

Projet Néoria Rapport final



Sophie Allebone-Webb, Nolwenn Boudoire, Matéo Bonicelli, Claire Carré & Benjamin Clouet

Février 2023, v.5



Sommaire

Table des matières

Sommaire	2
Liste des figures	3
Liste des tableaux	3
1. Introduction	4
1.1. Préambule	4
1.2. Les besoins	4
1.3. Contexte	5
1.3.1. Les projets	5
1.3.2. Les acteurs et les lieux	5
1.4. Objectifs du projet	5
1.5. Les actions prévues	6
2. Etudes préliminaires (Action 1)	7
2.1. Potagers verticaux	7
2.2. Caractéristiques adaptatives nécessaires à une structure rotative	8
2.3. Sources d’eaux ménagères	8
2.4. Contexte réglementaire	9
2.4.1. Les eaux usées	9
2.4.2. Les eaux jaunes	10
2.5. Niveaux de traitement et filtrage nécessaires	10
2.5.1. Traitement des eaux grises	10
2.5.2. Traitement des eaux jaunes	11
3. Test structural en atelier (Action 2a)	12
3.1. Développement du design rotatif	12
3.1.1. Evolution du design	12
3.1.2. Stabilité et poids de la structure	13
3.2. Construction et installation du modèle rotatif	14
3.3. Système modulable	16
3.4. Cages, substrats et doublages	17
4. Tests sur le traitement des eaux grises et jaunes, et l’irrigation (Action 2b)	18
4.1. Eaux grises	18
4.2. Eaux jaunes	22
4.2.1. Stockage des urines pendant six mois	22
4.2.2. Conditions de stockage	23
5. Suivi de production alimentaire (Action 3)	25
5.1. Espèces de plantes	25
5.2. Rendement de culture	26
6. Vulgarisation et communication (Action 4)	27
6.1. Guide technique	28
7. Budget	28
8. Planning	28
9. Bibliographie	28
Annexe 1. Réutilisation des eaux usées – contexte réglementaires	31
Annexe 2. Planning initial	34
Annexe 3. Posters et plaquettes	35
Plaquette conceptuelle	35
Plaquette : présentation de la structure rotative	36

Liste des figures

Figure 1. Cultures en surfaces horizontales (c & d), et verticales (e & f)	7
Figure 2. Exemples des systèmes verticaux hydroponiques	7
Figure 3. Exemples des potagers verticaux low-tech utilisant des matériaux de réemploi, comme des a) palettes, b) bouteilles plastiques et c) gouttières	8
Figure 4. Les critères à considérer pour un projet de Réutilisation d'Eaux Usées Traitées REUT. Figure pris du rapport d'Ecofilae (Jabet and Déclercq, 2020)	9
Figure 5. Design Néoria 1	12
Figure 6. Design Néoria 2	12
Figure 7. Design Néoria 3	13
Figure 8. Modélisation de la structure Néoria sous Rdm7 (à gauche : avant déformation ; à droite : après déformation)	14
Figure 9. Construction en atelier	14
Figure 10. Installation à l'extérieur	15
Figure 11. Installation des cages	15
Figure 12. Structure installée en 2021 avec 20/40 des cages	15
Figure 13. a) Structure rotative avec 40/40 cages en 2022. b) le système d'irrigation	16
Figure 14. Cages végétalisées installées à l'intérieur d'un balcon	16
Figure 15. Cages installées a) à l'extérieur d'un balcon, et b) sur les deux côtés	17
Figure 16. Types de doublages différents	17
Figure 17. Filtre à sable installé à Macondo	18
Figure 18. Stérilisateur UV BioHome 3	19
Figure 19. Points d'analyses	19
Figure 20. Pathogènes dans les urines, par #jours stockés	23
Figure 21. Graphique de l'évolution du pH en fonction de la température le 29/07 à 14h30	23
Figure 22. Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de la quantité d'air dans le flacon	24
Figure 23. Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de la dilution	24
Figure 24. Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de l'agitation des flacons	24
Figure 25. Plantes alimentaires diverses dans les cages Néoria	26
Figure 26. Aromatiques diverses dans les cages diverses	26

Liste des tableaux

Tableau 1. Poids des éléments du système Néoria	13
Tableau 2. Paramètres étudiés	19
Tableau 3. Résultats concernant les pathogènes aux trois points de prélèvement : 2, 3 & 4	20
Tableau 4. Résultats concernant les paramètres physico-chimiques aux trois points de prélèvement : 2, 3 & 4	21
Tableau 5. Analyses réalisées sur les urines stockées durant 6 mois	22
Tableau 6. Espèces de plantes alimentaires cultivées	25
Tableau 7. Budget Néoria	28
Tableau 8. Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées (A, B, C et D)	29
Tableau 9. Les niveaux de qualité pouvant être atteint pour des eaux brutes faiblement chargées en micro-organismes	29
Tableau 10. Fréquence de surveillance des eaux usées traitées, des boues et des sols	30
Tableau 11. Contraintes d'usage des eaux usées traitées	31
Tableau 12. Planning prévu au début du projet	32

1. Introduction

1.1. Préambule

Le GIEC prévoit une réduction du débit des cours d'eau français entre 20 et 40 % d'ici 30 ans. La fin du phosphore abondant et du transport des aliments sur des milliers de km doit nous pousser à réinventer la production agricole des centres urbains. Séparés à la source et gérés individuellement dans l'habitat, le compost (substrat), les eaux de douches (irrigation) et les urines (engrais) contiennent tous les éléments nécessaires pour faire de l'agriculture. Le projet montpelliérain en cours Cycloasis¹ propose des murs végétaux irrigués d'eaux de lavage corporel traitées et d'urines hygiénisées afin de créer en basse technologie une enveloppe de fraîcheur, et de réduire les dépenses de climatisation. Néoria ajoute une brique à ce projet en rendant le mur productif au niveau alimentaire, afin de rendre possible l'agriculture urbaine de manière verticale et durable, valorisant localement nos déchets les plus primaires.

1.2. Les besoins

L'agriculture urbaine, le rafraîchissement de nos villes et la dépollution de nos cours d'eau peuvent être combinés dans une boucle vertueuse d'économie d'eau et de valorisation totale des flux générés dans l'habitat. La valorisation agricole de l'urine humaine est un sujet émergent qui pourrait apporter résilience et durabilité à nos systèmes alimentaires actuels dans les centres urbains (ARCEAU, 2021; Besson, 2017).

Les tendances à l'élévation des températures issues des projections du cinquième rapport du GIEC sont claires et alarmantes (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Le bilan actualisé des connaissances sur l'impact du changement climatique sur le bassin Rhône Méditerranée Corse, prévoit une diminution des précipitations estivales de -15 à -55%, des débits d'étiages de -10 à -60%, de la recharge des nappes d'eaux souterraines de 15%, ainsi qu'une augmentation du nombre de cours d'eau intermittents (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2018; BRLi, 2023). L'été 2019 en Occitanie a cumulé les records côté chaleur, avec une pointe jamais atteinte dans l'Hérault à 46 °C.

Dans un même temps, les populations ne cessent d'augmenter, surtout en ville, et les urgences de changement climatique incitent à réduire l'impact environnemental de nos produits alimentaires (Barbier et al., 2019; Crippa et al., 2021).

Face à ces enjeux et à ces menaces de stress hydrique de plus en plus fréquentes, un des grands enjeux de durabilité dans le secteur résidentiel urbain est l'utilisation rationnelle de l'eau (Alix et al., 2022). Réduire les pressions sur l'environnement en diminuant : (1) les rejets d'effluents dans les milieux naturels et (2) les prélèvements sur les ressources en eau, tout en mobilisant de nouveaux gisements d'eau encore inexploités, sont des leviers majeurs pour l'adaptation au changement climatique.

Si la végétalisation des villes paraît être la seule alternative crédible à la climatisation, la raréfaction de l'eau et des engrais nous oblige à sortir des cases, à remettre en cause le tout à l'égout, à s'intéresser à nos eaux grises et nos urines. Pour pallier l'étroitesse des espaces des habitations urbaines, les murs végétaux se sont multipliés. Cependant, ils sont quasiment toujours irrigués d'eau potable et ne sont pas pensés pour être facilement amovibles et atteignables sans moyens de levage. En parallèle, le besoin de réduire l'impact environnemental de notre production alimentaire et la multiplication de nos potagers partagés montrent que l'agriculture urbaine peut être une des solutions. L'utilisation des

¹ www.cycloasis.fr

murs végétaux comme potager, utilisant très peu d'intrants et très peu de superficie de terrain est donc une des solutions à suivre.

1.3. Contexte

1.3.1. Les projets

Néoria se greffe et bénéficie de toute l'énergie d'un projet de bien plus grande ampleur : Cycloasis (ex Deconnect), qui bénéficie d'un financement région Occitanie à hauteur de 499 400 €. L'objectif du

Les objectifs du projet Néoria sont de valoriser les espaces non utilisés d'un bâtiment de milieu urbain (ses murs), ses déchets organiques (eaux grises et jaunes, et ses biodéchets) afin de réaliser une production alimentaire type « potager vertical » de manière écologique, esthétique et à bas

projet Cycloasis est de mesurer l'impact rafraîchissant d'un mur végétal irrigué aux eaux de douche et urines séparées à la source. Les aspects réglementaires, techniques, sanitaires, sociologiques et environnementaux sont étudiés avec attention. Dans ce contexte dynamique, Néoria est la déclinaison alimentaire de ce projet. Néoria proposait d'aller plus loin et de développer un mur végétal arrosé par les eaux de douche et fertilisé avec les urines séparées à la source, mais cette fois-ci pour une production alimentaire. De plus, le projet a permis de tester un système de poulie facilitant l'entretien des plantes et l'accès à la production sans engins de levage.

1.3.2. Les acteurs et les lieux

Le projet Néoria est piloté par Casalez², une association autour d'un habitat participatif du même nom. La partie technique et agricole du projet est menée par Ecosec, une SCOP et entreprise d'insertion, qui travaille depuis des années sur la séparation à la source et le couplage des systèmes d'alimentation et d'excrétion humaine.

Le monde de l'habitat participatif s'engage régulièrement pour bouger les lignes et démontrer qu'un autre monde est possible. Avec leurs petits moyens, ils arrivent souvent à des degrés de créativité, d'imagination jamais égalés dans la promotion immobilière conventionnelle. Problématique multi critères, au final les aspects d'acceptabilité sont vite apparus comme beaucoup plus complexes à résoudre que les aspects techniques et sanitaires. Dans ce contexte, Ecosec a trouvé avec le projet Casalez une capacité de se projeter dans d'autres modèles. De cette association est née une série de projets intégrés d'innovation basse technologie pour développer un habitat le plus vertueux possible. Aujourd'hui, 51 coopérateurs soutiennent économiquement ce projet qui rayonne au plan local.

