec des eaux grises, avec un mélange à 1% ou un mélange à 5% d'urine. Pour les nitrites, le seul prélèvement qui en contient est celui du mélange à 5% d'urine avec 0.3 à 1 mg/L. L'ensemble des résultats de ces tests sont disponibles en annexe 4.

À la suite de ces différents résultats, il semblerait que le mur végétal du prototype soit surchargé en azote du fait de l'irrigation constante avec des urines. Il a donc été décidé que l'eau de sortie du mur de Casalez sera testée de manière régulière afin d'adapter ou de couper totalement l'ajout d'urine pour ajuster la qualité de l'eau en sortie de mur. Cette qualité d'eau pourra aussi être adaptée en fonction des usages de l'eau (arrosage, rejet dans le milieu, rejet au tout-à-l'égout). Pour ce qui est des nitrites, il semblerait que leur détection corresponde aux forts ajouts d'urine. Ce résultat semble normal puisque les nitrites ne sont qu'une forme passagère de l'azote qui va ensuite se transformer en nitrates.

Conclusion

Les résultats obtenus lors des différentes campagnes d'analyses tendent à montrer que bien qu'encourageante la réutilisation des urines et des eaux grises nécessite des procédés adaptés pour respecter les normes d'hygiène.

La stérilisation des urines grâce à son stockage est une solution qui semble fonctionner mais qui manque encore de documentation sur les conditions de stockage et qui peut amener à des études dans les années à venir pour une utilisation plus massive et une évolution de la réglementation. De même, dans le cas de la réutilisation des eaux grises, l'adaptation de la réglementation et la mise en place de systèmes de traitement compacts et facilement reproductibles pourront permettre le développement de cette pratique à plus grande échelle afin de tenter de résoudre les problèmes grandissant sur la question de l'approvisionnement en eau.

Bien que les méthodes utilisées pour permettre la valorisation des urines et des eaux grises peuvent être amenées à évoluer, il semble clair que le choix des procédés les plus low-tech possible continueront d'être la priorité. Les choix techniques effectués pour la construction de Casalez vont dans ce sens puisque le filtre à sable sera l'élément majeur du traitement de l'eau avec le stérilisateur UV qui au moins pour la première année permettra de sécuriser l'installation pendant la campagne d'analyse de qualité in situ. L'étude que nous avons pu mener sur le module de Macondo n'est donc qu'un début pour la réalisation du projet de Casalez et la diversification de production d'Ecosec.

Ce stage au sein de l'entreprise Ecosec m'a donc permis d'apprendre beaucoup sur le travail de terrain mais aussi sur la vie en entreprise et en communauté. Comme le montre les différentes parties de ce rapport, ce stage s'est composé de tâches très différentes mais toutes axées autour d'un même projet. Cela m'a permis de travailler à la fois en extérieur sur des tâches très techniques comme le montage de la serre ou les réparations dans le système de plomberie du module. Mais aussi de réaliser du travail en laboratoire pour la réalisation des analyses et du travail de bureau pour le traitement des données ou la recherche bibliographique pour répondre aux différentes problématiques auxquelles nous avons dû faire face.

L'organisation d'Ecosec et du tiers-lieu Macondo sont relativement différentes des conditions de travail habituelles mais aussi des standards du monde de l'entreprise. C'est donc une expérience enrichissante d'avoir pu participer au fonctionnement de ce genre de structure et de pouvoir comparer avec d'anciennes expériences.

