

VALORISATION DES EAUX PLUVIALES DANS LE DOMAINE AGRICOLE GERSOIS : PREMIÈRE APPROCHE

*Master 1 Science de l'eau - Dynamique des Ecosystèmes
Aquatiques*

Carla TOTI



Année Universitaire 2023-2024

Table des matières

Table des figures :	3
Table des tableaux :	4
Résumé	5
Mot clés :	5
Remerciements	6
Avant-Propos	7
Introduction	8
Matériels & Méthodes	10
1. Prélèvement et stockage des échantillons	10
2. Analyses physico-chimiques	11
3. Analyses bactériologiques	11
Résultats	14
1. Analyse physico-chimique	14
2. Analyse bactériologique	18
a. Etude des coliformes	18
b. Etude des entérocoques fécaux (<i>Enterococcus faecalis</i>)	21
c. Résistance des colonies bactérienne aux rayonnements UV	25
Discussion	26
1. Comparaison avec l'eau du réseau de la ferme expérimentale à Riscle	26
2. Préconisations pour la réutilisation des eaux de ruissellement de toiture	26
3. Enjeux Economiques	28
a. Étude de cas : Gamm Vert de Mirande	28
b. Étude de cas chez un éleveur laitier	30
Conclusion	31
Bibliographie	32
Annexes	34

Table des figures :

Figure 1 : Système de collecte des ERT.	10
Figure 2 : Conductimètre.	11
Figure 3 : pH mètre.	11
Figure 4 : Filtration des ERT sur membrane à l'aide d'une rampe stérile.	12
Figure 5 : Filtration des ERT sur membrane à l'aide d'une cafetière stérile.	12
Figure 6 : Étuve pour la mise en culture des bactéries.	12
Figure 7 : Table UV.	13
Figure 8 : Lampe UV.	13
Figure 9 : Correspondance des périodes de prélèvement dans le temps.	14
Figure 10 : Méthode artisanale de récupération des ERT.	15
Figure 11 : Moyenne des conductivités en fonction des échantillons.	15
Figure 12 : Moyenne des pH en fonction des échantillons	15
Figure 13 : Témoin négatif, eau stérile	18
Figure 14 : Témoin positif, eau contaminée	18
Figure 15 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite	18
Figure 16 : T1, échantillon A	18
Figure 17 : T4, échantillon 51	18
Figure 18 : T3, échantillon 40	18
Figure 19 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite	19
Figure 20 : T1, échantillon B	19
Figure 21 : T2, échantillon E	19
Figure 22 : T4, échantillon 56	19
Figure 23 : T1, échantillon C	20
Figure 24 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite	20
Figure 25 : T2, échantillon F	20
Figure 26 : T4, échantillon 62	20
Figure 27 : Témoin positif, eau contaminée	21
Figure 28 : Témoin négatif, eau stérile	21
Figure 29 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite	21
Figure 30 : T1, échantillon A	21
Figure 31 : T4, échantillon 51	22
Figure 32 : T3, échantillon 40	22
Figure 33 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite	22
Figure 34 : T1, échantillon B	22
Figure 35 : T2, échantillon E	23
Figure 36 : T4, échantillon 56	23
Figure 37 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite	23
Figure 38 : T1, échantillon C	23
Figure 39 : T4, échantillon 62	23
Figure 40 : T2, échantillon F	23
Figure 41 : Résultats obtenus après le passage sur la table UV	25
Figure 42 : Résultats obtenus après le passage sous lampe UV	25

Table des tableaux :

Tableau 1 : Récapitulatif des différents types d'échantillons prélevés.	14
Tableau 2 : Tableau croisé dynamique des valeurs obtenues à la suite d'une analyse simple entre deux types d'échantillons. Ces analyses ont été répétées plusieurs fois dans le temps, dans des conditions identiques. En blanc, les échantillons de l'averse 1 ; en bleu, les échantillons de l'averse 2.....	15
Tableau 3 : Tableau croisé dynamique des valeurs obtenues lors de l'analyse physico-chimique de chaque échantillon. Sont représentées en violet les ERT issues des toitures en tuiles, en vert celles issues des toitures en bac acier et en bleu celles issues des toitures en bac acier avec des panneaux photovoltaïques. Échec du prélèvement pour l'échantillon D.	16

Résumé

Cette étude a évalué la possibilité de réutiliser l'eau de pluie en agriculture dans le Gers. Des analyses ont montré que la qualité de cette eau varie selon le type de toiture et la période de collecte. Si le pH est généralement adapté, la conductivité est souvent inférieure à celle de l'eau potable. Une contamination bactérienne a été observée mais peut être réduite par un traitement UV. Les résultats suggèrent que l'eau de pluie peut être une ressource complémentaire pour l'agriculture, sous réserve d'un traitement adapté. Des études de cas ont démontré les économies d'eau et financières possibles grâce à la récupération des eaux de pluie. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les systèmes de collecte et de traitement, notamment en ce qui concerne le traitement UV face à certains virus. En conclusion, l'eau de pluie représente un potentiel intéressant pour l'agriculture dans le Gers, mais son utilisation requiert une approche rigoureuse et adaptée à chaque contexte.

Mot clés : Réutilisation - Eau Pluviales – Toiture - Agriculture
– Abreuvement – Gers

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de mon stage.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement M. Gabriel Bruno, enseignant-chercheur au Laboratoire de Biotechnologies Agroalimentaire et Environnementale (LBAE) à l'IUT d'Auch, ainsi que M. Frédéric Marcato, directeur du pôle recherche et développement à Vivadour, mes tuteurs de stage, pour leur encadrement, leur disponibilité et leur bienveillance tout au long de ce stage. Ce stage étant très dense, leurs précieux conseils et leurs connaissances ont été un véritable atout pour son bon déroulement. Je remercie également Bruno pour son savoir faire en tant que pilote et chauffeur privé, indispensable dans les rues Castres, ainsi que Frédéric pour m'avoir appris, ré appris et encore appris à faire des calculs de surface et de volume.

Je souhaite également remercier toute l'équipe de la ferme expérimentale de Vivadour pour leur accueil chaleureux et leur aide pour l'avancée de mon stage. Une pensée particulière à Guillaume, qui m'a également accompagnée et conseillée pendant ces six mois. Je le remercie également, ainsi que Pierre, pour avoir donné de leur temps, de leur courage et de leurs muscles pour braver les gouttières de la ferme expérimentale.

Je tiens également à remercier toute l'équipe du LBAE, chercheurs, enseignants, doctorants, et l'IUT d'Auch pour m'avoir accueillie pour la partie analytique de ce stage. Leur gentillesse et leur bienveillance ont rendu mes venues à Auch agréables et joviales. Une pensée particulière pour la team Labo2024, pour leur gentillesse et leur aide au cours de mes manipulations ainsi que pour leurs supers gâteaux au chocolat et nos excellentes pauses déjeuner au RU chaque midi. Une pensée à Luisa pour son sourire et sa bonne humeur ainsi qu'à Emmanuelle pour ses douces chansonnettes au laboratoire.

Un grand merci également à Mme Claire Boyals et Mme Laurie Guerinet-Decluseau pour leur disponibilité, pour toute la préparation du matériel dont j'avais besoin ainsi que pour leur aide lors de mes manipulations. Une pensée pour M. Guillaume Boué qui est venu à mon secours pour m'apporter de nouvelles membranes, indispensables pour finir mes dernières analyses.

Je remercie également toute l'équipe du Défi Clé Water Occitanie et plus particulièrement Mme Justine Bassoul ainsi que le Living Lab Gers-Armagnac pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce stage et pour l'accompagnement qu'ils m'ont offert pendant ces six mois.

Je tiens à remercier chaleureusement les agriculteurs gersois pour leur confiance et leur partage de connaissances. Merci également à tous les acteurs privés ou publics qui m'ont accordé du temps et qui ont répondu à mes nombreux questionnements.

Avant-Propos

Ce stage a été effectué dans le cadre d'un partenariat avec le Laboratoire de Biotechnologies Agroalimentaire et Environnementale (LBAE) de l'IUT d'Auch et la coopérative agricole Vivadour. Il fut porté financièrement par la région Occitanie dans le cadre Défi Clé Water Occitanie. Vivadour m'a accueilli dans ses locaux au sein de la ferme expérimentale pour réaliser la phase expérimentale sur le terrain du stage ainsi que pour la rencontre des acteurs locaux (éleveurs, agriculteurs etc.). Le LBAE m'a accompagnée pour les analyses physico-chimiques et microbiologiques ainsi que pour l'acquisition des connaissances scientifiques sur le sujet. Toutes les manipulations nécessaires (physico-chimiques et microbiologiques) au cours de ce stage ont été effectuées au LBAE.

Vivadour est une coopérative agricole française créée en 1951 et basée dans le Sud-Ouest de la France et plus particulièrement dans le Gers. Elle est aujourd'hui structurée autour de cinq pôles d'activités :

- Le pôle semences avec notamment les semences de grandes cultures et les semences potagères à l'international.
- Le pôle agricole et agroalimentaire avec les productions végétales et les productions animales. Elle gère également la fourniture d'intrants agricoles tels que les engrais et les produits phytosanitaires, ainsi que la commercialisation des produits agricoles sur les marchés nationaux et internationaux.
- Le pôle viticole, vins et spiritueux.
- Le pôle distribution spécialisée : un réseau de magasins Gamm vert et Frais d'Ici.
- Le pôle recherche et développement pour promouvoir des pratiques agricoles durables et innovantes.

La coopérative vise à soutenir ses adhérents en leur fournissant des services et des solutions pour optimiser leurs rendements tout en respectant l'environnement et en garantissant la qualité des produits (*« Groupe Coopératif Vivadour », s. d.*).

Le Laboratoire de Biotechnologie Agroalimentaire et Environnementale est un laboratoire de l'université Toulouse 3 Paul Sabatier situé sur le site de l'IUT d'Auch. Le LBAE se concentre sur l'étude de systèmes microbiens complexes présentant un intérêt majeur dans le domaine environnemental. Son objectif principal est d'optimiser les processus d'épuration biologique et de valorisation du carbone résiduel, que ce soit dans les eaux usées ou les déchets organiques.

Le LBAE emploie différentes approches, allant de la biochimie à la microbiologie en passant par la biologie moléculaire, à différentes échelles, de la bactérie planctonique à la matrice biologique active (agrégats, biofilms). L'objectif est de caractériser, de comprendre, de maîtriser et de valoriser les activités métaboliques de ces systèmes. Ainsi, le laboratoire se focalise sur des activités responsables de la production de biopolymères extracellulaires et sur le rôle fonctionnel de ces biopolymères au sein de biofilms (*« Laboratoire de biotechnologies agroalimentaire et environnementale », s. d.*).

Le Défi Clé Water Occitanie (Défi Clé WOC) est un programme sur quatre ans (2022-2026), financé par la région Occitanie et porté par l'université de Montpellier (*« Défi Clé Water Occitanie », s. d.*). Il a pour objectif de stimuler des recherches interdisciplinaires sur la réutilisation de l'eau, sa mise en œuvre et l'évaluation de sa pertinence.

Au sein de ce programme, six Living Labs ont été établis dans la région Occitanie. Dans chaque Living Lab, stagiaires et doctorants travaillent sur la problématique de la réutilisation des eaux alternatives, adaptée aux contraintes locales.

Mon stage, situé dans le Gers-Armagnacais (Ouest Gersois), est associé au Living Lab « Gers- Armagnac » **[Annexe 1]**

Introduction

L'eau est une ressource vitale pour la vie sur Terre, jouant un rôle crucial pour les écosystèmes, l'agriculture, l'approvisionnement en eau potable, les usages domestiques, l'industrie et les loisirs. La gestion durable de cette ressource est devenue une priorité mondiale face aux défis posés par le changement climatique, la croissance démographique, la pollution et l'urbanisation. Au cours du siècle dernier, l'utilisation de l'eau douce a été multipliée par six et elle continue d'augmenter régulièrement d'environ 1 % par an depuis les années 1980 (*Nations Unies 2021*). A l'échelle mondiale, les projections récentes indiquent une augmentation de 80 % de la demande en eau dans les zones urbaines d'ici 2050, et plus de 233 millions de personnes feront face à une demande en eau supérieure aux ressources disponibles en eau de surface (« *Défi Clé Water Occitanie* », s. d.).