L'habitat participatif Casalez étant en construction avec les délais liés à la situation Covid, la construction du prototype Néoria s'est effectuée dans les ateliers d'Ecosec et est maintenant installée dans le tiers lieu de Macondo où Ecosec est situé.

1.4. Objectifs du projet

L'objectif du projet est de démontrer qu'à l'échelle de la parcelle, sans foncier supplémentaire, sans apports extérieurs d'eau et d'engrais, et en basse technologie, une production agricole est possible tout en rafraîchissant la zone. Les techniques sont toutes maîtrisées, seul le passage en situation réelle manquait. Le groupe a pleinement conscience qu'une expérimentation sur un terrain privé, avec un collectif en gouvernance partagée, sans voie publique ne permettra pas de passer instantanément à l'échelle d'un centre-ville.

Ainsi, les enjeux sont multiples, la réglementation et l'acceptabilité seront des parties importantes à développer dans un second temps. Les bénéficiaires sont, à terme, l'ensemble des résidents

² www.casalez.coop

d'immeubles de centres urbains au nord comme au sud qui n'ont aucun accès à du foncier pour réaliser un peu de production vivrière.

En combinant les bénéfices de l'îlot de fraîcheur, de l'économie d'eau avec les bienfaits d'une production agricole durable et ultra-locale, nous souhaitons que les aménageurs urbains considèrent les flux liquides d'un immeuble comme une ressource et non un « réseau d'assainissement » qu'il conviendrait juste d'évacuer.

1.5. Les actions prévues

Au démarrage du projet, les actions suivantes étaient prévues :

1. Etudes préliminaires

Bibliographie, étude technique de séparation, analyse si seules les douches sont pertinentes à récupérer et utiliser (eaux ménagères les plus diluées).

2. Tests structure et irrigation en atelier

Construction et test du prototype, analyses procédées d'hygiénisation des urines et eaux ménagères sur le site d'ECOSEC. L'action 2 demandant le plus de travail d'optimisation est divisée en deux parties :

- **a) Test structural en atelier** – le développement et construction du modèle rotatif et ses cages végétalisées
- **b) Tests sur l'irrigation** – tests sur le système de traitement et d'hygiénisation des eaux grises et jaunes, ainsi que le système d'irrigation lui-même.

3. Deux saisons de production

Sur deux saisons, test *in situ* (sur le site de l'habitat participatif de CASALEZ) sur une grande variété de légumes.

4. Vulgarisation/Communication

Écriture d'un guide technique pour diffusion de cette approche, réalisation d'un film et d'une exposition, et suivi en direct des expérimentations sur notre site internet.

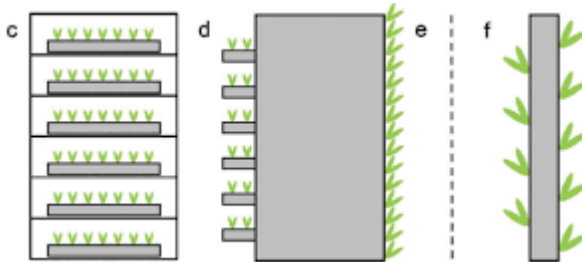
Nous avons mené ces différentes actions entre 2021 et 2022 dont nous vous présentons ci-après les principaux résultats obtenus.

2. Etudes préliminaires (Action 1)

2.1. Potagers verticaux

Il existe différentes formes de production alimentaire/agriculture verticale, ou *Vertical Farming* (VF) (Kalantari et al., 2017). Elles peuvent être divisées en deux catégories : production en multiples surfaces horizontales empilées ; ou seulement le long d'une surface verticale (Beacham et al., 2019), Figure 1.

Figure 1. Cultures en surfaces horizontales (c & d), et verticales (e & f)



L'agriculture verticale a l'avantage d'être beaucoup plus productive au km², jusqu'à 500 fois plus productive selon Adenaeuer (2014) et Kozai *et al.* (2019). De plus ce type de culture est plus facile à installer dans ou près des centres urbains, donc les produits sont plus proches des consommateurs et moins onéreux à transporter. Néanmoins, cette agriculture nécessite des systèmes intérieurs très souvent contrôlés comme en hydroponie (ex. Figure 2). Ces systèmes hydroponiques verticaux fonctionnent en circuit fermé, utilisent moins d'eau (Benke and Tomkins, 2017; Graamans et al., 2018; Wildeman, 2020), rejettent moins d'engrais et autres produits chimiques émis dans la nature (Gruda, 2019; Wildeman, 2020). Mais selon le type de production et les méthodes utilisées, ces systèmes peuvent être économiquement et énergétiquement très coûteux (Kozai et al., 2019).

Les systèmes basse technologie, écologiques et à l'extérieur permettent quant à eux de maximiser des avantages tant économiques qu'environnementaux. De nombreuses solutions verticales basse technologie ont vu le jour utilisant des matériaux peu chers et/ou provenant des circuits circulaires de réemploi (ex. palettes, bouteilles plastiques, Figure 3). Mais, ces systèmes présentent une limite de hauteur (assez basse comme la taille d'une personne). Pour les construire plus haut, l'utilisation d'escabeau ou échelle est nécessaire. Une autre solution serait qu'ils soient rotatifs, mais techniquement plus audacieux. Nous proposons dans notre projet d'explorer cette solution et d'apporter les différentes astuces pour sa construction et son maintien dans le temps.

Figure 2. Exemples des systèmes verticaux hydroponiques



Figure 3. Exemples des potagers verticaux low-tech utilisant des matériaux de réemploi, comme des a) palettes, b) bouteilles plastiques et c) gouttières



2.2. Caractéristiques adaptatives nécessaires à une structure rotative

Pour que les plantes puissent pousser assez haut de manière verticale et être accessibles sans obligation de monter sur un escabeau ou échelle, nous proposons donc une structure rotative qui doit présenter les caractéristiques adaptatives suivantes :

- Que la structure soit facile à remplacer et replanter quand nécessaire → système modulaire assez petits et pas trop lourds à manipuler
- Que les plantes restent dans le même sens, même si le structure tourne → modules suspendus prévus
- Qu'elle soit écologique et durable → cages/gabions construits de grillage réutilisable pour faire des gabions modulaires, assez grands pour supporter le développement des plantes dans le temps.

2.3. Sources d'eaux ménagères

Selon une analyse réalisée par nos partenaires, Ecofilae (Jabet and Déclercq, 2020), dans le contexte du projet Cycloasis, nous avons choisi de focaliser notre choix à la réutilisation des eaux grises de la douche, les plus abondantes et moins chargées que les eaux usées ménagères (Figure 4).

Figure 4. Les critères à considérer pour un projet de Réutilisation d'Eaux Usées Traitées REUT. Figure pris du rapport d'Ecofilae (Jabet and Déclercq, 2020)

Opportunités d'usage	Contraintes / Limites	Pertinence
Eaux de cuisine	Présentent des teneurs en matières organiques et particulaires élevées	Eaux en général écartées dans les REX de réutilisation pour faciliter le traitement.
Eaux de salle de bains (douche/évier)	Usagers à sensibiliser sur les risques de rejet et les bonnes pratiques à adopter	Eaux les moins risquées, facilité de traitement, volume assuré et constant
Eaux de lavage (linge)	Problèmes de fibres dans l'eau	A écarter dans un premier temps
Eaux jaunes	Risques de contamination pathogène par les fèces, risques d'odeurs	Apports en éléments fertilisants pour le mur végétalisé
Eaux de drainage		Rôle phyto-épuration A réintégrer dans le circuit ?
Eaux pluviales	Inconstance des apports (saisonnalité des pluies non)	Peu intéressant dans le cadre du projet

2.4. Contexte réglementaire

2.4.1. Les eaux usées

La réutilisation des eaux usées traitées (REUT) est une pratique émergente et relativement peu développée en France (<1% des eaux épurées étant ré-utilisées) et est donc soumise à une réglementation récente et évolutive visant un champ limité d'applications (Jabet and Déclercq, 2020).

A ce jour, seulement la réutilisation d'eau épurée d'origine urbaine pour un usage d'irrigation de cultures ou d'espaces verts est réglementée. Les autres usages doivent faire l'objet d'autorisations au cas par cas. La réutilisation des eaux usées en France est cadrée par plusieurs textes :

- **La réglementation Française** : Arrêté du 2 août 2010³ modifié par l'arrêté du 25 juin 2014 et par l'arrêté du 26 avril 2016
- **La réglementation Européenne** : Règlement (UE) 2020/741 du 25 mai 2020 relatif aux « Exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau »

2.4.1.1. Focus sur la réglementation Française

L'arrêté de 2010 modifié par les arrêtés de 2014 et 2016 fixe les prescriptions sanitaires et techniques visant à garantir la protection de la santé publique, de la santé animale et de l'environnement ainsi que la sécurité sanitaire des productions agricoles (Jabet and Déclercq, 2021). Spécifiquement :

- **L'article L. 1321-1 du code de la santé publique (CSP)⁴** interdit l'utilisation d'eau impropre à la consommation pour les usages domestiques, à l'exception des cas prévus en application de l'article L. 1322-14 du même code.
- **Cet article L. 1322-14⁵** précise que l'utilisation d'eaux telles que mentionnées au deuxième alinéa de l'article L. 1321-1 est possible pour certains usages, domestiques, lorsque la qualité de ces eaux n'exerce aucune influence, directe ou indirecte, sur la santé de l'utilisateur et sur la salubrité de la denrée alimentaire finale.

Le décret en Conseil d'Etat qui doit déterminer les modalités d'application de cette disposition pour chaque type d'eau concernée n'est pas encore publié. Il doit notamment préciser pour chaque type d'eau concernée : 1) Les catégories d'usage possibles et les conditions auxquelles chacune d'elles est soumise ; 2) Les cas dans lesquels l'utilisation des eaux est subordonnée à une autorisation délivrée, à l'utilisateur ou au producteur, par l'autorité compétente de l'Etat ou à une déclaration préalable effectuée, par l'utilisateur ou le producteur, auprès de cette autorité ; 3) Les modalités selon lesquelles l'utilisateur ou le producteur sont tenus de mettre en œuvre des mesures de surveillance et de se soumettre à des mesures de contrôle ainsi que les conditions dans lesquelles les dépenses liées au contrôle peuvent être mises à leur charge.

L'arrêté de 2010 modifié par les arrêtés de 2014 et 2016 encadre plusieurs points, inclus :

- L'arrêté définit **trois méthodes d'irrigation**, les prescriptions pouvant varier de l'une à l'autre : l'irrigation par aspersion (canons, asperseurs ou turbines), l'irrigation gravitaire (canaux, rigoles, etc.) et l'irrigation localisée : système goutte-à-goutte ou micro-aspersion (pression <3,5 bars et débit < 200L/h).

³ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000022753522/>

⁴ https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000036511464/

⁵ https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000036507554/



- Les eaux usées traitées doivent répondre à des niveaux de qualité (A, B, C ou D) afin d'être réutilisables en sortie de STEU. Ces niveaux se basent sur des paramètres physico-chimiques (MES, DCO) et des mesures de taux de pathogènes, voir Tableau 7 et Tableau 8 en Annexe 1.
- L'exploitant de la STEU (et du système de traitement complémentaire, le cas échéant) met en place un programme de surveillance des eaux usées traitées (EUT) et des boues, voir Tableau 9 en Annexe 1 pour la fréquence des analyses.
- Les types d'usages permis selon la qualité des EUT sont détaillés en Tableau 10, Annexe 1.

2.4.2. Les eaux jaunes

A ce jour, il n'existe pas d'encadrement réglementaire pour l'utilisation des urines à des fins agronomiques ou pour d'autres usages non agricoles tels que la fertilisation de murs végétalisés ou d'espaces verts. La réutilisation des eaux jaunes figure à ce jour dans le chapitre V de l'arrêté du 7 septembre 2009.

- Ce type d'usage n'entre effectivement pas dans le champ de la réglementation relative à la réutilisation des eaux usées traitées⁶
- En assainissement non collectif, l'article 17 de l'arrêté du 7 septembre 2009⁷ indique qu'il est possible de valoriser les sous-produits de toilettes sèches (dont les urines) sur la parcelle de l'habitation, mais seulement après compostage. Dans une prochaine mise à jour de cet arrêté il serait semble-t-il, toutefois prévu d'intégrer la possibilité de stocker les urines lorsqu'elles sont collectées séparément en vue d'une valorisation à la parcelle ou en vue d'être exportées pour d'autres usages (épandage par exemple)

Après une demande de la direction générale, l'ANSES autorise sa mise en place sous conditions que ces mesures soient respectées :

- Le réseau de collecte des urines doit être bien distinct,
- Cela est uniquement possible pour un usage limité à la parcelle pour les chasses d'eau, pour l'arrosage extérieur et le lavage des surfaces extérieures,
- Ce système doit faire l'objet d'une analyse des risques et d'un bilan en azote,
- Les habitants doivent être informés de la mise en place de ce système de valorisation des urines.

L'OMS quant à elle, recommande le stockage des urines pendant 6 mois à une température supérieure à 20°C pour éliminer la totalité des pathogènes⁸.

2.5. Niveaux de traitement et filtrage nécessaires

2.5.1. Traitement des eaux grises

Le procédé de traitement a pour but d'être le plus low-tech possible, pour cela l'outil principal de traitement proposé 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 % des 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.

⁶ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000022753522/>

⁷ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000021125886/>

⁸ https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78280/9789242546859_fre.pdf

Afin d'éliminer les 1% restant de pathogènes et sécuriser l'environnement des habitants, un filtre à charbon et un stérilisateur UV sont ajoutés au filtre à sable. Un stérilisateur seul ne serait pas suffisant, la turbidité des eaux grises brutes étant trop importante à son bon fonctionnement.

2.5.2. Traitement des eaux jaunes

Selon les consignes de l'OMS, les urines doivent donc être stockées pendant 6 mois pour assurer leurs hygiénisations. Des expérimentations sont en cours à Macondo sur des urines collectionnées depuis le procédé de toilette sèche développé par Ecosec (proposant le trône « Ecodoméo », les mêmes qui seront installés dans certains des appartements de Casalez) et permettront de valider cette approche. Ses expérimentations ont été réalisées en février 2022.

3. Test structural en atelier (Action 2a)

3.1. Développement du design rotatif

3.1.1. Evolution du design

Le design de la structure rotative a eu plusieurs évolutions (Figure 5, Figure 6, Figure 7), chaque fois plus détaillées et adaptées aux caractéristiques évoquées dans le paragraphe 2.2. Inspirés des structures rotatives des magasins de vente de moquette, et après avoir consulté les fournisseurs sur les pièces disponibles, la structure finale a été fixée (Figure 7). Les roues, axes et chaînes ont été achetés d'occasion, et la structure elle-même a été fabriquée sur mesure dans les ateliers d'Ecosec.

Figure 5. Design Néoria 1

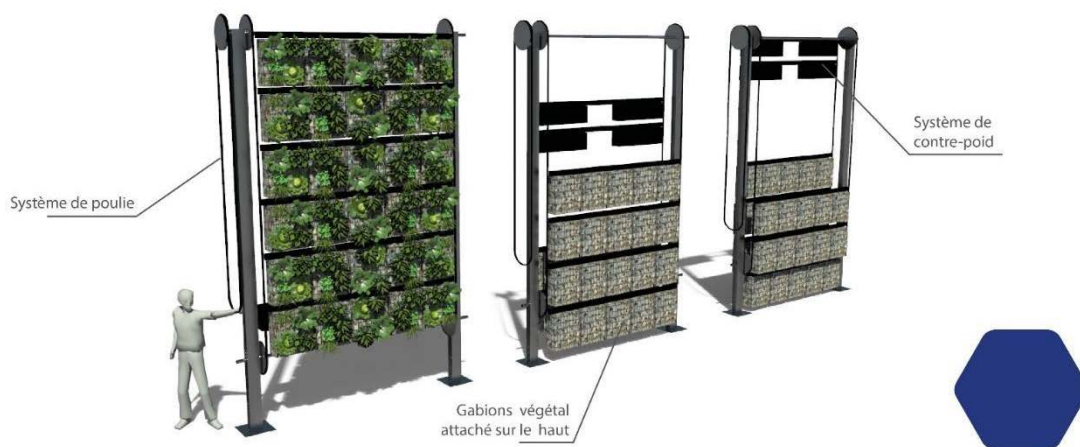


Figure 6. Design Néoria 2

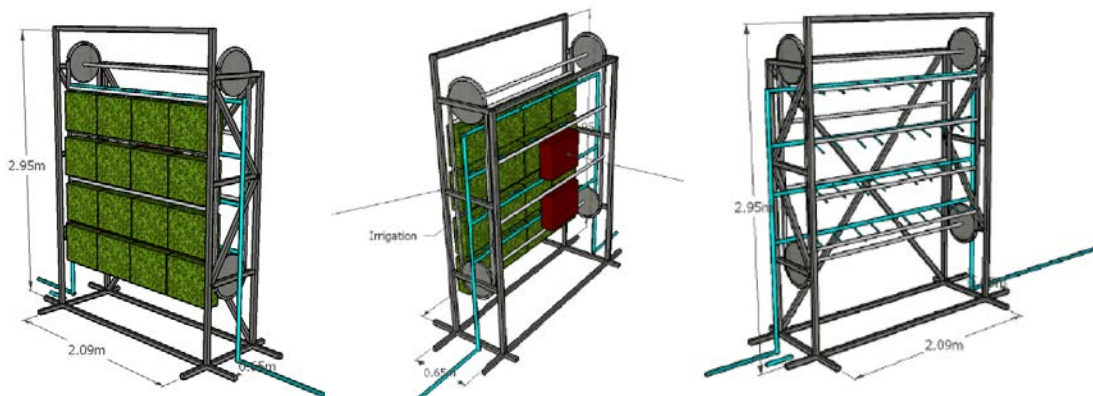
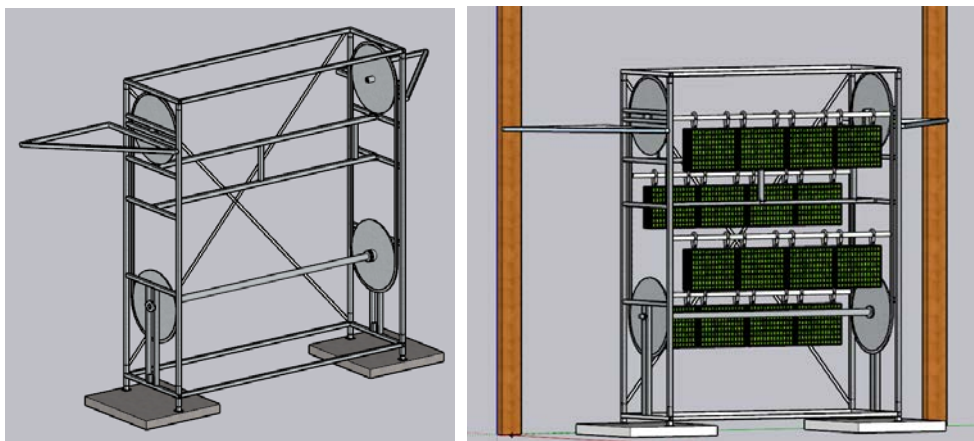


Figure 7. Design Néoria 3



3.1.2. Stabilité et poids de la structure

La stabilité de la structure a été vérifiée afin de s’assurer qu’elle supporte les efforts auxquels elle serait soumise. Afin de modéliser notre structure, nous avons dû poser plusieurs hypothèses :

- Le poids de l'ensemble (Tableau 1) est entièrement supporté par les axes des roues hautes, ceux-ci étant soudés à des tubes horizontaux. Ils ont été chacun modélisés par un nœud sur une poutre reliant ces deux tubes et le poids sera exercé sur ces nœuds ;
- On se place en situation la plus défavorable, les deux points d’application de la force supportant chacun l'ensemble du poids ;
- On considère un coefficient de sécurité de 1,2.

Tableau 1. Poids des éléments du système Néoria

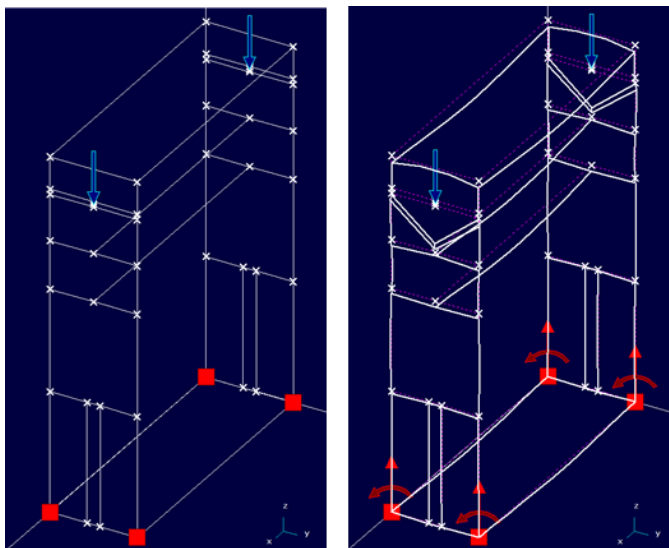
	Poids par unité (kg)	# dans la structure	Poids totale (kg)
Roues (hautes et basses)	27	4	108
Axe des roues basses	10	2	20
Barres horizontales	1,87 kg x 2,5 m	8	37,4
Roues dentées	50	1	50
Cages végétalisées ⁹	25	40	1000
Chaînes	100	2	200
Arbre de transmission	60	1	60
TOTAL			1475,5

Cet ensemble a une masse totale $m = 1475,5$ kg qui génère une force $P = m \times g = 1475,5 \times 9,81 = 14\,475$ N. Le coefficient de sécurité de 1,2 est appliqué, ainsi la force exercée maximale est $F_s = 1,2 \times 14\,475 = 17\,370$ N.