Bibliographie

- Dr. Liji Thomas, M. (2019, 02 27). *Urine Composition: What's Normal?* Retrieved from News medical life sciences: <https://www.news-medical.net/health/Urine-Composition-Whats-Normal.aspx>
- Pettersson, H. K. (1995). *Human urine - Chemical composition and fertilizer use efficiency*. Uppsala, Sweden: KluwerAcademicPublishers.
- Mortureux, M. (2012). *AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux conclusions de l'autosaisine sur la méthodologie de l'évaluation qualitative des risques liés à la présence de Clostridium perfringens dans le. Maisons-Alfort: Anses.*
- Catherine D. Groh, D. I. (1996). Effect of Heat on the Sterilization of Artificially Contaminated Water. *Journal of Travel Medicine*, Pages 11-13.
- CAWST. (2010). *MANUEL DU FILTRE BIOSABLE - CONCEPTION, CONSTRUCTION, INSTALLATION, FONCTIONNEMENT ET ENTRETIEN*. Alberta: Centre for Affordable Water and Sanitation Technology.
- Anna Richert, R. G.-A. (2011). *Conseils Pratiques pour une Utilisation de l'Urine en Production Agricole*. Stockholm: Sustainable sanitation alliance .
- Martin, T. (2017). *Valorisation des urines humaines comme source d'azote pour les plantes : une expérimentation en serre*. Thiverval-Grignon : INRAE.
- Benjamin CLOUET, B. M.-M. (2020). *PROJET VALURINE - Valorisation d'Urine Humaines sur Des Parcelles Viticoles*. Monptellier: Ecosec.
- Croissant-Rouge, F. i.-R. (Genève). *Traitement et stockage sûr de l'eau à domicile dans les situations d'urgence*. 2008: Fédération internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge.

Annexe 1 : Résumé des normes pour les eaux grises traitées pour les classes de qualités visées

	unité	France - classe A	France - classe B	Europe - classe A	Europe - classe B	Europe - classe C	Europe - classe D
MES	mg/L	<15	<35	<10	<35	<35	<35
Turbidité	NFU			<5 (NTU)	-	-	-
DBO	mg/L O2			<10	<25	<25	<25
DCO	mg/L O2	<60	<125				
Escherichia coli	NPP/100 ml	<250	<10000	<10	<100	<1000	<10000
Escherichia coli	UFC/100 ml	<250	<10000				
Bactériophages ARN F spécifiques	PFP/100 ml	> 4 log (99,99%)	> 3 log (99,9%)				
SBASR		> 4 log	> 3 log				
Entérocoques intestinaux		> 4 log	> 3 log				

Legionella spp.: < 1 000 ufc/l lorsqu'il existe un risque de formation d'aérosols

Nématodes intestinaux (œufs d'helminthes): ≤ 1 œuf/l pour l'irrigation des pâturages ou des fourrages

Annexe 2 : Résultats de la campagne d'analyse sur les urines stockées.

	Résultat semaine 1 Biofaq (jour 0 - 06/07/21)	Résultat semaine 1 UM (jour 1 - 07/07/21)	Résultat semaine 2 Biofaq (jour 7 - 13/07/21)	Résultat semaine 2 UM (jour 7 - 13/07/21)	Résultat semaine 3 Biofaq (jour 14 - 20/07/21)	Résultat semaine 3 UM (jour 15 - 21/07/21)	Résultat semaine 4 Biofaq (jour 21 - 27/07/21)	Résultat semaine 4 UM (jour 23 - 29/07/21)	Résultat semaine 5 Biofaq (jour 28 - 03/08/21)	Résultat semaine 7 UM (jour 43 - 18/08/21)
Turbidité	320 FNU (533 NTU)	400 FNU (666 NTU)		378 FNU (630 NTU)		196 FNU (326 NTU)		168 FNU (280 NTU)		118 FNU (197 NTU)
MES (g/L)	0,354	0,57		0,525		0,32		0,32		0,26
DBO5 (mg/L O2)	4200	1905,54		2511,6		3108				
DCO (mg/L O2)	7660	4912		6968		7531		7072		7166
N Kjeldahl	7236				7249		6		7632	
N total (mg/L TNb)	7236.02	4 880		7990	7249.98	7560	8,34	6740	7632.02	8170
N nitrates (mg/L N-NO3)	< 1	0		0	4.2	0	10	0	< 1	0
N nitrites (mg/ L N-NO2)	0,069	0		0	0.118	0	0.285	0	0.069	0
P phosphates (ortho/total) (mg/L P-PO4)	334.19	273		311	313.27	323	252.77	325	317.52	1660
Salinité (conductivité) (mS/cm)		43,8		43		43,3	43.2	43,7	42,47	43,5
pH	9,1	8,89		8,87	9.0	8,77	8,9	8,8	9	8,79

Bactériologie										
E. coli - Filtration (UFC/100mL)	> 10000									
E. coli - Microplaques (NPP/100mL)	23 027		23 984		46 282		82 980		230 511	
Entérocoques - Filtration (UFC/100mL)	>10000									
Entérocoques - Microplaques (NPP/100mL)	39 827		20 488		6 142		7 132		5 312	
Spores bactéries anaérobies sulfato-réductrices - Filtration (UFC/100mL)	180		120		2 800		700		< 1	
Bactériophages ARN F spécifiques (PFP/mL)	< 1									
Rapport N RNase /N (%)	0									

Les valeurs en jaune sont celles comportant des anomalies, elles ne sont pas prises en compte.