Ces changements se constatent également à la fois à l'échelle nationale et locale. En effet, après avoir observé l'évolution climatique en France, notamment dans le Gers, dans le Sud-Ouest, les modèles prévisionnels de Météo France indiquent que les volumes pluviométriques annuels resteront en moyenne similaires à ceux d'aujourd'hui pour les cent prochaines années (« *PREVISIONS METEO FRANCE - Site Officiel de Météo-France* », s. d.). Néanmoins, deux éléments vont nettement évoluer et leur prédiction est pour le moment impossible. La périodicité des précipitations ainsi que la variation de leurs volumes. Il semble que deux saisons bien distinctes puissent émerger : une saison des pluies et une saison plus sèche. Ces deux dernières années en sont un exemple, avec un été long et chaud de juillet à octobre 2023, suivi d'un début d'année 2024 très pluvieux, particulièrement à la fin de l'hiver et durant tout le printemps. Concernant les volumes, bien qu'en moyenne ils restent inchangés selon les modèles de Météo France, l'écart-type de ces prédictions augmente (« *PREVISIONS METEO FRANCE - Site Officiel de Météo-France* », s. d.). En d'autres termes, lors d'une année exceptionnellement sèche ou pluvieuse, les volumes d'eau pourront varier du simple au triple. Il est important de souligner que cette observation est propre à l'Ouest Gersois. Cette analyse est complètement différente pour la côte méditerranéenne par exemple.

Face à ces changements, de nouveaux enjeux apparaissent : des actions de sobriétés sont bien évidemment nécessaires mais d'autres solutions sont également plausibles en parallèle. La réutilisation des eaux alternatives (REUSE) en fait partie. La REUSE consiste à valoriser des eaux usées traitées, des eaux issues des processus de transformations industrielles (par exemple, le jus de betteraves), des eaux de drainages, des eaux de pluies ; pour remplacer et diminuer la consommation d'eau potable (« *Défi Clé Water Occitanie* », s. d.). Cela peut être pour les eaux domestiques (toilettes, lave-linge), industrielles (système réfrigérant), agricoles (lavage du matériels) etc. Des systèmes existent et fonctionnent, Israël en est le parfait exemple (« *Nouvelles ressources (Israël) : traitement et recyclage des eaux de pluie en zones urbaines* » 2020) ou encore Singapour (*Lafforgue et Lenouvel 2015*) où certains bâtiments sont en autonomie totale vis-à-vis de l'eau potable grâce à la REUSE. Ici, l'objectif du stage est de valoriser des eaux pluviales qui tombent en abondance sur le territoire gersois pour pallier aux périodes d'étiage, qui sont bien souvent sévères. Compte tenu des nombreuses possibilités offertes par la réutilisation des eaux pluviales, une approche ciblée a été privilégiée, en se concentrant spécifiquement sur un mode de collecte particulier : les eaux de ruissellement de toiture (ERT).

Ainsi, plusieurs utilisations ont été identifiées dans ce projet. Ils sont en adéquations avec les besoins locaux :

- L'abreuvement pour les élevages de volailles, palmipèdes et bovins. Ils représentent la majeure partie des élevages sur le territoire.
- Le lavage des sols des bâtiments et des outils agricoles. De manière générale, l'eau nécessaire pour ce type de manœuvre ne nécessite pas d'être potable. Pour les élevages sensibles, des systèmes de désinfection sont déjà mis en place après le lavage, qu'il soit réalisé à l'eau potable ou non.
- L'arrosage notamment pour les commerces agricoles. Dans cette étude, la chaîne de magasins GAMM VERT, qui possède une pépinière et appartient au groupe Vivadour, a été utilisée comme référence.

Enfin, il est important de contextualiser le cadre réglementaire sur la réutilisation des eaux de pluie. Contrairement aux eaux usées traitées, le dernier arrêté en vigueur concernant l'utilisation et la réutilisation des eaux pluviales date de 2008 (Arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments). Il y est stipulé que l'eau peut être utilisée pour des usages extérieurs (lavage des véhicules, arrosage etc.), pour les toilettes, pour le lavage des sols ainsi que pour le lave-linge (sous réserve de contrôles). Rien n'est écrit sur une potentielle utilisation pour de l'abreuvement ou autre usage à destination de la consommation animale ou humaine. Concernant l'abreuvement, aucune norme de qualité d'eau physico-chimique et bactériologique n'est définie. La majorité des éleveurs se basent sur les normes relatives à l'eau potable de consommation humaine, les conseils vétérinaires, ainsi que leurs propres connaissances et expériences, notamment en ce qui concerne la sensibilité de leurs animaux à la qualité de l'eau.

Face aux enjeux liés au changement climatique, comment valoriser de l'eau de pluie dans le domaine agricole Gersois ?

Une première analyse physico-chimique et bactériologique des échantillons d'ERT a été réalisée. Des solutions de traitement adaptées à ces eaux ont été proposées, accompagnées d'une proposition concrète d'application directe sur le terrain, incluant une estimation rapide des coûts associés à ces applications.

Matériels & Méthodes :

1. Prélèvement et stockage des échantillons

Pour identifier les utilisations potentielles des ERT, il est essentiel de les qualifier. Actuellement, il y a peu de documentation disponible sur la qualité des ERT.

Pour se faire, une récolte des ERT a été réalisée à différents moments et dans des conditions variées. Un système de récupération d'eau de pluie a été mis en place sur les gouttières de trois types de toitures : tuile, bac acier et bac acier avec panneaux photovoltaïques. Ces types de toitures sont en effet les plus répandus chez les agriculteurs gersois. L'eau a ensuite été stockée dans des cuves en plastique, à l'abri de la lumière et des insectes. À noter qu'il existe également des toitures en fibro-ciment Everite, mais pour des raisons techniques, l'étude n'a pas pu être menée sur celles-ci.

Les analyses réalisées au cours de cette étude ne sont pas exhaustives ; il s'agit d'une première approche visant à obtenir des informations qualitatives sur la composition des ERT.



Toiture en tuile



Toiture en bac acier +
panneaux photovoltaïques



Toiture en bac acier

Figure 1 : Système de collecte des ERT.

2. Analyses physico-chimiques

N'ayant pas de données sur la qualité de l'eau pluviale à la ferme expérimentale, l'analyse s'est basée sur des paramètres physico-chimiques classiques, utilisés lors des analyses d'eau par l'ARS : pH, conductivité et température (« *Consulter les résultats de la qualité de l'eau du robinet dans chaque ville (Outil de recherche)* », s. d.). D'autres paramètres ont été également analysés mais ne seront pas exploités dans ce rapport, par soucis de précision lors de la mesure.

Un pH-mètre Seli et un conductimètre HEITO (Paris) ont été utilisés respectivement pour la mesure du pH et de la conductivité. Les mesures ont été effectuées deux à cinq fois au cours du temps de stockage des échantillons au LBAE, et les résultats sont rapportés en termes de moyenne et d'écart-type des mesures.



Figure 3 : pH mètre.

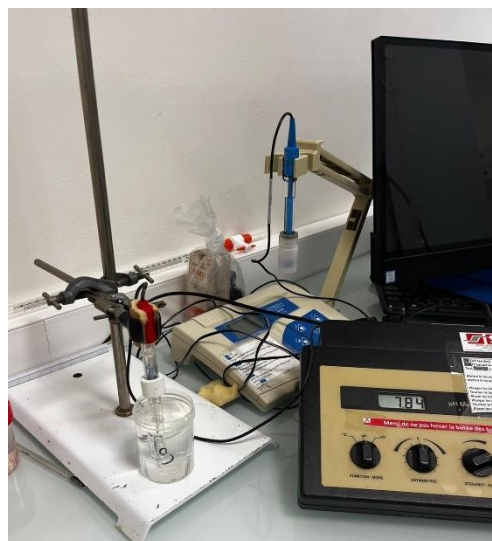


Figure 2 : Conductimètre.

3. Analyses bactériologiques

D'après les sites vétérinaires et/ou spécialisé dans la qualité de l'eau d'abreuvement (*GDS Creuse, s. d.*), (« *L'eau en élevage : une qualité à garantir de la ressource à la distribution* » 2020), il est primordial de surveiller la présence de coliformes et d'entérocoques fécaux, *Enterococcus faecalis*, dans l'eau d'abreuvement. C'est ce qui a été recherché en priorité dans les échantillons. Pour analyser l'eau, 20ml d'eau de chaque échantillon a été filtrée sur une membrane GN-6 *Metricel*, 0.45µm afin de récupérer une partie des microorganismes présent dans les échantillons d'eau. Quatre cafetières Nalgène et deux rampes *Combisart – Satorius Stedim* de chez Biotech ont été utilisées pour les filtrations.

Après la filtration, les membranes sont récupérées avec une pince stérile et placée dans des petites boîtes de pétri. Les membranes ont été mises en culture sur de la gélose lactosée et du TTC tergitol pour de la recherche de coliformes [Annexe 3] ainsi que sur de la gélose Slanetz et Bertley pour la recherche d'entérocoques fécaux [Annexe 4]. Les boîtes ont été mises à l'étuve, *Heraeus Instruments* de chez Seli à 37°C pendant 24h. Ces milieux ont été choisis car le milieu Slanetz et Bartley est spécifique aux entérocoques fécaux, tandis que la gélose lactosée au TTC tergitol permet de détecter les coliformes totaux. Habituellement, 100ml d'eau sont nécessaires pour les filtrations. Après avoir filtré 100 ml, 50 ml et 20 ml d'eau lors de plusieurs tests, nous

avons observé une charge bactérienne relativement élevée dans les boîtes contenant les échantillons de 100 ml et 50 ml. C'est pourquoi nous avons décidé de filtrer uniquement 20 ml. Toutes les manipulations ont été fait sous une hotte PSM (Poste de Sécurité de Microbiologiques) Faster, BH – EN – 2003 pour rester dans des conditions stériles.



Figure 4 : Filtration des ERT sur membrane à l'aide d'une rampe stérile.

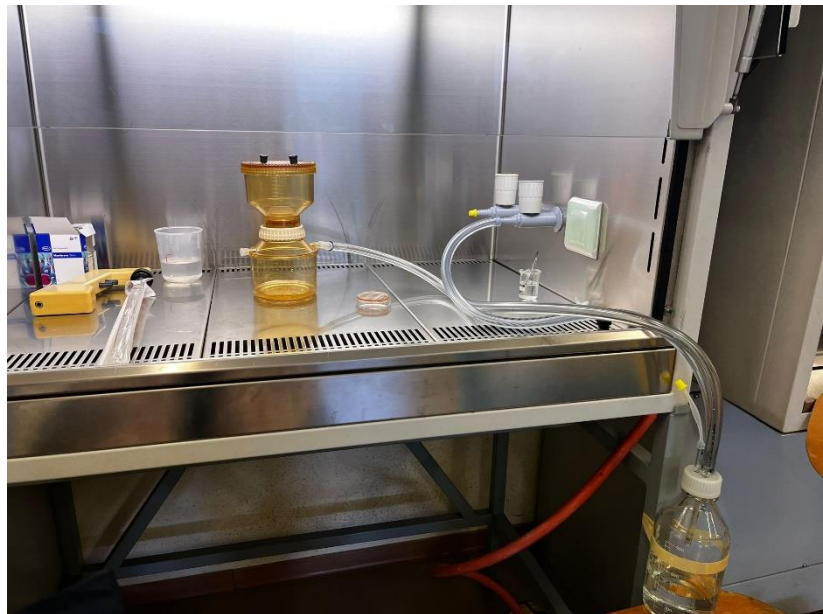


Figure 5 : Filtration des ERT sur membrane à l'aide d'une cafetière stérile.



Figure 6 : Étuve pour la mise en culture des bactéries.

Pour finaliser l'expérience, un test aux rayonnements UV a été réalisé avec une lampe UV 254 nm, 15W et une table UV 356nm, 8W EBOX VX5 de chez Grosseron. Des échantillons contaminés ont été exposés aux UV de ces deux systèmes de puissance différente . 10 flacons stériles ont été remplis avec 40 ml d'une eau contaminée. Les manipulations ont été réalisées sous PSM pour maintenir des conditions stériles. Parmi ces 10 échantillons, 2 ont servi de témoins positifs et n'ont pas été exposés aux UV. Les 8 autres échantillons ont été soumis à une exposition aux UV avec des temps d'exposition différents : 2' , 7' , 15' et 30' . Quatre échantillons ont donc été mis en contact avec la lampe UV et quatre avec la table UV. Un témoin négatif a été réalisé avec de l'eau stérile ainsi qu'un positif avec de l'eau contaminée aux coliformes et aux entérocoques.