Le Rdm7 est un logiciel utilisant la méthode des éléments finis et son module « ossature », qui permet l’analyse statique et dynamique des ossatures planes ou tridimensionnelles. Après modélisation, le logiciel montre que le plus grand déplacement nodal survient sur le nœud 44 (point d'application de la force) avec un déplacement de 1,45 mm selon -z. Les normes en génie civil acceptent autant de déformation (jusqu'à 1 cm). Ainsi la structure choisie réalisée avec des tubes carrés en acier de section 40x40x2 mm résistera aux charges à laquelle elle sera contrainte. Les résultats de ces analyses ayant donc été favorables (Figure 8), la structure a pu être construite.

⁹ Une cage de 45x50x10 cm pèse au maximum 25 kg lorsqu’elle est mouillée et végétalisée.

Figure 8. Modélisation de la structure Néoria sous Rdm7 (à gauche : avant déformation ; à droite : après déformation)



3.2. Construction et installation du modèle rotatif

Le modèle prototype ainsi que les cages ont été construites dans les ateliers d'Ecosec, sur le site de Macondo (Figure 9), puis démontés et installés à l'extérieur (Figure 10) sur des pneus remplis de ciment, et stabilisés avec une attache au bâtiment. Les barres horizontales ont été placées, les cages installées (Figure 11, Figure 12), l'irrigation mise en place - un système de gouttes à gouttes en dessous de la structure raccordée à une réserve d'eaux grises traitées sous pression (environ 2 bars). L'irrigation est gérée par un minuteur permettant d'automatiser l'arrosage. Le système le plus simple a tout d'abord été choisi, l'irrigation placée au-dessus des cages, qui alignées verticalement recevront l'eau les unes après les autres.

Figure 9. Construction en atelier

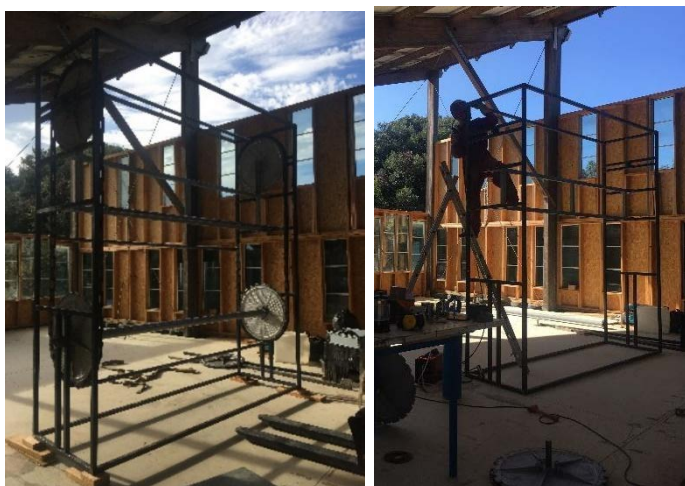


Figure 10. Installation à l'extérieur



Figure 11. Installation des cages



Figure 12. Structure installée en 2021 avec 20/40 des cages



Figure 13. a) Structure rotative avec 40/40 cages en 2022. b) le système d'irrigation



3.3. Système modulaire

Le design du système des cages végétalisées permet l'installation des cages dans plusieurs lieux et configurations, adapté à chaque maison et appartement. Il est facilement possible d'installer les cages sur les balcons, les murs extérieurs, les terrasses et autres usages, utilisant le même système d'accroches, plantes et irrigation (ou de passer en arrosage manuel pour les petites installations). Par exemple, dans les petits balcons urbains, les cages peuvent être installées à l'intérieur et à l'extérieur d'un balcon (Figure 14, Figure 15).

Figure 14. Cages végétalisées installés à l'intérieur d'un balcon



Figure 15. Cages installées a) à l'extérieur d'un balcon, et b) sur les deux côtés



3.4. Cages, substrats et doublages

Nous avons fabriqué 40 cages (gabions) et les avons installés sur la structure rotative, donnant une surface verticale de culture de presque 10 m² alors que la surface au sol est de 3 m². Des essais de substrats et doublages différents ont été effectués, afin de trouver un bon équilibre entre durabilité, prix et impact environnemental. Les substrats testés incluent : compost (à base de déchets ménagers), fibre de bois (réemploi, récupérées d'un chantier de démolition), Bois Raméal Fragmenté (BRF), fibres de noix de coco, et mousse sphaigne. Les doublages testés incluent : fibres de bois (coupées pour faire qu'une couche à l'extérieur) et différents types de géotextiles (inclus organiques et à base de plastique), Figure 16.

Figure 16. Types de doublages différents



4. Tests sur le traitement des eaux grises et jaunes, et l'irrigation (Action 2b)

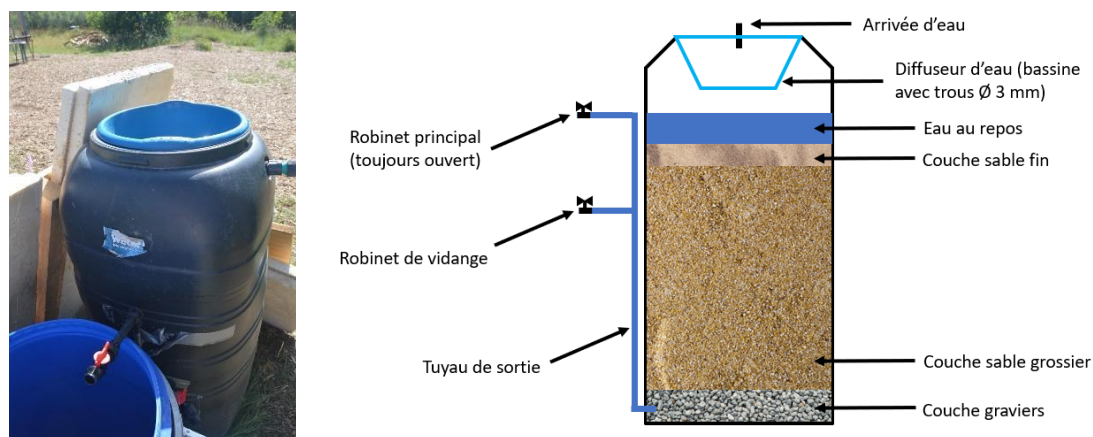
Des analyses d'hygiénisation des urines et des eaux grises ont été effectuées pour déterminer les traitements et filtrations nécessaires pour que les eaux utilisées rentrent dans le cadre réglementaire. Elles ont été menées en s'appuyant sur les protocoles déployés dans le cadre du projet Cycloasis et en collaboration avec notre partenaire Ecofilae, Le suivi a été réalisé entre juin et octobre 2021. Un résumé des résultats est présenté ci-dessous. Pour les détails, se conférer aux documents suivants¹⁰ :

- Développement et fonctionnement du filtre à sable (Boudoire, 2021)
- Protocole expérimental (Allebone-Webb et al., 2021b)
- Résultats des tests sur le traitement des eaux grises (Allebone-Webb et al., 2021a; Boudoire, 2021)
- Résultats des tests sur le traitement des eaux jaunes (Allebone-Webb et al., 2022; Boudoire, 2022)

4.1. Eaux grises

L'efficacité du traitement des eaux grises a été testée de 2 façons : (1) filtration longue sur filtre à sable seul (Figure 17), celui-ci est installé à part du mur sur le lieu expérimental à Macondo vs (2) le système de traitement des eaux grises plus complet composé donc d'une filtration sur filtre à sable, suivi d'un filtre à charbon et d'un stérilisateur UV (Figure 15). Des analyses à intervalles réguliers portant sur les paramètres physico-chimiques et les pathogènes ont été effectuées avant et après chaque étape de traitement (Figure 1).

Figure 17. Filtre à sable installé à Macondo



¹⁰ Tous les documents sont disponibles sur le site internet www.cycloasis.fr

Figure 18. Stérilisateur UV BioHome 3



Figure 19. Points d'analyses

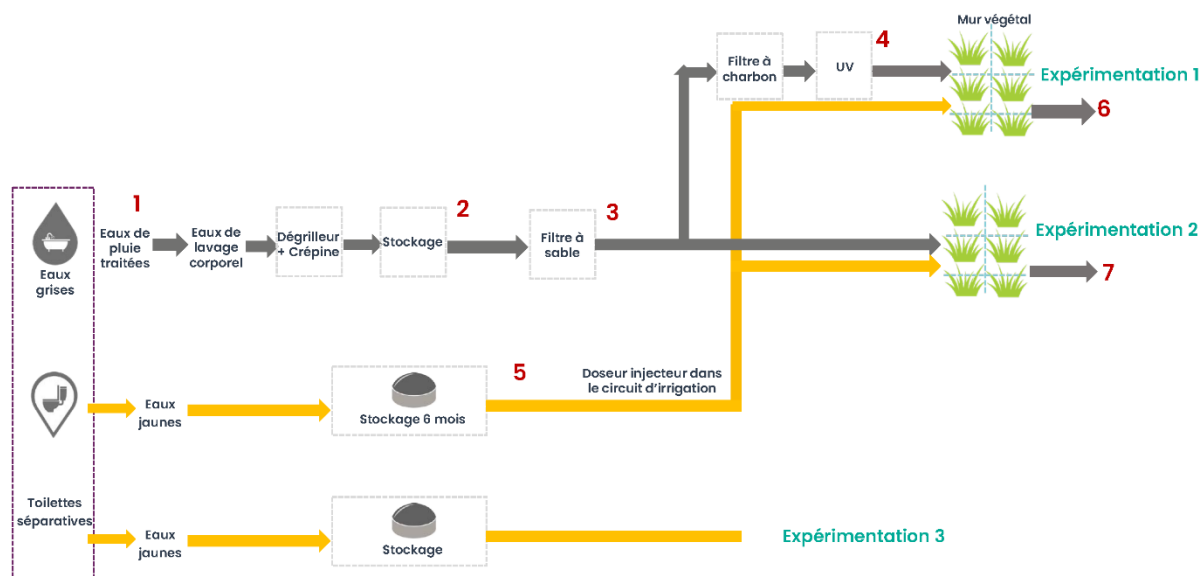


Tableau 2. Paramètres étudiés

Catégorie	Paramètre
Bactériologiques	<i>Escherichia coli</i>
	Entérocoques intestinaux
	Phages ARN-f - Bactériophages ARN F spécifiques
	SBASR - Spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs
Physico-chimiques	MES - Matières en suspension totales
	Turbidité
	pH
	Salinité (conductivité)
	DBO5 - Demande biochimique en oxygène (DBO) avec ATU (5 j)
	DCO - Demande chimique en oxygène (indice ST-DCO)
Nutriments solubles	N Azote globale, NH4+ (mg/l)
	N nitrates, NO3-
	Phosphate, PO43-