Annexe 3 : Résultats de la campagne d'analyse des eaux grises

Semaine 1		1 - Eau douche	2 - Eaux grises stockées	3 - Sortie FAS	4 - Sortie UV	5 - Eaux jaunes	Calcul mélange FAS seul	Calcul mélange FAS + UV	6 - Sortie mur FAS seul	7 - Sortie mur FAS + UV
Majeurs	MES (mg/L)		64	10	9.4					
Majeurs	Turbidité NFU		26	1.5	2.1					
Majeurs	DBO (mg O2/L)		81	10	15					
Majeurs	DCO (mg O2/L)		186	51	<30					
Bact. Microbio.	Escherichia coli (NPP/100ml)		59438	9202	<58	23027	9340	288	2859	827
Bact. Microbio.	Escherichia coli (UFC/100ml)		10000	10000	< 1	10000	10000	101	1500	1100
Bact. Microbio.	Bactériophages ARN F spécifiques (PFP/100 ml)		<30							
Bact. Microbio.	Rapport N RNase /N (%)		0							
NPK	NO3- (mg/L)	0.25	0.26	0.24	--	4.57	0,28	0,05	2.37	2.13
NPK	NH4+ (mg/L)	0	1.047	0.214	0.085	0.093	0,21	0,09	0.066	0.173
NPK	PO43- (mg/L)	0	1.41	0	0	0	0,00	0,00	0.85	0.57
Autres	Salinité (µS/cm)	66	118.8	104	76.5	26.4	103,22	76,00	194.3	169
Autres	Température (°C)		19.8	19.8	19.8					
Autres	PH	6.7	6.3	7.1	6.8	8.6	7,12	6,82	7.6	7.6

Semaine 2		1 - Eau douche	2 - Eaux grises stockées	3 - Sortie FAS	4 - Sortie UV	5 - Eaux jaunes	6 - Sortie mur FAS seul	7 - Sortie mur FAS + UV
Majeurs	MES (mg/L)		45	11	18		83	25
Majeurs	Turbidité NFU		23	28	7.7		18	34
Majeurs	DBO (mg O2/L)		130	63	50		5	74
Majeurs	DCO (mg O2/L)		269	162	123		148	275
Bact. Microbio.	Escherichia coli (NPP/100mL)		1800	122	545	25636	500	3475
Bact. Microbio.	Escherichia coli (UFC/100mL)							
Bact. Microbio.	Entérocoques intestinaux (UFC/100mL)		260	700	750	8939734	183287	9640
Bact. Microbio.	Spoires bactéries anaérobies sulfatoréductrices (UFC/100mL)		600	100	700	600	800	900
Bact. Microbio.	Bactériophages ARN F spécifiques (PFP/100 ml)							
Bact. Microbio.	Rapport N RNase /N (%)							
NPK	NO3- (mg/L)		0.48	0	0.25	10	7.5	3.69
NPK	NH4+ (mg/L)		1.3	14.08	0.12		0.18	1,08
NPK	PO43- (mg/L)		1.23	0.83	0		0.93	1.4
Autres	Salinité (µS/cm)		183.2	325	129	314.25	410	440
Autres	Température (°C)		21.4	21.5	21.2		21.7	21.2
Autres	PH		6.9	7.1	7.4	4.6	7.8	7.3