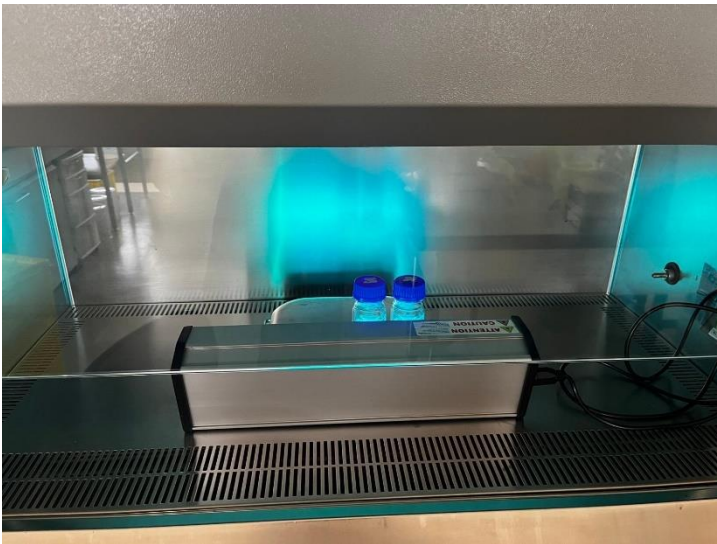


Figure 8 : Lampe UV.



Figure 7 : Table UV.

A noter que les coliformes présentent des colonies de coloration jaune ou orangée, à l'intérieur d'un halo jaune visible sous la membrane. Celui-ci est provoqué par l'acidification du lactose en présence de l'indicateur coloré, le bleu de bromothymol.

Le Tergitol 7 inhibe la croissance des microorganismes à Gram positif, limite l'envahissement par les Proteus et favorise la récupération des coliformes.

Le TTC (chlorure de 2,3,5 triphényltétrazolium) est présenté sous forme de supplément lyophilisé. Les bactéries réduisant le TTC (incluant Proteus et Pseudomonas) présentent des colonies rouges, dû à la formation de formazan insoluble.

Les germes qui ne fermentent pas le lactose présentent des colonies avec un fond de gélose bleu **[Annexe 3]**.

L'objectif était de commencer à étudier les outils qui pourraient contrôler le développement de ces bactéries sachant que ces derniers doivent pouvoir être facilement mis en place par les éleveurs.

Résultats

1. Analyse physico-chimique

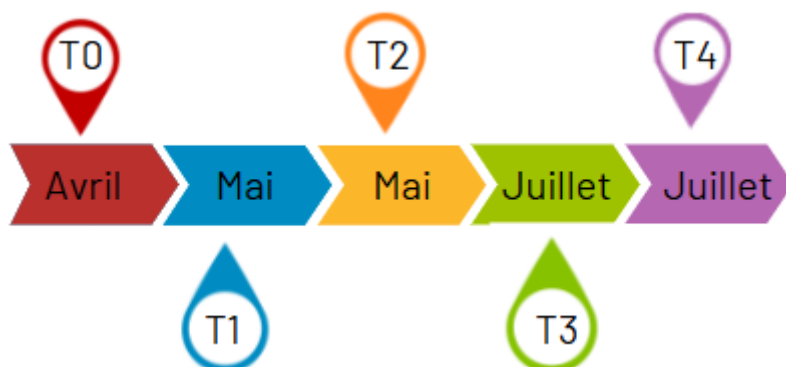


Figure 9.: Correspondance des périodes de prélèvement dans le temps.

Lors de l'étude, 5 périodes ont été caractérisées entre avril et juillet 2024 . Chaque période a été définie spécifiquement en fonction de la saison, de la météorologie et de la capacité à récupérer les ERT.

Tableau 1.: Récapitulatif des différents types d'échantillons prélevés.

Période	Printemps	Été	Exposé UV	Non Exposé UV	Lessivage toiture	Période pluvieuse	Date de Prélèvement	Date d'analyse
T0	X			X		X	Avril	Avril/Juin
T1	X		X			X	Mai	Juin
T2	X			X	X		Mai	Juin
T3		X		X	X		Juillet	Juillet
T4		X	X		X		Juillet	Juillet

La colonne lessivage toiture correspond à de l'ERT récupérée après une période sèche.

Pour des raisons techniques, 3 types de périodes ne sont pas représentés. L'été étant sec, aucuns échantillons en période pluvieuse n'ont été récoltés. A l'inverse, le printemps étant majoritairement pluvieux cette année, un seul échantillonnage a pu être fait pour représenter au mieux la période sèche. Nous avons fait le choix de le conserver à l'abris des UV afin d'étudier l'eau telle qu'elle est, sans variations (bactériologique notamment) que pourrait apporter les UV.

Les prélèvements des échantillons ont été fait à des temporalités différentes et stockés dans des conditions différentes. L'objectif est de déterminer si des paramètres de base varient en fonction de ces facteurs. Néanmoins, les conditions d'analyses sont identiques pour chaque échantillon.

Dans un premier temps, l'étude d'une variation journalière a été faite. Une variation de paramètre simple est-elle présente entre deux averses ?

Toutes les toitures ne sont pas représentées sur certaines périodes (Cf Tableau 2). Cela s'explique par l'absence de puits de récoltes au moment de l'échantillonnage. En effet, les puits n'étant pas tous mis en place au moment des premiers prélèvements, un système artisanal a été utilisé. Pour certains échantillons, cela a fonctionné, pour d'autres ce fut un échec.



Figure 10 : Méthode artisanale de récupération des ERT.

La marge d'erreur considérée ici est de 5%. Au-delà de ces 5%, nous considérons les différences comme significatives.

Tableau 2 : Tableau croisé dynamique des valeurs obtenues à la suite d'une analyse simple entre deux types d'échantillons. Ces analyses ont été répétées plusieurs fois dans le temps, dans des conditions identiques. En blanc, les échantillons de l'averse 1 ; en bleu, les échantillons de l'averse 2.

Échantillons	Température moyenne des analyses (°C)	Température moyenne de Conservation des échantillons (°C)	Moyenne pH	Écartype pH	Moyenne Conductivité (ms)	Écartype Conductivité (ms)	Type de Toiture
1,1	21,25	16,67	6,39	0,28	0,11	0,004	Tuile
1,2	20,75	16,33	6,28	0,35	0,12	0,01	Tuile
2,1	20,75	16,33	6,64	0,20	0,14	0,01	Bac acier
2,2	21	16,33	6,86	0,25	0,12	0,04	Bac acier
3,1	21,4	16,33	6,81	0,07	0,15	0,01	Bac acier + panneaux photovoltaïques
3,2	20,86	16,44	6,77	0,16	0,09	0,01	Bac acier + panneaux photovoltaïques

Des histogrammes simples ont été réalisés pour une meilleure visualisation :

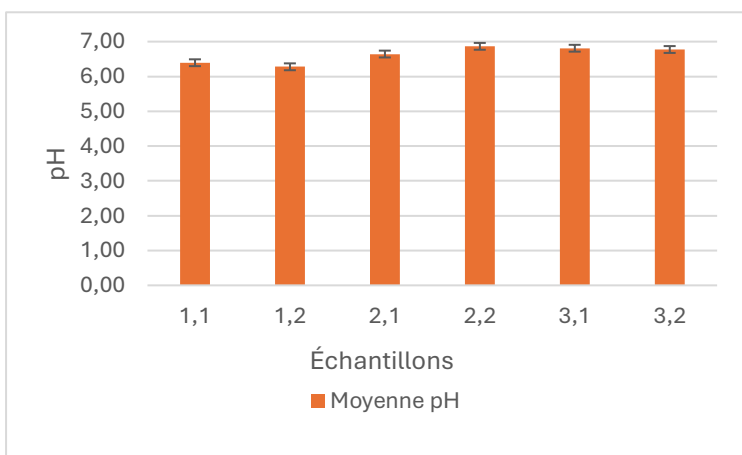


Figure 12 : Moyenne des pH en fonction des échantillons

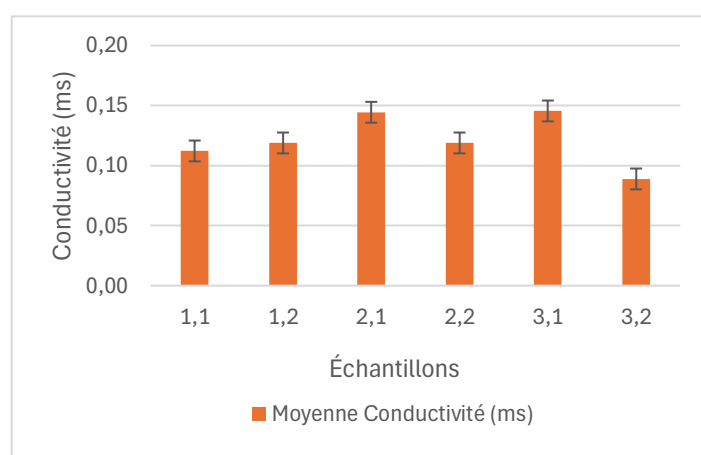


Figure 11 : Moyenne des conductivités en fonction des échantillons

Pour les ERT provenant de toitures en tuile, peu de variations sont observées entre les deux averses. Le pH oscille entre 6,39 ($\pm 0,28$) pour la première averse et 6,28 ($\pm 0,35$) pour la seconde. De même, la conductivité reste presque identique, avec 0,11 ms ($\pm 0,004$) pour l'averse 1 et 0,12 ms ($\pm 0,01$) pour l'averse 2. Dans l'ensemble, ces deux paramètres varient peu pour ce type de toiture.

Cette observation s'applique également aux deux autres types d'ERT, où les variations entre les mesures sont moins significatives :

Pour les ERT en bac acier, le pH est en moyenne de 6.64 (± 0.20) et de 6.86 (± 0.25) pour les averses 1 et 2 respectivement. La conductivité montre également une faible variation, avec 0,14 ms ($\pm 0,01$) pour l'échantillon 2.1 et 0,12 ms ($\pm 0,04$) pour l'échantillon 2.2.

Quant aux ERT en bac acier avec panneaux photovoltaïques, les mesures de pH varient entre 6,81 ($\pm 0,07$) pour la première averse et 6,77 ($\pm 0,16$) pour la seconde. La conductivité reste également stable, allant de 0,15 ms ($\pm 0,01$) pour l'averse 1 à 0,09 ms ($\pm 0,01$) pour l'averse 2.

Les températures de conservation et d'analyse varient également très peu, ce facteur n'est donc pas considéré comme significatif pour ces résultats.

Pour conclure cette analyse, aucune variation significative n'est à noter entre les deux averses en termes d'analyse physico-chimique. Par conséquent, ces échantillons seront regroupés : les échantillons 1.1 et 1.2 deviendront l'échantillon 1, les 2.1 et 2.2 formeront l'échantillon 2, et les 3.1 et 3.2 constitueront l'échantillon 3.

Tableau 3: Tableau croisé dynamique des valeurs obtenues lors de l'analyse physico-chimique de chaque échantillon. Sont représentées en violet les ERT issues des toitures en tuiles, en vert celles issues des toitures en bac acier et en bleu celles issues des toitures en bac acier avec des panneaux photovoltaïques. Échec du prélèvement pour l'échantillon D.

Échantillons	Température moyenne des analyses (°C)	Température moyenne de Conservation des échantillons (°C)	Moyenne pH	Écartype pH	Moyenne Conductivité (ms)	Écartype Conductivité (ms)	Période
1,1	21,25	16,67	6,39	0,28	0,11	0,00	T0
1,2	20,75	16,33	6,28	0,35	0,12	0,01	
2,1	20,75	16,33	6,64	0,20	0,14	0,01	
2,2	21	16,33	6,86	0,25	0,12	0,04	
3,1	21,4	16,33	6,81	0,07	0,15	0,01	
3,2	20,86	16,44	6,77	0,16	0,09	0,01	
40	14,5	20,5	6,58	0,03	0,12	0,01	T3
51	14,5	21	6,92	0,18	0,17	0,01	T4
56	14,5	24	6,88	0,20	0,13	0,03	
62	14,5	23,5	6,86	0,10	0,13	0,01	
A	14	24,5	7,22	0,54	0,05	0,01	T1
B	14	24,5	6,78	0,02	0,04	0,00	
C	14	24,5	6,79	0,01	0,04	0,00	
E	21,4	22,4	6,16	0,18	0,04	0,01	T2
F	21,4	22,4	6,45	0,18	0,04	0,01	
Total général	19,6	18,40	6,64	0,33	0,11	0,04	

En analysant le tableau, peu de variations du pH des ERT au temps T0 sont observées. Plusieurs mesures ont été réalisées à différentes périodes sur ces échantillons (**cf Tableau 1**), mais avec des conditions d'analyse identiques. Le pH reste globalement stable pour chaque type de toiture.