Les résultats obtenus à l'aide du système de traitement des eaux grises ont été encourageants. Le filtre à sable a permis la diminution des matières en suspension totales (MES), de la turbidité et des autres paramètres pour un bon fonctionnement du stérilisateur ainsi qu'un abattement important des

pathogènes. Il a été démontré que le stérilisateur est quant à lui indispensable pour éliminer tout risque de pathogènes comme le montrent les documents suivants (Tableau 3, Tableau 4) :

Tableau 3. Résultats concernant les pathogènes aux trois points de prélèvement : 2, 3 & 4

Catégories	2 - Eaux grises stockées	3 – Sortie filtre à sable	4 – Sortie UV
Semaine 1 : 01/06/2021 Engrais : Urines stockées 6 mois			
<i>Escherichia coli</i> (NPP/100mL)	59438	9202	<58
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)	>10000	>10000	< 1
Phages ARN-f - Bactériophages ARN F spécifiques	<30		
Rapport N RNase /N (%)	0		
Semaine 2 : 08/07/2021 Engrais : Urines traitées avec processus Toopi¹¹			
<i>Escherichia coli</i> (NPP/100mL)	1800	122	545*
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)			
Entérocoques intestinaux (UFC/100mL)	260	700	750*
Spores bactéries anaérobies sulfatoréductrices (UFC/100mL)	600	100	700*
Phages ARN-f - Bactériophages ARN F spécifiques			
Rapport N RNase /N (%)			
Semaine 3 : 27/07/2021 Pas d'engrais			
<i>Escherichia coli</i> (NPP/100mL)			
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)	4600	590	> 10000*
Entérocoques intestinaux (UFC/100mL)			
Spores bactéries anaérobies sulfatoréductrices (UFC/100mL)	300	300	1000*
Phages ARN-f - Bactériophages ARN F spécifiques	< 1		
Rapport N RNase /N (%)	0		
Semaine 4 : 24/08/2021 Pas d'engrais			
<i>Escherichia coli</i> (NPP/100mL)			
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)	> 10000	> 10000	52
Entérocoques intestinaux (UFC/100mL)	> 10000	> 10000	85
Spores bactéries anaérobies sulfatoréductrices (UFC/100mL)	1100	600	110
Semaine 5 : 22/10/2021 Pas d'engrais			
<i>Escherichia coli</i> (NPP/100mL)	6409	255	<10
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)			
Entérocoques intestinaux (UFC/100mL)	2553	<56	<10
Spores bactéries anaérobies sulfatoréductrices (UFC/100mL)			
Cellules GRISES : analyses non réalisées			
* Le stérilisateur UV a eu un défaut de fonctionnement entre le 08/07/2021 et le 27/07/2021 dû à un problème électrique.			

¹¹ L'engrais « Toopi » est un produit dérivé, fait à base d'urine. Biostimulant, il accélère le développement des bactéries. Il a induit une contamination du mur végétalisé durant la semaine du 08/07/2021 et le 27/07/2021.

Tableau 4. Résultats concernant les paramètres physico-chimiques aux trois points de prélèvement : 2, 3 & 4

Paramètres	2 - Eaux grises stockées	3 – Sortie filtre à sable	4 – Sortie UV
Semaine 1 : 01/06/2021			
Engrais : urines stockées 6 mois			
MES (mg/L)	64	10	9,4
Turbidité NFU	26	1,5	2,1
DBO (mg O2/L)	81	10	15
DCO (mg O2/L)	186	51	< 30
NO3- (mg/L)	0,26	0,24	--
NH4+ (mg/L)	1,047	0,214	0,085
PO43- (mg/L)	1,41	0	0
Salinité (µS/cm)	118,8	104	76,5
Température (°C)	19,8	19,8	19,8
pH	6,3	7,1	6,8
Semaine 2 : 08/07/2021*			
Engrais : Urine traité avec processus Toopi			
MES (mg/L)	45	11	18
Turbidité NFU	23	28	7,7
DBO (mg O2/L)	130	63	50
DCO (mg O2/L)	269	162	123
NO3- (mg/L)	0,48	0	0,25
NH4+ (mg/L)	1,3	14,08	0,12
PO43- (mg/L)	1,23	0,83	0
Salinité (µS/cm)	183,2	325	129
Température (°C)	21,4	21,5	21,2
pH	6,9	7,1	7,4
Semaine 3 : 27/07/2021*			
Pas d'engrais			
MES (mg/L)	76	5,7	4,8
Turbidité NFU	72	9,4	14
DBO (mg O2/L)	80	30	6
DCO (mg O2/L)	256	73	62
NO3- (mg/L)	0,24	--	--
NH4+ (mg/L)	0,8	16,9	3,7
PO43- (mg/L)	0,9	--	--
Salinité (µS/cm)	559	707	419
Température (°C)	21,6	21,7	21,5
PH	7,2	7,5	7
Semaine 4 : 24/08/2021			
Pas d'engrais			
MES (mg/L)	63	19	11
Turbidité NFU	68	26	32
DBO (mg O2/L)	160	120	160
DCO (mg O2/L)	342	216	270
Température (°C)	20,8	20,8	21
PH	7	8,2	8,2
Semaine 5 : 22/10/2021			
Pas d'engrais			
MES (mg/L)	42	24	28
Turbidité NFU	66	20	20

Cellules GRISES : analyses non faites
 * Le stérilisateur UV a eu un défaut de fonctionnement entre le 08/07/2021 et le 27/07/2021 dû à un problème électrique.

4.2. Eaux jaunes

Les expérimentations portant sur les urines en 2021 avaient pour but de tester la méthode d'hygiénisation par stockage de 6 mois recommandée par l'OMS. Les urines testées ont été collectées à l'aide des trônes Ecodomeo, identiques à ceux qui seront installés à Casalez.

Durant les 6 mois de stockage, des analyses ponctuelles ont été effectuées de natures diverses (Tableau 5). Le suivi a démarré en juillet 2021 et les dernières analyses ont été reçues fin décembre 2021.

4.2.1 Stockage des urines pendant six mois

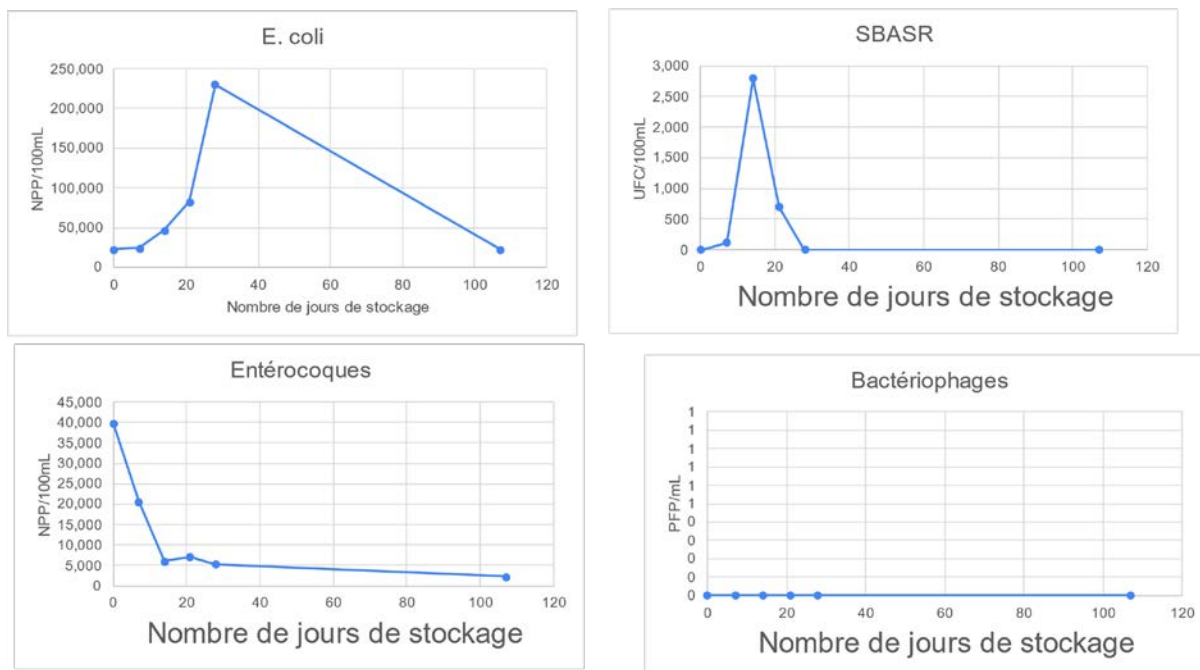
Nous avons analysé les paramètres détaillés dans le Tableau 5.

Tableau 5. Analyses réalisées sur les urines stockées durant 6 mois

		Date		0	7	14	22	29	57	113	178
		Jour		06/07	13/07	20/07	27/07	03/08	31/8	26/10	30/12
Paramètres	Méthode (Unité)										
Majeurs											
Turbidité		1	0	0	0	1	1	0	1		
MES	(g/L)	1	0	0	0	1	1	0	1		
DBO5	(mg/L O2)	1	0	0	0	1	1	0	1		
DCO	(mg/L O2)	1	0	0	0	1	1	0	1		
Salinité (conductivité)	(mS/cm)	1	0	1	0	1	1	0	1		
pH		1	1	1	1	1	1	1	1		
Pathogènes											
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	Microplaques (NPP/100mL)	1	1	1	1	1	1	1	1		
Entérocoques intestinaux	Microplaques (NPP/100mL)	1	1	1	1	1	1	1	1		
Spores bactéries anaérobies sulfato-réductrices (SBASR)	Filtration (UFC/100mL)	1	1	1	1	1	1	1	1		
Bactériophages ARN F spécifiques	(PFP/mL)	1	0	0	0	1	1	1	1		
Nutriments solubles											
Azote Kjeldahl		1	1	1	1	1	1	1	1		
Azote global	(mg/L TNb)	1	1	1	1	1	1	1	1		
Nitrates	(mg/L N-NO3)	1	1	1	1	1	1	1	1		
Nitrites	(mg/L N-NO2)	1	1	1	1	1	1	1	1		
Phosphore total (ortho/total)	(mg/L P-PO4)	1	0	1	0	1	1	0	1		

Les premiers résultats concernant les pathogènes sont encourageants (Figure 17). Les niveaux d'*E. coli* et SBASR ont augmenté mais ensuite diminué. Les Entérocoques ont quant à eux de suite été éliminés et aucun phage n'a été observé. Cependant, le devenir du pH n'est pas satisfaisant car il est maintenu entre 8,77 et 9,1, et ne contraint donc pas le développement potentiel de bactéries dans le temps ; 10 étant démontré comme point de pH au-dessus duquel les bactéries typiquement trouvées dans les urines ne peuvent plus survivre selon la littérature (Randall et al., 2016).