Semaine 3		1 - Eau douche	2 - Eaux grises stockées	3 - Sorite FAS	4 - Sortie UV	5 - Eaux jaunes	6 - Sortie mur FAS seul	7 - Sortie mur FAS + UV
Majeurs	MES (mg/L)		76	5.7	4.8			
Majeurs	Turbidité NFU		72	9.4	14			
Majeurs	DBO (mg O2/L)		80	30	6			
Majeurs	DCO (mg O2/L)		256	73	62			
Bact. Microbio.	Escherichia coli (NPP/100mL)						35332	14409
Bact. Microbio.	Escherichia coli (UFC/100mL)		4600	590	> 10000		> 10000	> 10000
Bact. Microbio.	Entérocoques intestinaux (UFC/100mL)							
Bact. Microbio.	Spores bactéries anaérobies sulfatoréductrices (UFC/100mL)		300	300	1000			
Bact. Microbio.	Bactériophages ARN F spécifiques (PFP/100 ml)		< 1					
Bact. Microbio.	Rapport N RNase /N (%)		0					
NPK	NO3- (mg/L)		0.24	--	--		26.3	11.35
NPK	NH4+ (mg/L)		0.8	16.9	3.7		0.8	0.36
NPK	PO43- (mg/L)		0.9	--	--		1.44	1.44
Autres	Salinité (µS/cm)		559	707	419		791	560
Autres	Température (°C)		21.6	21.7	21.5			
Autres	PH		7.2	7.5	7		7.8	8

Annexe 4 : Test d'épuration direct sur le mur végétal sud

	Entrée du mur (eaux grises + urines 5%)	Sortie du mur (eau épurée)
pH	8,88	7,97
Salinité (conductivité) (μS/cm)	2517	2987
Turbidité (FNU)	272	297
MES (g/L)	0,09	0,12
DBO5 (mg/L O2)	234	142
DCO (mg/L O2)	647	731
N total (mg/L TNb)	307,2	128
N nitrates (mg/L N-NO3)	0	> 50
N nitrites (mg/L N-NO2)	0	> 3
P phosphates (ortho/total) (mg/L P-PO4)	13,1	8,29

***attention hors gamme**

	Test 1		Test 2			Test 3		Test 4		Test 4	
	Entrée du mur (eaux grises + urines 5%)	Sortie du mur (eau épurée)	Entrée du mur (eaux grises)	Sortie du mur (eau épurée)	Sortie du mur après stockage 24h (eau épurée)	Entrée du nouveau mur (eaux grises)	Sortie du nouveau mur (eau épurée)	Entrée du nouveau mur (eaux grises + 1% urine)	Sortie du nouveau mur (eau épurée)	Entrée du nouveau mur (eaux grises + 5% urine)	Sortie du nouveau mur (eau épurée)
Nitrites (mg/L)	0	> 3	0	0.15 > x > 0.3	0.15 > x > 0.3	0	0	0	0	0	0.3 > x > 1
Nitrates (mg/L)	0	> 50	0	20 > x > 50	> 50	0	2 > x > 5	0	2 > x > 5	0	2 > x > 5

Annexe 5 : Tests sur les paramètres influençant le pH des urines stockées (3 jours de résultats)

Paramètres	Dilution	Temperature	Air	Ajout urine	26/07/2021 (16h)		27/07/2021 (11h)		28/07/2021 (9h30)	
Flacon #					Température	pH	Température	pH	Température	pH
1	x1	soleil	non	non	36,4	8,78	29	8,98	20,9	9,19
2	x2	soleil	non	non	36,3	8,71	29,5	8,94	20,3	9,16
3	x5	soleil	non	non	37,5	8,61	30,9	8,88	19,8	9,11
4	x1	salle douche	non	non	29,3	8,91	24,4	9,09	22,7	9,09
5	x2	salle douche	non	non	28,7	8,92	24,4	9,08	23,3	9,1
6	x5	salle douche	non	non	28,6	8,9	24,4	9,04	23	9,06
7	x1	abris	non	non	30,5	8,89	29,3	9,01	18,8	9,14
8	x1	soleil	oui pas secoué	non	37,5	8,79	31,5	8,96	19,5	9,19
9	x1	salle douche	oui pas secoué	non	28,4	8,96	24,3	9,12	23,3	9,11
10	x1	soleil	oui secoué	non	36,7	8,81	31,6	8,88	19,3	9,19
11	x1	salle douche	oui secoué	non	28,3	8,95	24,1	9,1	23,3	9,1
12	x1	soleil	oui pas secoué	oui 100ml/semaine	36,7	8,84	34,8	8,88	19,1	9,26
13	x1	abris	oui pas secoué	oui 100ml/semaine	29,5	8,97	28,5	9,1	18,8	9,22
14	x1	salle douche	oui pas secoué	oui 100ml/semaine	28,2	8,98	24	9,12	23,3	9,12