Le pH des ERT en tuile est d'en moyenne de 6,34 ($\pm 0,31$), celui des ERT en bac acier est de 6,75 ($\pm 0,25$), et pour les ERT en bac acier avec panneaux solaires, le pH est autour de 6,79 ($\pm 0,12$). Cette stabilité est également observée pour les autres échantillons prélevés ultérieurement dans l'étude :

- À T1, les échantillons B et C, correspondant respectivement aux ERT en bac acier et en bac acier avec panneaux photovoltaïques, affichent un pH de 7,78 ($\pm 0,02$), tandis que les ERT issus de toitures en tuile présentent un pH de 7,22 ($\pm 0,54$).
- À T2, les ERT en bac acier montrent un pH de 6,16 ($\pm 0,18$), se rapprochant de celui des ERT en bac acier avec panneaux photovoltaïques, qui est de 6,45 ($\pm 0,18$).
- À T3, le pH est en moyenne de 6,58 ($\pm 0,03$).
- Enfin, à T4, quelque que soit le type de ERT, $6,86 (\pm 0,10) < \text{pH} < 6,92 (\pm 0,18)$ en moyenne.

De manière générale, les ERT ont un $6,16 < \text{pH} < 6,92$ à l'exception d'un échantillon. Au premier abord, la durée de conservation ne semble pas avoir un impact significatif sur le pH.

De même pour la conductivité, qui ne semble pas être affectée par le temps de conservation. Les échantillons 1, 2 et 3 en sont l'exemple. Des analyses ont été réalisées à la suite de leur prélèvement mais également deux mois après. Les mesures obtenues pour les échantillons 1, 2 et 3 sont respectivement 0,12 ($\pm 0,01$), 0,13 ($\pm 0,03$) et 0,12 ($\pm 0,03$). Les écarts-types sont relativement faibles, ceux qui traduits peu de variations pour ces mesures. A court terme, le temps de conservation ne se semble pas avoir d'impact significatif.

En revanche, une nette diminution est observée pour les échantillons A,B,C,E,F. Bien que les analyses aient également été effectuées peu de temps après les prélèvements, ces échantillons proviennent de types d'eau différents : A, B et C ont été récoltés durant une période pluvieuse, tandis que E et F correspondent à de l'eau de lessivage de toiture. Le seul facteur que ces échantillons ont en commun, est la période de récolte de l'eau de pluie, c'est-à-dire le mois de mai.

2. Analyse bactériologique

Plusieurs tests ont été réalisés lors de cette analyse.

Dans un premier temps, une recherche de coliformes totaux et d'entérocoques fécaux a été réalisée.

Pour cette analyse, les deux averse à T0 ont été distinguées. Contrairement à l'analyse physico-chimique où de variations sont à noter, ce n'est pas le cas pour la bactériologie.

a. Etude des coliformes

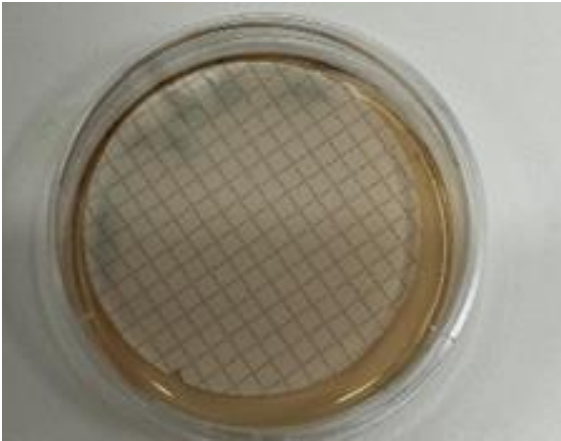


Figure 13 : Témoin négatif, eau stérile

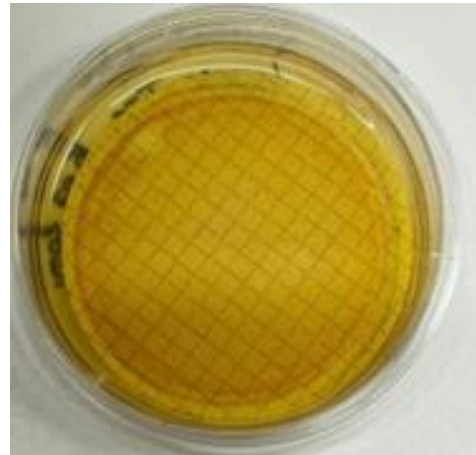


Figure 14 : Témoin positif, eau contaminée

i. Pour les toitures en tuile :

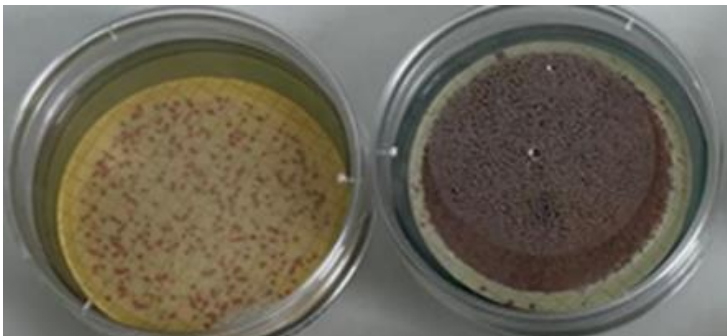


Figure 15 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite

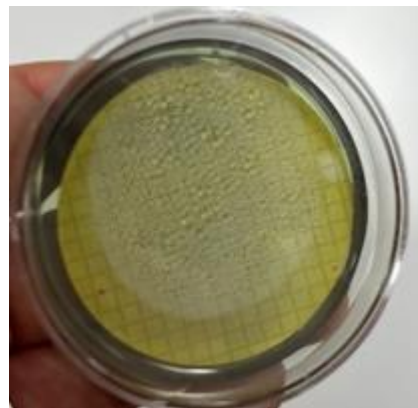


Figure 16 : T1, échantillon A



Figure 18 : T3, échantillon 40



Figure 17 : T4, échantillon 51

⇒ **T2 : Echec de prélèvement donc pas d'analyse possible.**

Trois points importants sont à noter :

- Une différence bactériologie est à noter entre les deux averse prélevées le même jour. La présence de coliformes est confirmée pour l'averse 1 avec une population présentant des colonies rouges avec un halo jaune. Pour l'averse 2, la gélose ayant virée au bleu, il s'agit de colonies bactériennes n'ayant pas fermentée le lactose et n'appartenant pas à la famille des coliformes.
- L'échantillon A correspondant à la période T1 (C'est-à-dire de l'eau récoltée dans les mêmes conditions que T0 mais exposée aux UV du soleil) ne présente qu'une petite colonie de deux bactéries de coloration rouges.
- T3 et T4 présentent nettement des colonies de coliformes se manifestant par des colorations orangées à l'intérieur d'un halo jaune. A noter que pour T4 des colonies rouges semblent présentes, confirmant la présence d'autres populations bactériennes incluant les *Proteus* et les *Pseudomonas*.

ii. Pour les toitures en bac acier :

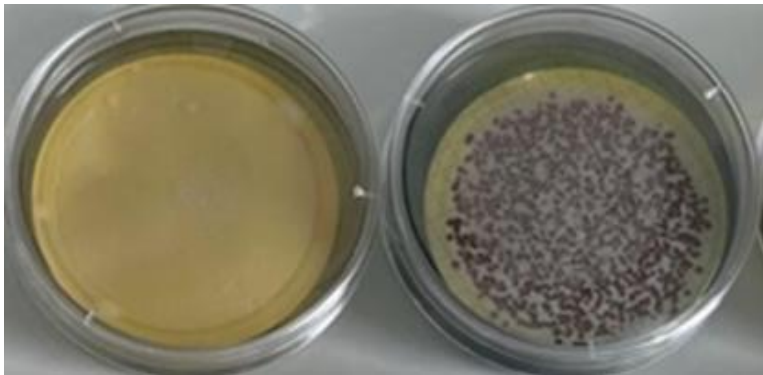


Figure 19 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite

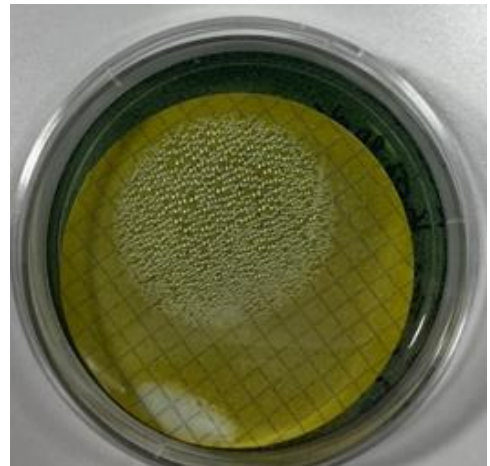


Figure 20 : T1, échantillon B

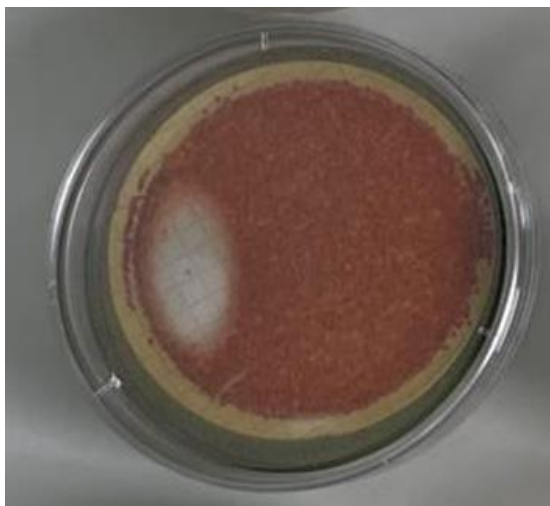


Figure 21 : T2, échantillon E

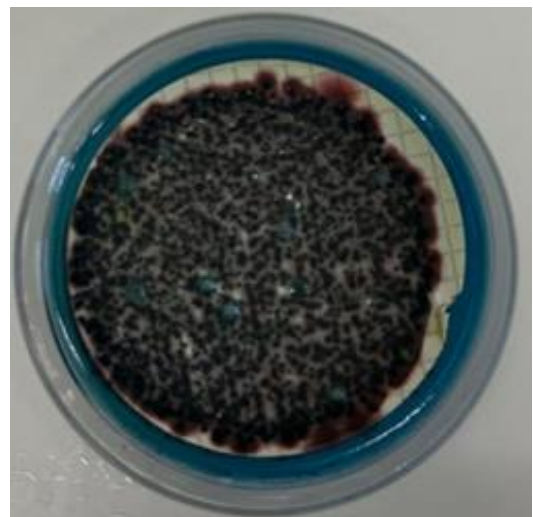


Figure 22 : T4, échantillon 56

⇒ **T3 : Echec de prélèvement donc pas d'analyse possible.**

Comme précédemment pour l'ERT en tuile, plusieurs points sont à considérés :

- Une différence bactériologique est également notable entre les deux averses pour le T0. Aucune colonie bactérienne n'est présente dans la première averse contrairement à la seconde. Pour l'averse 2 la colonie est rouge avec un fond de gélose bleue. Ces bactéries n'ont donc pas digéré le lactose et ne sont donc pas des coliformes.
- L'échantillon B ne présente aucune colonie. L'eau de cet échantillon a été récoltée dans les mêmes conditions que ceux du T0. Comme pour l'échantillon A, cet échantillon a été exposé aux UV du soleil.
- T2 présente une colonie orange avec un halo jaune caractéristique des coliformes. Cependant, une colonie rouge s'est développée, ce qui traduit la présence d'autres populations bactériennes incluant les *Proteus* ou au *Pseudomonas*.
- A l'inverse T4 présente des colonies bactériennes rouges dans un milieu ayant viré au bleu. Ce ne sont pas des coliformes, il s'agit d'une colonie ne fermentant pas le lactose.