Figure 20. Pathogènes dans les urines, par #jours stockés



4.2.2 Conditions de stockage

Afin de profiter des analyses et tenter d'améliorer les résultats obtenus concernant le pH, des expériences additionnelles ont été menées.

Des urines ont été stockées pendant 6 semaines sous les conditions suivantes :

- 3 températures différentes
- Stockage avec air ou pas
- Dilutions différentes des urines
- Agitation ou pas

Les premiers résultats montrent, selon certaines des conditions, une forte augmentation du pH dans les urines stockées (Figures 21-24), jusqu'au niveau de non-survie des bactéries.

Une dernière expérimentation avec manipulation du pH avec de la potasse a été réalisée courant 2022, qui a abouti à l'élaboration de traitement efficace par la potasse les urines par une augmentation du pH qui assure ainsi leur hygiénisation.

Figure 21. Graphique de l'évolution du pH en fonction de la température le 29/07 à 14h30

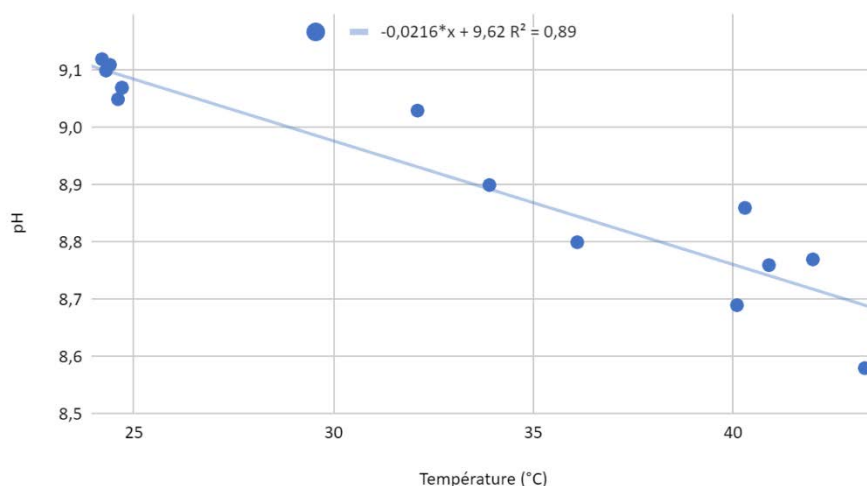


Figure 22. Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de la quantité d'air dans le flacon

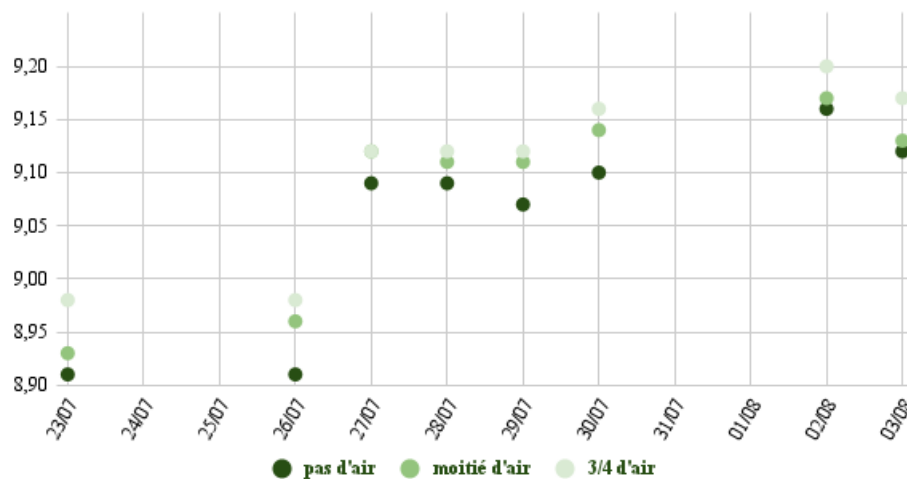


Figure 23. Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de la dilution

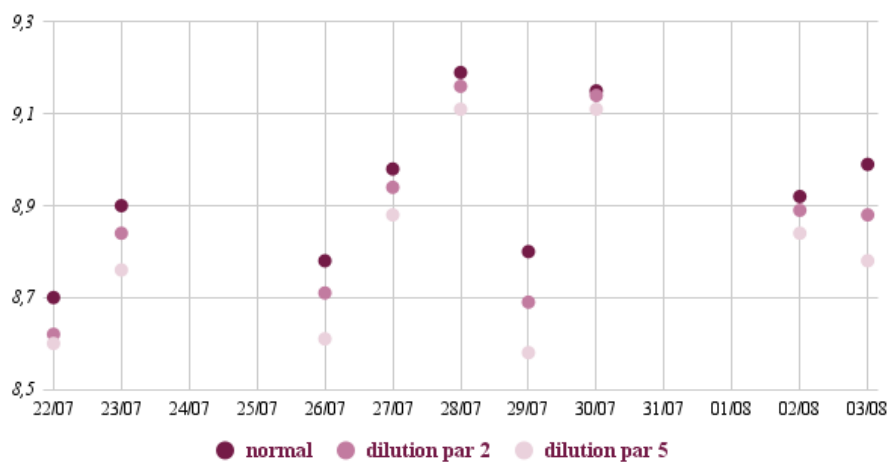
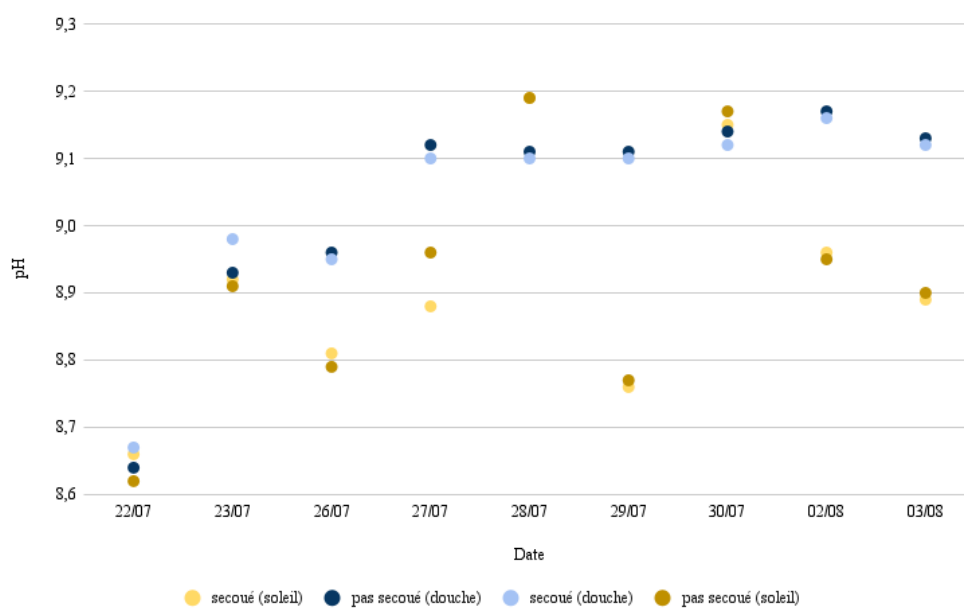


Figure 24. Graphique de l'évolution du pH en fonction du temps et de l'agitation des flacons



5. Suivi de production alimentaire (Action 3)

Par ailleurs, en 2021, nous avons effectué des tests ponctuels sur la capacité de différentes espèces alimentaires à être cultivées dans un mur vertical et arrosées aux eaux ménagères afin de déterminer les variétés de légumes, fruits et plantes aromatiques les plus adaptées. Les espèces sont listées dans le Tableau 6. En 2022, nous avons lancé un suivi de ces cultures. Celui-ci a permis de déterminer les quantités produites dans les 10 m² d'espace de notre système rotatif sur l'année ainsi que les astuces d'entretien nécessaires au fonctionnement du mur et développement des plantes.

5.1. Espèces de plantes

21 espèces alimentaires ont été cultivées en vertical en 2021 et 8 cultivées en 2022 (Tableau 6, Figure 25, Figure 26). Les cages présentant des consortiums de plantes ont été testées aussi bien que les cages en monoculture.

Tableau 6. Espèces de plantes alimentaires cultivées

Nom français	Cultivées verticalement en 2021	Cultivées verticalement en 2022
Légumes		
Laitue	✓	✓
Epinard	✓	✓
Choux	✓	✓
Chou-fleur	✓	
Brocoli	✓	
Roquette	✓	✓
Fraises	✓	✓
Tomates naines	✓	
Kale	✓	
Piment (nain)	✓	
Aromatiques		
Basilic	✓	
Ciboulette	✓	
Coriandre	✓	
Persil	✓	
Verveine citron	✓	
Lavande		✓
Marjolaine	✓	
Origan	✓	
Sauge ananas	✓	
Thym	✓	✓
Menthe	✓	✓
Romarin	✓	
Total	21	8

Figure 25. Plantes alimentaires diverses dans les cages Néoria



Figure 26. Aromatiques diverses dans les cages Néoria



5.2. Rendement de culture

La production de Néoria a dû être stoppée durant l'été 2022. Le site de Macondo n'était pas raccordé à l'eau potable et il n'était possible d'irriguer les différentes cultures qu'avec les réserves d'eau de

pluie, ce qui n'était pas suffisant. Les cultures sur Néoria ont donc repris à l'automne. Au vu de la saison tardive, la variété des cultures a été moins importante que prévu. La plantation s'est concentrée seulement sur différentes espèces de salades, d'épinards et de cresson. Les cages d'aromatiques n'ont pas été plantées car elles se développent plus lentement et les variétés sélectionnées initialement n'étant pas résistantes au gel. 40 cages pour 800 plantes au total ont été plantées le même jour sans mélange de variétés sur une même cage. Deux semaines après, quelques plants ont dû être remplacés car ils n'avaient pas réussi à s'acclimater ; une vingtaine de plants ont été ajoutés à ce moment-là. La culture des salades et des épinards a été plutôt rapide puisqu'elle a pris un à deux mois. Ceci nous a permis d'obtenir rapidement une estimation des possibilités de production. Après deux mois de croissance, une grande partie des végétaux pouvait être récoltés, certaines variétés de salades se sont tout de même développées plus vite que d'autres et les épinards ont mis plus de deux mois pour terminer leur croissance. Grâce à la pesée de la récolte de plusieurs cages¹², une estimation de la production totale en salades et épinards sur deux à trois mois a pu être estimée. Sachant qu'une cage produit environ 250 g de végétaux sur la totalité de l'installation, la production est d'environ 10 kg. Le rendement classique d'une culture de laitue est de 1,65 kg/m² (2,6 kg/m² selon une autre source) (Equipe technique CRA Dosso, 2018; Weill and Duval, 2010). Ici culture verticale permet d'obtenir un rendement qui est inférieur si on considère la surface cultivée (1 kg/m²). Cependant, si l'on considère la surface au sol utilisée, ce rendement devient plus important que ceux obtenus sur les grandes cultures en champs (3,3 kg/m²). Ce projet montre donc la pertinence de la culture verticale.