iii. Pour les toitures en bac acier avec panneaux photovoltaïques

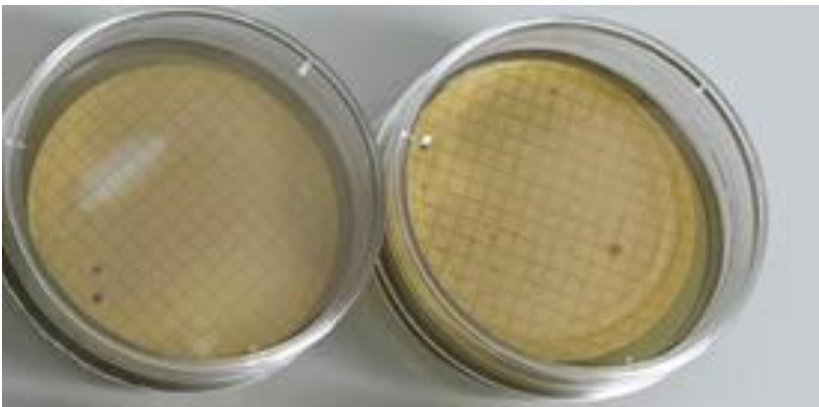


Figure 24 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite

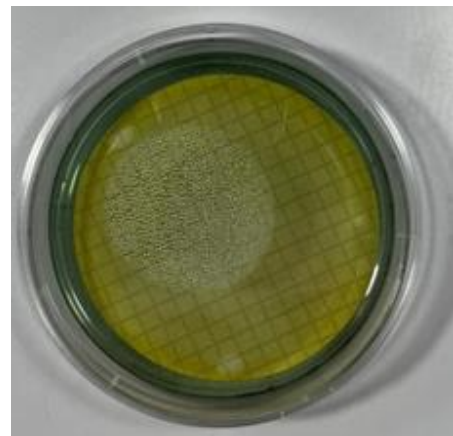


Figure 23 : T1, échantillon C

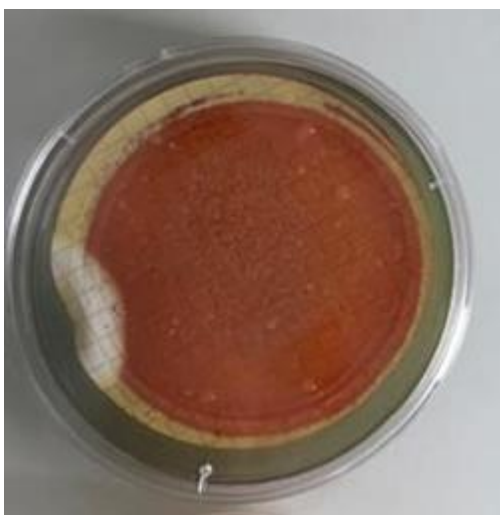


Figure 25 : T2, échantillon F

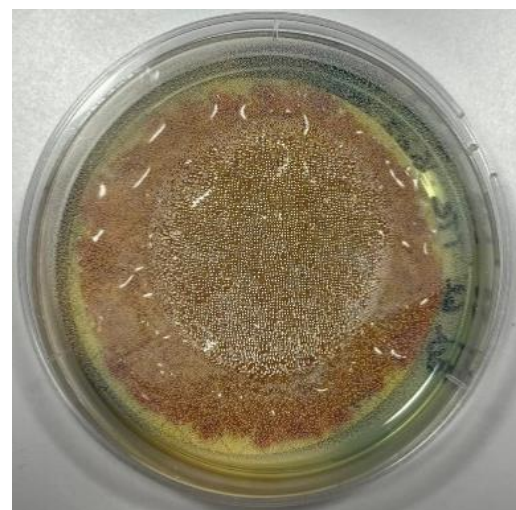


Figure 26 : T4, échantillon 62

⇒ **T3 : Echec de prélèvement donc pas d'analyse possible.**

Pour finir, deux observations sont également à prendre en comptes :

- Très peu de bactéries sont présentes pour les deux premiers échantillons à T0. Il est difficile de les identifier. Une absence de colonie est à noter pour l'échantillon C. Les échantillons ont les mêmes conditions de prélèvements, l'échantillon C a été exposé aux UV.
- Tout comme T2 pour les ERT issu de bac acier, T4 semble avoir deux types de colonies. Une colonie de coliformes, jaune orangée avec halo jaune ainsi qu'une colonie rouge pouvant inclure la famille des *Proteus* et *Pseudomonas*.
- A l'inverse, ici T2 ne présente que des colonies rouges sans coliformes.

b. Etude des entérocoques fécaux (*Enterococcus faecalis*)

Un témoin négatif a été réalisé avec de l'eau stérile ainsi qu'un positif avec de l'eau contaminée aux entérocoques fécaux.

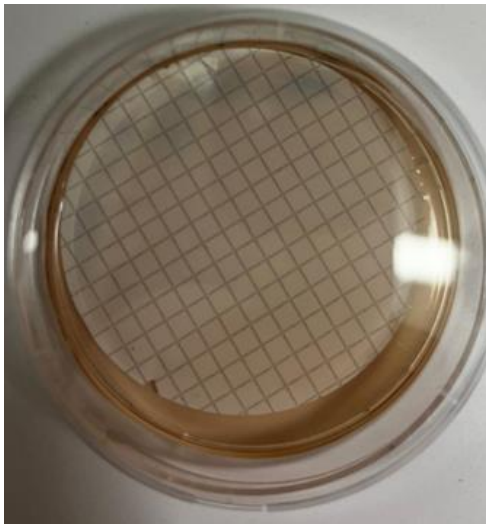


Figure 28 : Témoin négatif, eau stérile

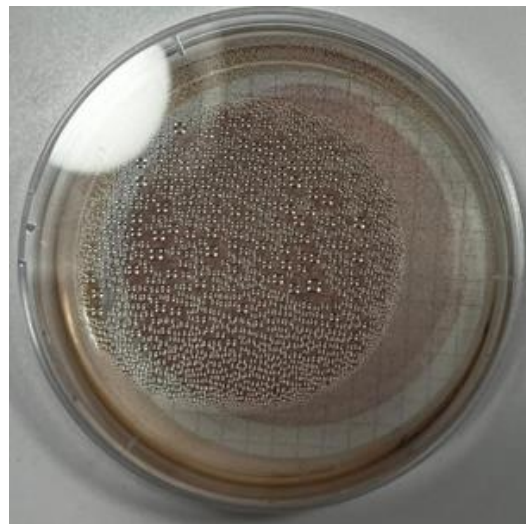


Figure 27 : Témoin positif, eau contaminée

i. Toiture en tuile :

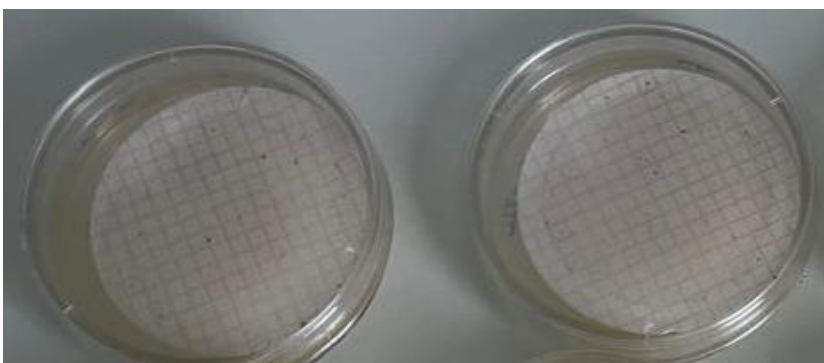


Figure 29 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite

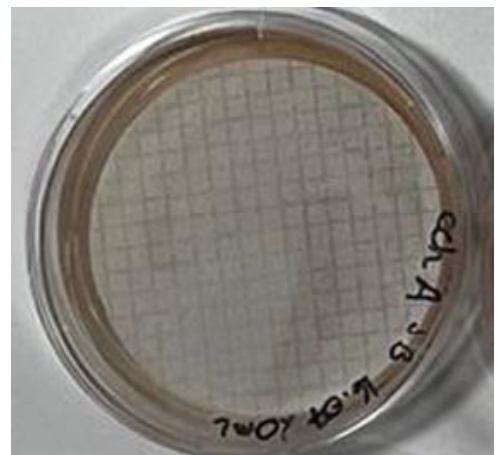


Figure 30 : T1, échantillon A

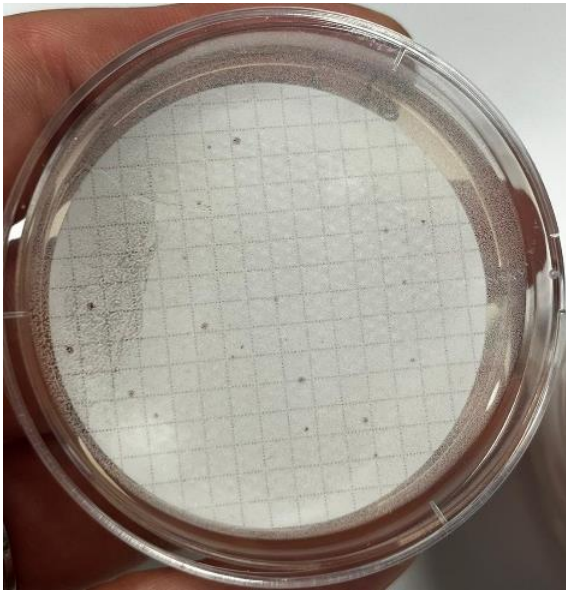


Figure 32 : T3, échantillon 40

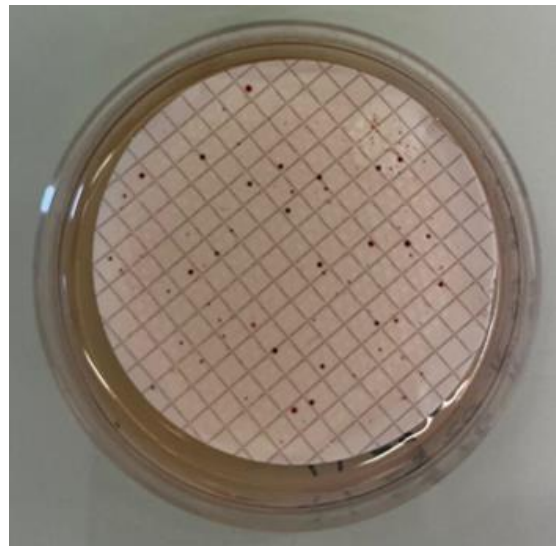


Figure 31 : T4, échantillon 51

⇒ **T2: Echec de prélèvement donc pas d'analyse possible.**

Pour ces échantillons, deux points sont à noter :

- L'absence d'entérocoques fécaux sur les premiers tests (T0 et T1). En effet, les points visibles chez T0 correspondent aux dépôts de matières qui s'est déposée lors de la filtration.
- Peu d'entérocoques sont présents pour T3 contrairement à T4 qui présentent une colonie plus dense.

ii. Toiture en bac acier

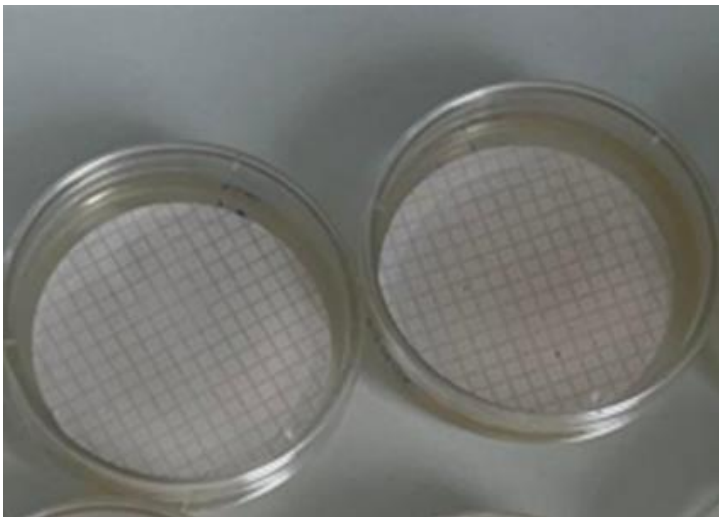


Figure 33 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite

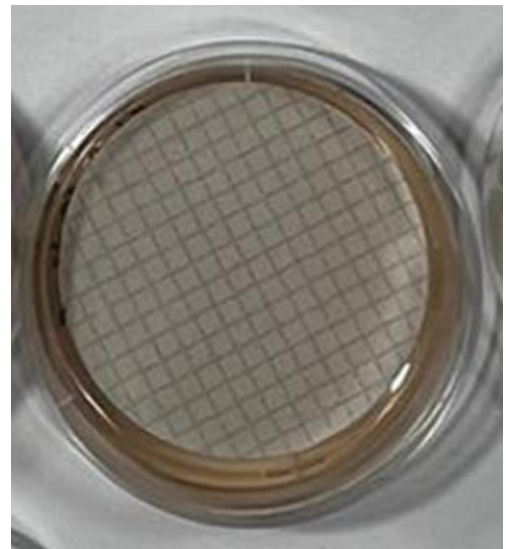


Figure 34 : T1, échantillon B

⇒ **T3: Echec de prélèvement donc pas d'analyse possible.**

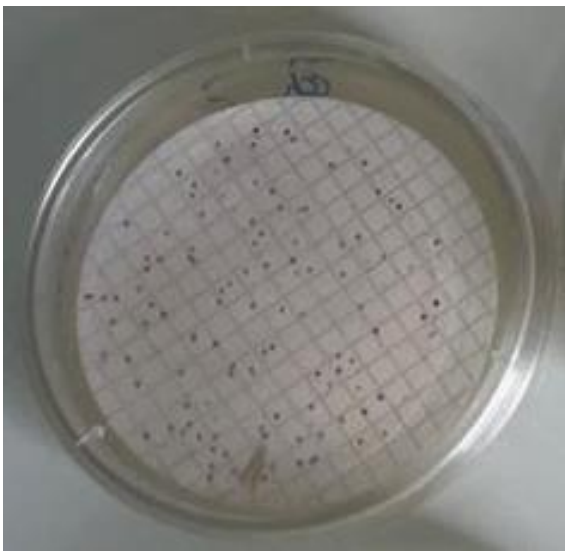


Figure 35 : T2, échantillon E

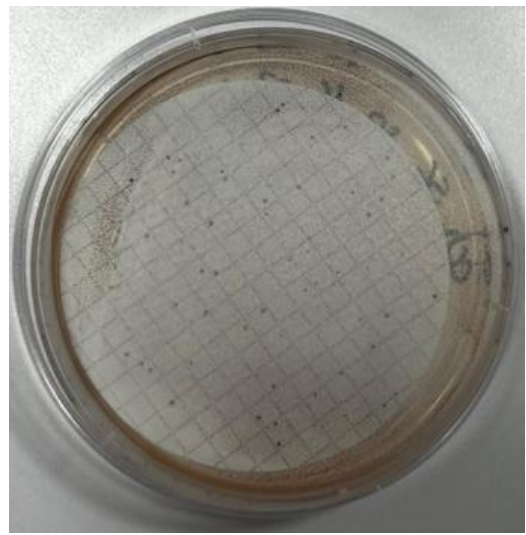


Figure 36 : T4, échantillon 56

Ici, les résultats sont semblables aux ERT en tuile, avec :

- L'absence d'entérocoques pour les échantillons de T0 et T.
- Le développement de colonie d'entérocoques fécaux pour T2 et T4, de manière plus importante pour T2.

iii. Toiture en bac acier avec panneaux photovoltaïques

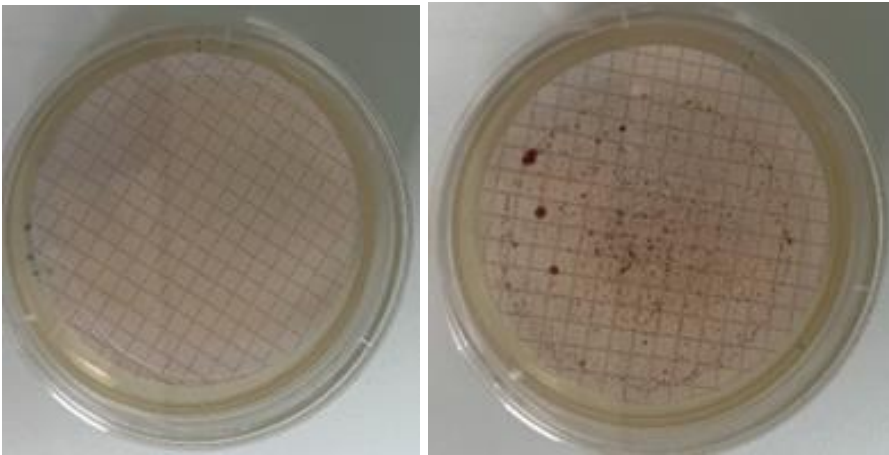


Figure 37 : T0, averse 1 à gauche, averse 2 à droite

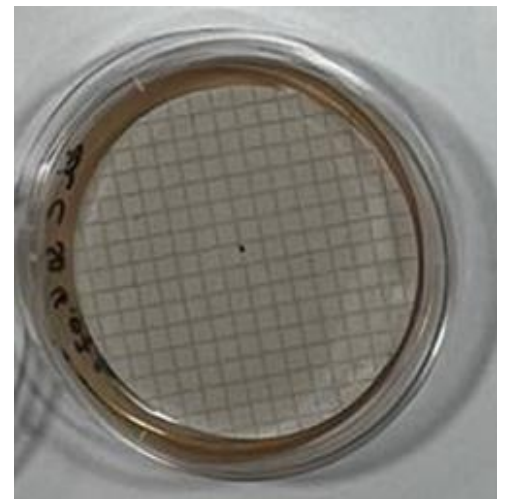


Figure 38 : T1, échantillon C

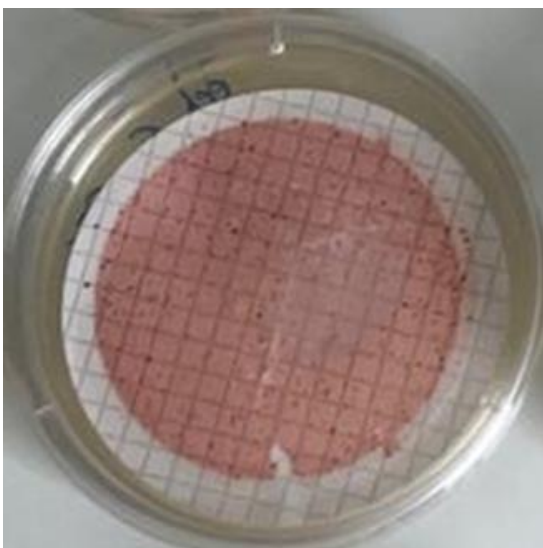


Figure 40 : T2, échantillon F

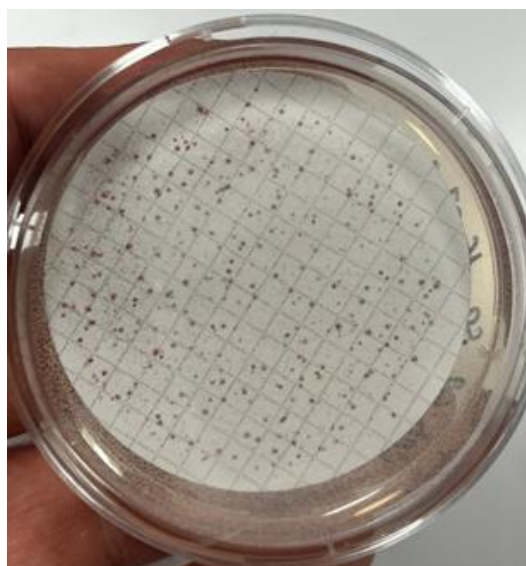


Figure 39 : T4, échantillon 62

Enfin, plusieurs observations sont à prendre en compte :

- Un faible développement pour l'averse 2 que pour l'averse 1 pour T0.
- L'absence d'entérocoques pour T1. Les conditions de prélèvement pour ces échantillons sont identiques à T0. L'échantillon C a été exposé aux UV du soleil contrairement aux échantillons T0.
- Un développement bactérien pour T2 et T4 avec une abondance notable pour T2.

Pour conclure ces résultats, des variations notables apparaissent entre les échantillons, notamment en ce qui concerne la présence de coliformes. Des différences sont observées entre les types de toitures. Les échantillons prélevés en T4 révèlent une diversité bactériologique selon le type de toiture.

De plus, la qualité de l'eau au moment du prélèvement semble jouer un rôle important. En effet, après avoir comparé les résultats obtenus en T0 pour deux averses distinctes, il a été constaté que des colonies différentes se sont développées entre chaque averse, malgré des conditions météorologiques et de prélèvement identiques. Les toits avaient déjà été lessivés lors de ces pluies. Le mois, la période de prélèvement, pourrait également être un facteur influent. En effet, T0 et T1 montrent des colonies différentes de celles observées dans les échantillons prélevés en T3 et T4 pour les toitures en tuile, ainsi que T2 et T4 pour les toitures en bac acier sans et avec panneaux photovoltaïques.

Enfin, il semblerait que les rayonnements UV du soleil aient un impact sur les échantillons testés. Les échantillons A, B, et C (T1) en sont l'exemple. Ils ont été prélevés dans les mêmes conditions que les échantillons en T0, cependant, aucun coliforme ou autre type de colonie bactérienne ne semble s'être développée. Ces échantillons étant exposés aux UV du soleil, ces rayonnements pourraient impacter le développement de colonie dans ces échantillons.

Concernant les entérocoques fécaux, des variations similaires sont également observées. Aucune différence significative n'est notée entre les trois types de toitures. En revanche, comme pour les coliformes, la qualité de l'eau semble avoir un impact. Les échantillons prélevés en T0 et T1 présentent une charge nettement inférieure en colonies d'entérocoques par rapport à ceux réalisés en T3 et T4 pour les ERT en tuile, ainsi que T2 et T4 pour les ERT en bac acier avec et sans panneaux photovoltaïques.

Ces résultats montrent la présence de colonies bactériennes dans les ERT. Ces populations sont à prendre en compte puisque ces bactéries sont nocives pour les animaux qui seraient susceptibles de la boire.

Nous avons donc testé leur résistance aux UV afin de proposer une méthode simple d'élimination.

c. Résistance des colonies bactérienne aux rayonnements UV

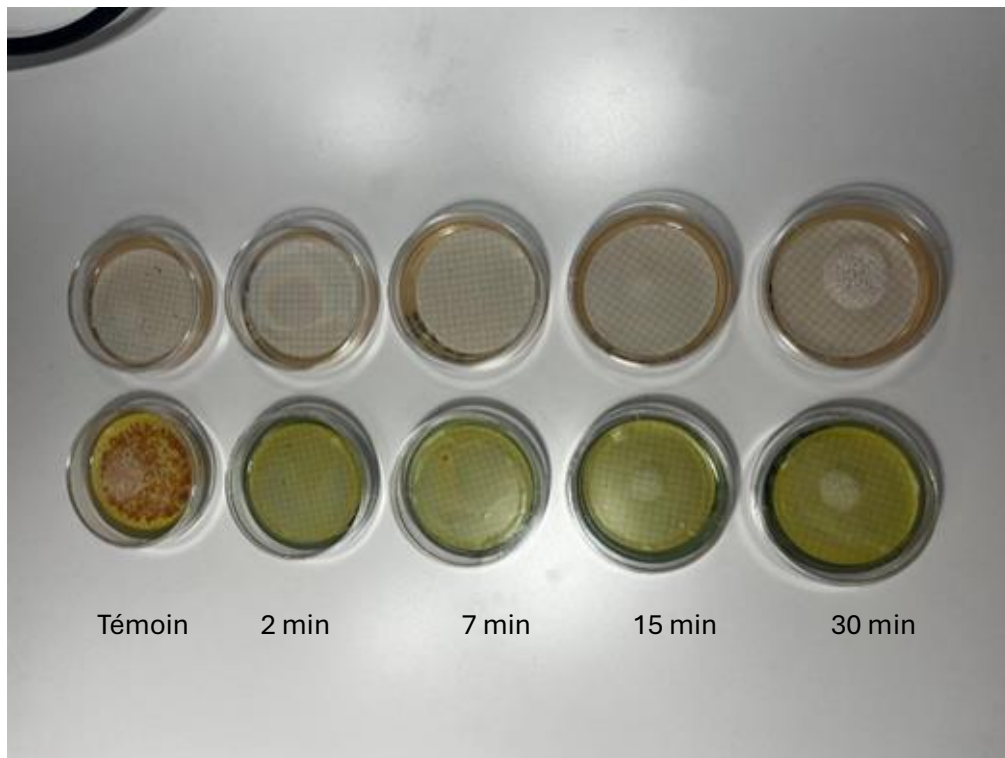


Figure 41 : Résultats obtenus après le passage sur la table UV

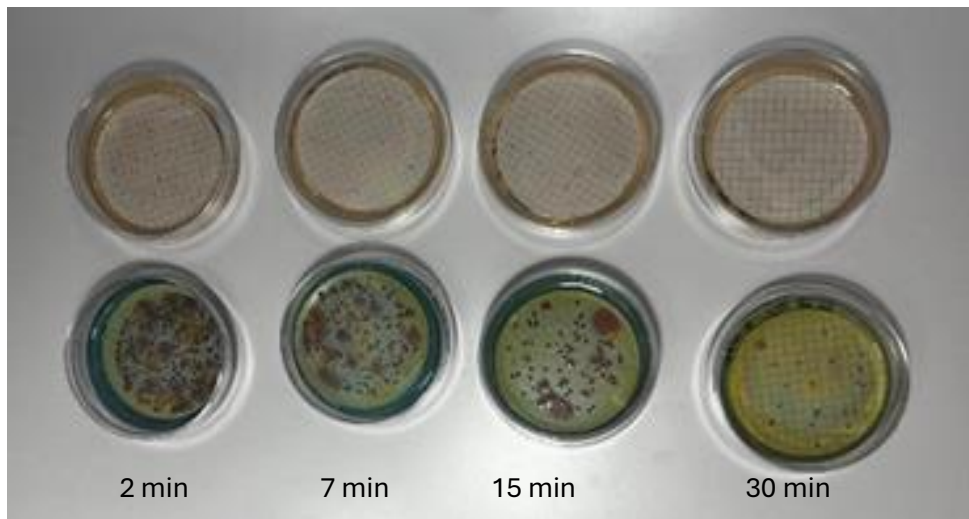


Figure 42 : Résultats obtenus après le passage sous lampe UV

L'eau utilisée pour les tests UV est identique, c'est pourquoi il n'y a qu'un seul témoin pour les deux expériences.