6. Vulgarisation et communication (Action 4)

Les avancées du projet ont été diffusées dans les rapports mensuels du projet Cycloasis, ainsi que sur le site internet des activités liées au projet Cycloasis (<http://cycloasis.fr/neoria/>).

La structure Néoria est placée à côté des bureaux d'Ecosec, dans le tiers lieu de Macondo. Néoria est donc visible au quotidien lors des visites du tiers-lieu mais aussi pour la présentation de ce projet aux jeunes intégrant l'école Être qui est également situé sur le site de Macondo. Ce projet permet d'introduire aux différents visiteurs le travail mené à Macondo et au sein d'Ecosec, sur la végétalisation, la culture verticale et en milieu urbain mais aussi l'autonomie alimentaire et la permaculture.

Le projet a été présenté plus en détail lors de l'inauguration de Macondo qui a eu lieu en avril 2022, différents posters ont été réalisés pour présenter plusieurs projets clés du tiers-lieu, le poster concernant Néoria est disponible en Annexe 3.

Un guide technique est en cours de finalisation rédigé afin de détailler les différentes contraintes techniques liées à l'installation d'un tel système que ce soit en termes de structure, d'irrigation ou encore de système de traitement en fonction de l'eau utilisée. Ce guide va être disponible en accès libre sur notre site internet et sur d'autres plateformes qui le jugeront pertinent.

L'installation de la structure Néoria à Casalez a été reportée dû aux délais dans la construction du bâtiment sur site. Le chantier de l'habitat participatif a pris plus qu'un an de retard du fait de l'augmentation des matières premières et d'un réajustement du budget de construction. L'installation des murs végétalisés Cycloasis ne se fera qu'au printemps 2023 et les habitants emménageront en 2024. C'est à ce moment seulement que Néoria pourra être amené sur site afin qu'il puisse y avoir une

¹² Laitue romaine : 170g moyenne (n=23) ; épinards : 50,8g (n=30)

continuité de production par les habitants, une évolution dans le temps (maîtrise d'usage), et que le Néoria puisse servir comme démonstrateur animé et entretenu par les habitants.

6.1. Guide technique

Dans le cadre de ce projet et le projet Cycloasis, un guide technique a été développé pour détailler :

- Les conseils d'utilisation
- Le mode d'emploi et fiches techniques des éléments de la zone technique (pompes, filtres, stérilisateur UV, ect)
- L'entretien quotidien par les habitants
- L'entretien et maintenance ponctuels et systématiques pour tous les éléments du système
- Le cahier et calendrier des maintenances (pour les particulières mais aussi les interventions professionnels)
- Le signalétique des conseils d'utilisation (les panneaux dans les salles de bain, les WC, la zone technique, ect) et des différents sources des eaux)

Ce guide se trouve sur notre [site internet](#).

7. Budget

Tableau 7. Budget Néoria

	Totale financé par Carasso	Budget Carasso dépensé en 2021	Autofinancé en 2021	Budget Carasso 2022	Autofinancement prévu 2022
Etude préliminaire	7 000 €	7 000 €	7 000 €	0 €	0 €
Test en atelier	18 000 €	17 000 €	18 000 €	1 000 €	0 €
Expérimentation <i>in situ</i>	11 000 €	1 000 €	1 000 €	10 000 €	10 000€
Supports de communication	6 000 €	500 €	1 000 €	5 500 €	5 000 €
TOTAL	42 000 €	25 500 €	27 000 €	16 500 €	15 000 €

8. Planning

Le planning d'origine est présenté en Annexe 2. Planning initial. Les actions 1 et 2 ont été réalisées en 2021, ainsi que l'installation et mise en route de l'expérimentation de l'action 3. La construction du bâtiment Casalez ayant pris du retard, la structure rotative de Néoria a été installée à Macondo, le tiers-lieu où les ateliers d'Ecosec sont situés afin de pouvoir continuer le projet et lancer les expérimentations de fonctionnement afin de répondre au mieux à nos objectifs. Les actions 3 et 4 ont été menées courant 2022.

9. Bibliographie

Adenaer, L., 2014. Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming. J. Agric. Stud. 2, 40–60. <https://doi.org/10.5296/jas.v2i1.4526>

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2018. Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et de Corse. Les nouvelles incidences clé nécessitant des actions d'adaptation, Eau & Connaissance.

- Alix, A., Bellet, L., Trommsdorff, C., Audureau, I., 2022. Réduire les émissions de gaz à effet de serre des services d'eau et d'assainissement. IWA Publishing, London, UK.
- Allebone-Webb, S., Boudoire, N., Clouet, B., 2022. Hygiénisation des urines, résultats 2021, Projet Cycloasis. Ecosec, Macondo, Montarnaud, France.
- Allebone-Webb, S., Boudoire, N., Jabet, T., Déclercq, R., 2021a. Traitement des eaux grises : résultats 2021. Projet Cycloasis, Projet Cycloasis. Ecosec & Ecofilae, Macondo, Montarnaud, France.
- Allebone-Webb, S., Jabet, T., Boudoire, N., Déclercq, R., 2021b. Projet Cycloasis, protocole expérimental 2021 : Analyses sur le traitement des eaux grises et jaunes hors situ, et sa réutilisation sur un mur végétalisé, Projet Cycloasis. Ecosec & Ecofilae.
- ARCEAU, 2021. Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France. Ile-de-France.
- Barbier, C., Couturier, C., Pourouchottamin, P., 2019. Empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France / De la production à la consommation (Collection Expertises), Club Ingénierie Prospective Energie et Environnement. IDDRI, ADEME.
- Benke, K., Tomkins, B., 2017. Future food-production systems: Vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustain Sci Pr. Policy* 13, 13–26.
- Besson, M., 2017. La séparation à la source des effluents urbain. Intérêts et mise en pratique en Europe, Programme MUSES. INSA Toulouse.
- Boudoire, N., 2022. Stérilisation des urines en vue d'une valorisation agronomique grâce à des solutions low-tech (Rapport de stage d'élève-ingénieur, Département Sciences et Technologies de l'Eau). Ecole Polytechnique Universitaire de Montpellier, Montpellier, France.
- Boudoire, N., 2021. Étude de la valorisation des eaux grises et des urines pour l'arrosage d'un mur végétal (Stage d'élève-ingénieur Département Sciences et Technologies de l'Eau). Ecole Polytechnique Universitaire de Montpellier, Montpellier, France.
- BRLi, 2023. Etude de 'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique.
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F.N., Leip, 2021. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nat. Food* 2, 198–209.
- Equipe technique CRA Dosso, 2018. Fiche technico-économique pour la culture de la laitue. Région de Dosso. Chambre Régionale d'Agriculture de Dosso.
- Graamans, L., Baeza, E., van den Dobbelsteen, A., Tsafaras, I., Stanghellini, C., 2018. Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agric. Syst.* 160, 31–43.
- Gruda, N., 2019. Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy* 9, 298.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. IPCC Fifth Assessment Report. United Nations.
- Jabet, T., Déclercq, R., 2021. Projet Cycloasis : Livrable 2 - Ecofilae. Projet démonstrateur de récupération-valorisation d'eaux de lavage corporel et d'eaux jaunes dans l'Herault. Ecofilae.
- Jabet, T., Déclercq, R., 2020. Etudes préparatoires : Scénarios, Inventaires, Analyse, Cadrage réglementaire. Livrable Phase 1 : Projet Cycloasis. Ecofilae.
- Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M., 2019. Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. Academic press.

Randall, D., Krähenbühl, M., Köpping, I., Larsen, T., Udert, K., 2016. A novel approach for stabilizing fresh urine by calcium hydroxide addition. *Water Res.* 95, 361–369.

Weill, A., Duval, J., 2010. Planification des superficies de légumes nécessaires, in: *Bio-Action*. Equiterre.

Wildeman, R., 2020. Vertical Farming: A future perspective or a mere conceptual idea? (Masters Thesis). University of Twente: Enschede, The Netherlands.

Annexe 1. Réutilisation des eaux usées – contexte réglementaires

- Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées selon le contexte réglementaire français¹³ (Tableau 8, Tableau 9)
- L'exploitant des parcelles irriguées à l'aide d'EUT met en place un programme de surveillance de la qualité des sols¹⁴ (Tableau 10).
- Contraintes d'usage¹⁵ (Tableau 11)

Tableau 8. Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées (A, B, C et D)¹⁶

Paramètres	Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées			
	A	B	C	D
Matières en suspension (MES) (mg/L)	<15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (DCO) (mg/L)	<60			
Escherichia coli (UFC/100mL)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
(1) : Les EUT sont classées dans le niveau de qualité qui correspond au classement du paramètre le plus défavorable. (2) : Les abattements sont mesurés entre les eaux brutes (en entrée de la STEU) et les EUT (en sortie de la STEU) ou de la filière de traitement complémentaire, le cas échéant. Concernant les eaux brutes faiblement chargées en micro-organismes (c.à.d. dont la concentration est systématiquement ≤ 10 ⁴), différentes techniques d'analyse pourront être mises en œuvre (cf. §13.a de l'instruction interministérielle du 26 avril 2016)				

Tableau 9. Les niveaux de qualité pouvant être atteints pour des eaux brutes faiblement chargées en micro-organismes¹⁷

Concentration en micro-organismes (*) dans les eaux brutes	Concentration en micro-organismes (*) dans les eaux usées traitées			
	10 ⁴	10 ³	10 ²	≤10
10 ⁴			Qualité C ou D (**)	Qualité A, B, C ou D (**)
10 ³				Qualité A, B, C ou D (**)
10 ²				Qualité A, B, C ou D (**)
10				Qualité A, B, C ou D (**)
* Micro-organismes nécessitant un abattement : entérocoques fécaux, phages ARN F-spécifiques et spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices ** Le niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées doit être déterminé en prenant également en compte les micro-organismes de concentration supérieure à 10 ⁴ dans les eaux brutes ainsi que les autres paramètres : <i>Escherichia coli</i> , MES, et DCO, respectant les valeurs définies à l'annexe II de l'arrêté				

¹³ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGIARTI000029188448/2014-07-05/>

¹⁴ https://aida.ineris.fr/consultation_document/37550

¹⁵ https://aida.ineris.fr/consultation_document/4025#Annexe_I

¹⁶ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGIARTI000029188448/2014-07-05/>

¹⁷ https://aida.ineris.fr/consultation_document/37550

Tableau 10. Fréquence de surveillance des eaux usées traitées, des boues et des sols

Paramètres	Fréquence d'analyses			
	Suivi périodique (quel que soit niveau de qualité EUT)	Suivi en routine (selon niveau de qualité EUT)		
Eaux usées traitées MES DCO E. coli	Constitution de dossier de demande d'autorisation : ● 1 fois par mois pendant 6 mois (comprenant la saison d'irrigation) Après l'arrêté préfectoral : ● Tous les deux ans** : 1 fois tous les 2 mois pendant 6 mois (comprenant la saison d'irrigation)	Suivi en routine (selon niveau de qualité EUT)		
		A	B	C et D
Eaux usées brutes et eaux usées traitées Entérocoques fécaux Phages ARN F-spécifiques Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices		1/sem.	1/15 j	1/mois
Boues (uniquement si pas plan de d'épandage agricole) > éléments-traces paramètres du tableau 1a de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998* > composés-traces organiques : paramètres du tableau 1b de l'arrêté du 8 janvier 1998*	4/an (minimum) 1/an Pour les traitements par lagunage (à réaliser dans la lagune finale)			
Sol > éléments-traces : paramètres du tableau 2 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998*	1/10 ans (minimum)			
*Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret no 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées ** Ce suivi a pour objectif de s'assurer que le fonctionnement de la STEU n'est pas dégradé et permet toujours d'atteindre les niveaux de qualité sanitaire des EUT requis par rapport aux usages concernés.				

Tableau 11. Contraintes d'usage des eaux usées traitées

Types d'usage	Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées			
	A	B	C	D
Cultures maraîchères, fruitières et légumières non transformées par un traitement thermique industriel adapté (excepté cressiculture (1))	+	-	-	-
Cultures maraîchères, fruitières, légumières transformées par un traitement thermique industriel adapté	+	+	-	-
Pâturage (2)	+	+ (3)	-	-
Espaces verts ouverts au public (4)	+ (5)	-	-	-
Fleurs vendues coupées	+	+ (6)	-	-
Pépinières et arbustes et autres cultures florales	+	+	+ (6)	-
Fourrage frais	+	+ (3)	-	-
Autres cultures céréalières et fourragères	+	+	+ (6)	-
Arboriculture fruitière	+	+ (7)	+ (8)	-
Taillis à courte rotation ou à très courte rotation, avec accès contrôlé du public	+	+	+ (6)	+ (6)
Forêt, hors taillis à courte rotation avec accès contrôlé du public	-	-	-	-
+ : autorisée, - : interdite. (1) La réutilisation d'eaux usées traitées est interdite pour la cressiculture. (2) En cas d'aspersion, les animaux ne doivent pas être au champ au moment de l'opération et les abreuvoirs, au cas où ils seraient arrosés, doivent être rincés avant utilisation. (3) Sous réserve du respect d'un délai après irrigation de 10 jours en l'absence d'abattoir relié à la station de traitement des eaux usées et de 21 jours dans le cas contraire. (4) On entend par espace vert, notamment: les aires d'autoroutes, cimetières, golfs, hippodromes, parcs, jardins publics, parties communes de lotissements, ronds- points et autres terre-pleins, squares, stades, etc. (5) Irrigation en dehors des heures d'ouverture au public, ou fermeture aux usagers pendant l'irrigation et deux heures suivant l'irrigation dans le cas d'espaces verts fermés ; irrigation pendant les heures de plus faible fréquentation et interdiction d'accès aux passants pendant l'irrigation et deux heures suivant l'irrigation dans le cas d'espaces verts ouverts de façon permanente. (6) Uniquement par irrigation localisée, telle que définie à l'article 2 . (7) Interdite pendant la période allant de la floraison à la cueillette pour les fruits non transformés, sauf en cas d'irrigation au goutte à goutte. (8) Uniquement par goutte à goutte				

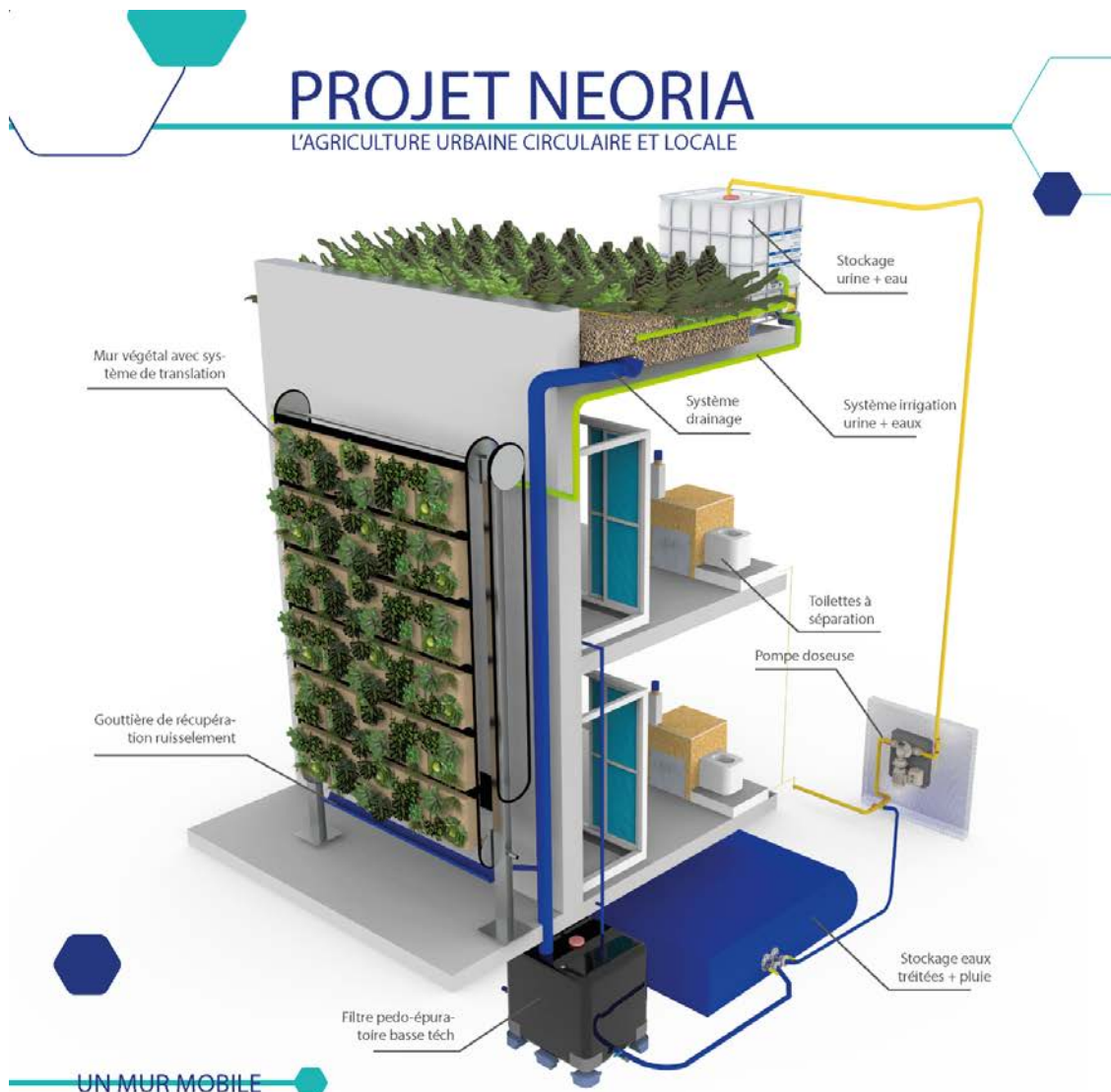
Annexe 2. Planning initial

Tableau 12. Planning prévu au début du projet

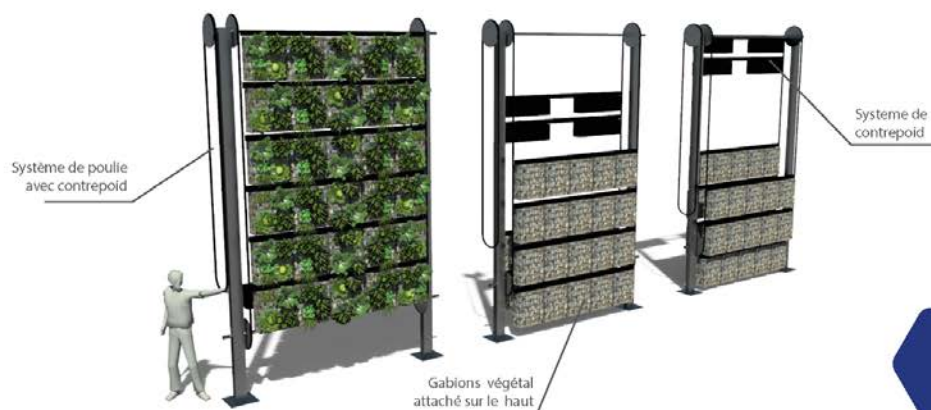
Actions prévues	Où	2020			2021												2022												
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ACTION 1 : Etudes préparatoire																													
Bibliographie et étude mur végétale amovible	Bureau d'Ecosec																												
ACTION 2 : Prototypage																													
Créer et tester le structure et poulie	Atelier Ecosec																												
Mettre le système d'irrigation en place	Macondo																												
Fabrication des cages	Atelier Ecosec																												
Cultures	Macondo																												
Tests des systèmes filtration et traitement + suivi laboratoire	Macondo, et les laboratoires du fac Polytechnique de Montpellier et BIOFAQ																												
ACTION 3 : Intégration <i>in situ</i>																													
Installation	Macondo																												
Expérimentation	Macondo																												
Installation <i>in situ</i>	Casalez																												
ACTION 4 : Communication																													
Elaboration d'un guide technique et opérationnel	Bureau d'Ecosec																												

Annexe 3. Posters et plaquettes

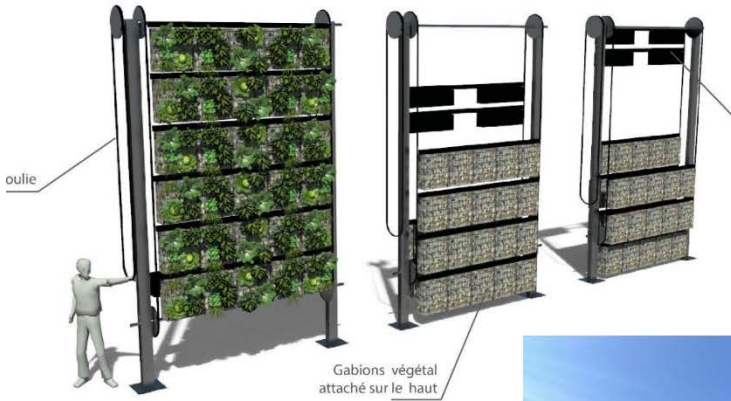
Plaquette conceptuelle



UN MUR MOBILE



Plaquette : présentation de la structure rotative



Prototype d'un potager rotatif et vertical

Nous développons des systèmes pour rendre productifs les espaces urbains non-utilisés, seulement avec des déchets : les eaux grises traitées, les urines hygiénisées, et les déchets organiques de cuisine.