Pour la lampe UV, les colonies bactériennes semblent de moins en moins présentes au cours du tests mais ne sont pas totalement éradiquées.

A l'inverse, la table UV montre une efficacité plus importante avec 90% de la population au bout de 2 min, 99% au bout de 7 min et la totalité au bout de 15 min.

Discussion

1. Comparaison avec l'eau du réseau de la ferme expérimentale à Riscle

D'après les résultats de l'ARS concernant l'eau potable de Riscle (« *Contrôle sanitaire des EDCH* », s. d.), le pH des ERT de la ferme expérimentale semble en moyenne plus acide que l'eau de réseau, avec $\text{pH} = 7.2$ (« *Contrôle sanitaire des EDCH* », s. d.) pour l'eau de réseau et $6.16 < \text{pH} < 7.22$ pour les ERT. Néanmoins, les valeurs obtenues lors de l'analyse, sont pour la plus part dans les normes de qualité requises, qui sont de ≥ 6.5 et ≤ 9 unité pH (« *Contrôle sanitaire des EDCH* », s. d.). Pour de la réutilisation en abreuvement, nos valeurs sont plausibles puisque, les éleveurs gersoises se basent en partie, sur les normes définies par l'ARS. Prenons un élevage de poules pondeuses, ces pH acides sont plutôt rassurants. En effet, une poule pondeuse a besoin d'un pH compris entre 5.5 et 6.5 (BUTEAU, CHIRON, et TRAVEL 2021), pour pouvoir produire des œufs avec des coquilles résistante. De plus, cette acidité permet également, dans le cas d'un élevage de poules pondeuses de diminuer les doses d'acidifiant qui sont mises dans l'eau d'abreuvement (« *ITAVI : Eau de boisson en élevage avicole (Plaquette n°1)* », s. d.).

En revanche, la faible conductivité présente dans les ERT est plus problématique. En effet, en comparaison de l'eau potable qui est à 0.31 ms (« *Contrôle sanitaire des EDCH* », s. d.) contre $0.04\text{ms} < \text{ERT} < 0.17\text{ms}$. La conductivité étant dépendante des minéraux présents dans l'eau, avec des conductivités faibles, les éleveurs devront compenser ce manque, soit de manière artificielle en ajoutant des minéraux dans l'eau, soit par une alimentation adéquate (« *Amélioration de la santé des ruminants par leur alimentation* », s. d.).

Pour l'arrosage d'une pépinière ou d'un maraîcher, une faible conductivité n'est pas problématique car les plantes puisent leurs minéraux dans le sol. Quant au pH, les valeurs ne semblent pas préoccupantes, car elles restent proches de 7, la valeur neutre en pH-métrie.

D'un point de vue bactériologique, les ERT ne sont pas potables. Pour une eau potable, aucune colonie bactérienne nocives comme celles-ci se sont tolérées (« *Contrôle sanitaire des EDCH* », s. d.). Les échantillons d'ERT sont pour la plus part, chargés en colonies bactériennes donc leur consommation est impossible sans traitement. Néanmoins, pour de l'arrosage en pépinière, cette eau n'est pas problématique puisque ces bactéries n'affectent pas les végétaux (« *Entérocoque : infection, définition, maladies* » 2023).

2. Préconisations pour la réutilisation des eaux de ruissellement de toiture

Les préconisations à prévoir doivent être en liens avec les besoins de l'éleveur.

Les ERT ayant un pH légèrement acide, il sera nécessaire de les basifier pour un élevage bovin (Docteur Vétérinaire ROY, s. d.) contrairement à un élevage de volaille (BUTEAU, CHIRON, et TRAVEL 2021) où ce dernier sera en adéquation avec les pH recommandés. Une surveillance est conseillée afin de vérifier si le pH n'augmente pas. Auquel cas, il sera nécessaire de l'acidifier pour le bien être des volailles.

La faible conductivité de ces ERT traduit un manque d'ions et de minéraux dans ces eaux. Ces apports importants pour l'abreuvement des bétails (peu importe le type d'élevage), devra être compensé avec l'alimentation (« *ITAVI : Eau de boisson en élevage avicole (Plaquette n°1)* », s. d.).

D'un point de vue bactériologique, les colonies présentes semblent évoluer en fonction des périodes de prélèvement. Un suivi saisonnier est de rigueur afin d'adapter le traitement si de nouvelles colonies, non étudiées au cours de ce rapport, apparaissent. Le stage ne durant que 6 mois, nous tenons à rappeler qu'aucun test n'a été effectué sur des ERT prélevées en automne et en hiver à la ferme expérimentale.

En ce qui concerne la méthode d'analyse, celle utilisée est fiable. Des analyses effectuées par un laboratoire public, ont été effectuées sur une partie de nos échantillons, confirmant ainsi les résultats obtenus lors des manipulations. Pour des raisons techniques, tous les échantillons n'ont pu être vérifiés par le laboratoire **[Annexe 3]**. Cependant, une autre méthode d'analyse semble tout aussi efficace et pourrait également détecter la présence du virus de la grippe aviaire, le virus le plus surveillé dans les élevages de volailles et de palmipèdes. Il s'agit de la RT-PCR (Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction) (ANSES 2017). En effet, la méthode utilisée dans cette étude ne permet pas de détecter le virus aviaire. Les deux souches principalement recherchées sont le H5N1 et le H7N9, responsables des épidémies de grippe aviaire (ANSES 2017). Toutefois, cette technique ne peut pas être utilisée pour tester l'eau après traitement, car l'ARN de ce virus reste détectable même lorsque le virus est inactivé. Actuellement, le chlore ou le peroxyde d'hydrogène restent les traitements les plus fiables pour éliminer ce virus (Martin, Forman, et Lubroth, s. d.). L'UV est également un moyen de traitement, mais son efficacité n'a pas été prouvée à 100% en raison de la persistance de l'ARN viral, même après l'inactivation du virus. Donc, pour un élevage de volaille ou de palmipède, un traitement au chlore reste le plus plausible. Ce dernier n'affecte pas la santé des animaux contrairement au peroxyde d'hydrogène. Le chlore a également une rémanence importante ce qui permet de limiter le développement de biofilms dans les lignes de pipettes (Bugnicourt, s. d.).

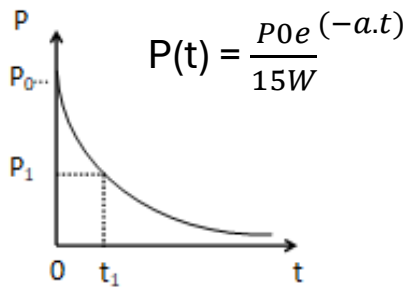
En revanche, pour un élevage bovin, le virus de la grippe aviaire n'est pas problématique, le traitement par UV sur les ERT semble plausible. En effet, d'après les résultats, les rayonnements UV semblent efficaces pour lutter contre les coliformes et les entérocoques fécaux. Pour que le traitement UV soit concluant, une eau claire est nécessaire (ce qui n'est pas toujours le cas pour les ERT). Un filtre à charbon peut être placé en amont du traitement UV afin que ce dernier soit le plus efficace possible.

Des systèmes de traitement avec lampe UV existe déjà, d'un point de vue technique, les lampes sont plus faciles à mettre en place qu'une table UV. Or, d'après nos tests, la table UV semble nettement plus efficace que la lampe. L'efficacité de ces deux outils a également été étudié.

La table a une puissance de 8 W. Elle n'est pas neuve mais relativement récente. Nous considérons qu'elle a une puissance $\leq 5W$ (« *Grosserons* », s. d.).

En revanche, la lampe UV a une puissance de 15 W et est relativement ancienne. D'après les données trouvées sur le manuel du fournisseur, nous savons qu'au bout de 8 000 h, son efficacité descend à 60%.

Ainsi, on a :



Avec 15 la puissance en Watt de lampe et a une constante.

Sachant que $t = 8000h$ $P(t) = 60\%$

$$\Rightarrow P(t) = \frac{P_0 e^{-a.t}}{15W}$$

$$\Rightarrow a = - \frac{\ln\left(\frac{P(t)}{P_0}\right)}{t} \quad \rightarrow \quad a = - \frac{\left(\frac{60\%}{100\%}\right)}{8000} = 0.00003685$$

$$\rightarrow P(t) = 100\% \cdot e^{-0.00003685.t}$$

On aura donc pour 20 000h \rightarrow 28% de la capacité de lampe soit **4.2W**
 et pour 40 000h \rightarrow 15% de la capacité de la lampe soit **2.3W**

Donc, nous estimons qu'à l'heure actuelle, la lampe UV a une efficacité de **15% soit $\leq 2.3W$** .
 Ce résultat explique la faible efficacité de la lampe UV lors de nos tests.

Enfin, en supposant que les ERT soient traités en sortie de stockage avec des puissances similaires aux tests, les temps d'exposition semblent un peu longs notamment si l'agriculteur recherche du débit. Une des solutions seraient d'augmenter la puissance du traitement UV afin de diminuer le temps d'exposition.

3. Enjeux Economiques

a. Étude de cas : Gamm Vert de Mirande

Une des premières applications directes de ce travail sur la réutilisation des eaux de ruissellement de toiture est illustré par l'un des magasin Gamm Vert, appartenant au groupe Vivadour. Situé à Mirande dans le Gers, il possède une cuve enterrée de $15m^3$ alimentée par les ERT. Ce système prévu à l'origine n'a pas été utilisé depuis plus de 10 ans suite à des problèmes techniques, notamment avec la pompe. L'objectif dans ce projet, a d'abord été de faire une première approche de la qualité physico-chimique et bactériologique.

Notre premier objectif a été d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de ces eaux. Les résultats analytiques montrent un pH de 6,44 ($\pm 0,29$) et une conductivité de 0,09 ($\pm 0,07$). Des entérocoques fécaux ont été détectés, ainsi que d'autres bactéries, mais pas de coliformes. Bien que ces bactéries soient considérées comme des contaminants pour l'homme (« *Enterococcus faecalis* (Edition 2007).pdf», s. d.), elles ne présentent pas de danger pour les

végétaux. Néanmoins, pour assurer la sécurité des employés, l'installation d'un filtre à charbon actif et d'un système de traitement UV pourrait être envisagée.

Sur le plan technique, la situation est assez complexe. Une inspection de la cuve a révélé qu'elle est remplie à 98% de graviers et de cailloux. Des devis sont en cours pour la vidange de la cuve et le contrôle de l'état du réseau d'acheminement des ERT. Une étude de faisabilité économique permettra de déterminer s'il est plus rentable de réhabiliter la cuve existante ou d'en installer une nouvelle.

En termes de consommation d'eau, la réutilisation de ces eaux de toiture pourrait permettre de réduire de plus de moitié les besoins en eau du magasin.

En effet, à la suite des RDV avec le responsable de magasin, 90 % de la consommation en eau est dédiée à l'arrosage de la pépinière. Sur la rentrée 2023/2024, 800m³ d'eau ont été consommé par le magasin.

Le magasin est actuellement équipé d'une cuve de 15 m³. Toutes les gouttières, à l'exception de celles situées à l'avant du magasin au niveau de la devanture, sont reliées à cette cuve. Cela représente une surface des ERT de 920 m².

Pour estimer le potentiel de récupération d'eau, nous avons considéré une année moyenne, avec une pluviométrie de 850 mm. En tenant compte de pertes estimées à 20 % lors des averses, le potentiel de récupération annuel est de :

$$920 \text{ m}^2 \times 0,85 \text{ m} \times 0,80 = 625 \text{ m}^3.$$

Cela représente un potentiel mensuel de $625 \text{ m}^3 / 12 = 52 \text{ m}^3$.

Pour garantir une autonomie de deux mois sans pluie, une cuve de 100 m³ serait nécessaire. Cependant, la pertinence d'une telle capacité doit être évaluée en fonction de plusieurs critères:

- Faisabilité technique : Les contraintes liées à l'installation d'une cuve de cette taille.
- Coût : Une cuve de 80 m³ coûte environ 23 700 €.
- Besoins réels : Est-il vraiment nécessaire d'avoir une aussi grande réserve d'eau ?

Dans le cas présent, le choix s'est porté sur une cuve de 15 m³. Cette cuve nécessite 14,5 mm de pluie pour se remplir. Or, même en période estivale, le Gers reçoit au minimum 18 à 20 mm de précipitations par mois. Ainsi, la cuve sera remplie au moins une fois par mois, assurant une autonomie d'environ une semaine. (Pour rappel, la consommation d'eau annuelle est égale à 800m³/an, on a donc par semaine, $800/12/4 \approx 16.67\text{m}^3$ d'eau utilisée).

En période pluvieuse, la cuve sera remplie 3 à 4 fois par mois.

Au total, cela représente une économie annuelle d'environ 600 m³ d'eau, soit les $\frac{3}{4}$ de la consommation totale.

Même avec un scénario catastrophique, l'économie d'eau n'est pas négligeable :

Si l'on prend une année extrêmement sèche pour le Gers, avec seulement 600 mm d'eau tombée. Sur année, la répartition des volumes tombés serait équivalent à :

- 60 mm de janvier à mai
- 40 mm en juin et en septembre
- 20 mm en juillet et en août
- 60 mm d'octobre à décembre

Avec ces chiffres, la cuve se remplirait au moins 2 à 3 fois en période pluvieuse et 1 fois en période sèche, permettant une économie d'eau équivalente à 3 semaines en période pluvieuse et 1 semaine en période sèche. Cela représente un volume d'environ 450 m³ d'eau économisé, soit plus de 50 % de réduction de consommation d'eau. C'est pourquoi ce choix a été fait pour

l'installation de la cuve du Gamm Vert de Mirande. La volonté de la remettre en service est d'autant plus marquée.

b. Étude de cas chez un éleveur laitier

Un éleveur laitier gersois, souhaite mettre en place un système de récupération des ERT sur son nouveau bâtiment. Ce bâtiment fait 3000m², et n'a aucun équipement de récupération d'eau de pluie. Pour son projet, plusieurs points sont à prendre en compte :

- L'équipement en gouttière de tout le bâtiment
- Installation du système de récupération d'ERT complet : installation d'une cuve, réseau d'assainissement, pompe, système de traitement charbon, traitement UV.
- Budget alloué pour ce projet

D'un point de vue technique, cet éleveur a une consommation annuelle de 10 324 m³ avec une consommation d'eau journalière de 30 m³ en période chaude et 10m³ en période plus fraîche. Avec une surface de récupération de 3000 m², il peut potentiellement collecter 2040 m³ d'eau par an, dans une année moyenne, selon le calcul suivant : $3000 \times 0,850 \times 0,8 = 2040$ m³/an. Sa consommation en eau donc est nettement supérieure à ce qu'il peut récolter avec la toiture de son bâtiment. La majorité de cette consommation est liée à l'abreuvement de son bétail.

De plus, la salle de traite nécessite 2 m³ d'eau par jour. Pour répondre à cette demande, il est envisageable d'installer une cuve d'une capacité suffisante pour stocker un mois d'eau, soit environ 170 m³, ce qui suggère l'utilisation d'une citerne souple de 180 à 200 m³. Une partie de cette eau serait réservée exclusivement à la salle de traite, tandis que le reste pourrait contribuer à réduire la consommation globale de l'éleveur.

Sur le plan économique, dans une année de pluviométrie normale, l'éleveur pourrait économiser jusqu'à 2040 m³ d'eau, ce qui correspond à une économie de 5854,80 €, sachant que le coût de l'eau à 2,87€/m³ (« *Service des eaux Saint-Maur (32300) : fournisseur, prix m³ d'eau, abonnement* », s. d.). Même dans un scénario de faible pluviométrie avec seulement 600 mm de précipitations annuelles, l'économie serait significative, avec un potentiel de récupération de 1440 m³ d'eau, représentant une économie de 4132,80 €.

Ces économies potentielles ne sont pas négligeables. Toutefois, il reste à évaluer si le coût d'installation du matériel nécessaire pour récupérer, traiter et redistribuer cette eau est financièrement viable à court ou moyen terme pour l'exploitation. L'étude vise à identifier la solution optimale en matière de récupération d'eau de pluie pour l'exploitation agricole. Cette sélection se fera en fonction des coûts d'installation, des besoins en eau de l'exploitation, des économies potentielles par rapport au réseau d'eau potable et en considérant la hausse de 25%, annoncée pour l'eau de réseau en 2025.

Conclusion

Face aux enjeux du changement climatique et aux prévisions concernant les volumes d'eau disponibles dans les années à venir, les eaux de ruissellement de toiture pourraient offrir une solution efficace pour réduire la consommation d'eau potable. Bien que cette approche ne remplace pas les efforts de sobriété, elle les complète avantageusement.

Les études de cas montrent que les économies potentielles d'eau ne sont pas négligeables. L'eau de ruissellement provenant des toitures présente des caractéristiques intéressantes, notamment en ce qui concerne son pH. Une analyse plus approfondie des paramètres physico-chimiques pourrait aider à mieux comprendre la composition de cette eau. De plus, il serait pertinent d'examiner les aspects bactériologiques, notamment le développement des bactéries anaérobies sulfito-réductrices dans les systèmes de stockage. La question des virus, comme celui de la grippe aviaire, doit également être surveillée, surtout pour les exploitations sensibles à ce type de pathologie.

D'un point de vue technique, des solutions telles que le traitement par rayonnement UV peuvent déjà être mises en place pour les agriculteurs qui souhaitent avancer dans cette démarche.

L'acceptabilité sociale est également un aspect crucial à considérer. Bien que les systèmes actuels soient efficaces depuis des décennies, il est nécessaire de développer et de démontrer l'efficacité des nouvelles solutions pour encourager leur adoption généralisée. L'augmentation prévue des prix de l'eau pourrait également favoriser cette transition.

La réutilisation des eaux alternatives pourrait également jouer un rôle important. En particulier, la réutilisation des eaux de drainage pourrait être une alternative intéressante pour réduire la consommation d'eau naturelle pour l'irrigation. Plusieurs questions doivent être abordées :

- La qualité de l'eau : Est-elle trop chargée en minéraux et pesticides pour être réutilisée ?
- Le stockage de l'eau : Est-il nécessaire d'utiliser des cuves gigantesques ou pourrait-on créer des points d'eau artificiels ?
- La réutilisation à long terme : Est-il possible de réutiliser cette eau indéfiniment, et si oui, quelles sont les limites ?

En conclusion, je suis convaincue que la réutilisation des eaux alternatives (y compris les ERT) a un avenir prometteur dans nos sociétés, surtout dans les régions où les précipitations sont rares, comme la région perpignanaise. À l'international, des systèmes fiables existent déjà, permettant à des immeubles entiers d'être autonomes en eau. Cette approche peut également être appliquée au secteur agricole, par exemple, en utilisant des eaux usées traitées pour l'irrigation, avec un traitement approprié.

Ce stage m'a apporté beaucoup sur le plan technique et analytique, il m'a permis de découvrir la complexité sous-jacente à ce qui semble un projet simple, et m'a également enrichi personnellement grâce aux rencontres que j'ai faites.

Comme le disait un ancien agriculteur « A l'époque la modernisation c'était de se connecter aux réseaux, aujourd'hui c'est de s'en déconnecter »

Bibliographie

« Laboratoire de biotechnologies agroalimentaire et environnementale ». s. d. Consulté le 26 mars 2024. <https://lbae.univ-tlse3.fr/>.

« Groupe Coopératif Vivadour ». s. d. Consulté le 14 juin 2024. <https://www.vivadour.coop/accueil>.

« Défi Clé Water Occitanie ». s. d. <https://woc.edu.umontpellier.fr/>. Consulté le 14 juin 2024. <https://woc.edu.umontpellier.fr/>.

« PREVISIONS METEO FRANCE - Site Officiel de Météo-France - Prévisions gratuites à 15 jours sur la France et sur le monde ». s. d. Consulté le 26 août 2024. <https://meteofrance.com/>.

« Nouvelles ressources (Israël) : traitement et recyclage des eaux de pluie en zones urbaines ». 2020. *Israël Science Info* (blog). 27 mars 2020. <https://www.israelscienceinfo.com/environnement/nouvelles-ressources-israel-le-traitement-et-le-recyclage-des-eaux-de-pluie-en-zones-urbaines/>.

Lafforgue, M., et V. Lenouvel. 2015. « Closing the Urban Water Loop: Lessons from Singapore and Windhoek ». *Environmental Science: Water Research & Technology* 1 (5): 622-31. <https://doi.org/10.1039/C5EW00056D>.

« Résultat de votre recherche ». s. d. Consulté le 26 août 2024. <https://www.grosseron.com/Resultats.aspx?q=Vilber%20Lourmat>.

« Consulter les résultats de la qualité de l'eau du robinet dans chaque ville (Outil de recherche) ». s. d. Consulté le 26 août 2024. <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/R11461>.

GDS Creuse. s. d. « 6 2019 Qualité de l'eau et abreuvement ».

« L'eau en élevage : une qualité à garantir de la ressource à la distribution ». 2020. 9 décembre 2020. <https://www.pleinchamp.com/actualite/l-eau-en-elevage-une-qualite-a-garantir-de-la-ressource-a-la-distribution>.

« Amélioration de la santé des ruminants par leur alimentation ». s. d. Triple Performance. Consulté le 26 août 2024. [//wiki.tripleperformance.fr/wiki/Am%C3%A9lioration_de_la_sant%C3%A9_des_ruminants_par_leur_alimentation](https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Am%C3%A9lioration_de_la_sant%C3%A9_des_ruminants_par_leur_alimentation).

« ITAVI : Eau de boisson en élevage avicole (Plaquette n°1) ». s. d. Consulté le 26 août 2024. <https://www.itavi.asso.fr/publications/eau-de-boisson-en-elevage-avicole-plaquette-n-1>.

« Contrôle sanitaire des EDCH ». s. d. Consulté le 21 juin 2024. <https://orobnat.sante.gouv.fr/orobnat/rechercherResultatQualite.do>.

« Entérocoque : infection, définition, maladies ». 2023. <https://www.passeportsante.net/>. 20 septembre 2023. <https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=enterocoque-infection-definition-maladies>.

BUTEAU, A, G CHIRON, et A TRAVEL. 2021. « Qualité de l'eau en élevage de volailles de chair ». [file:///C:/Users/totic/Downloads/buteau_eau_tema_57vf%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/totic/Downloads/buteau_eau_tema_57vf%20(1).pdf).

ANSES. 2017. « Détection de génome de virus influenza aviaire de sous-type H5 de la lignée eurasienne selon la méthode de RT-PCR temps réel gène H5-HA2 avec témoin ositif « non cible » externe rRT-PCR AIV H5-HA2 avec IPC-M ». septembre 2017.

https://www.anses.fr/fr/system/files/Anses_PLOUF_MA2_rev6_rRT-PCRAIVH5_2017_Sept_v28092017.pdf.

Martin, V, A Forman, et J Lubroth. s. d. « Se préparer à l'influenza aviaire hautement pathogène ».

Occitanie, DRAAF. 2022. « RA2020 - Gers - Une agriculture plus spécialisée en productions végétales - Agreste Études n°18 - Juillet 2022 ». DRAAF Occitanie. 21 juillet 2022.

<https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/ra2020-gers-une-agriculture-plus-specialisee-en-productions-vegetales-agreste-a7143.html>.

« Enterococcus faecalis (Edition 2007).pdf ». s. d. Consulté le 13 août 2024.

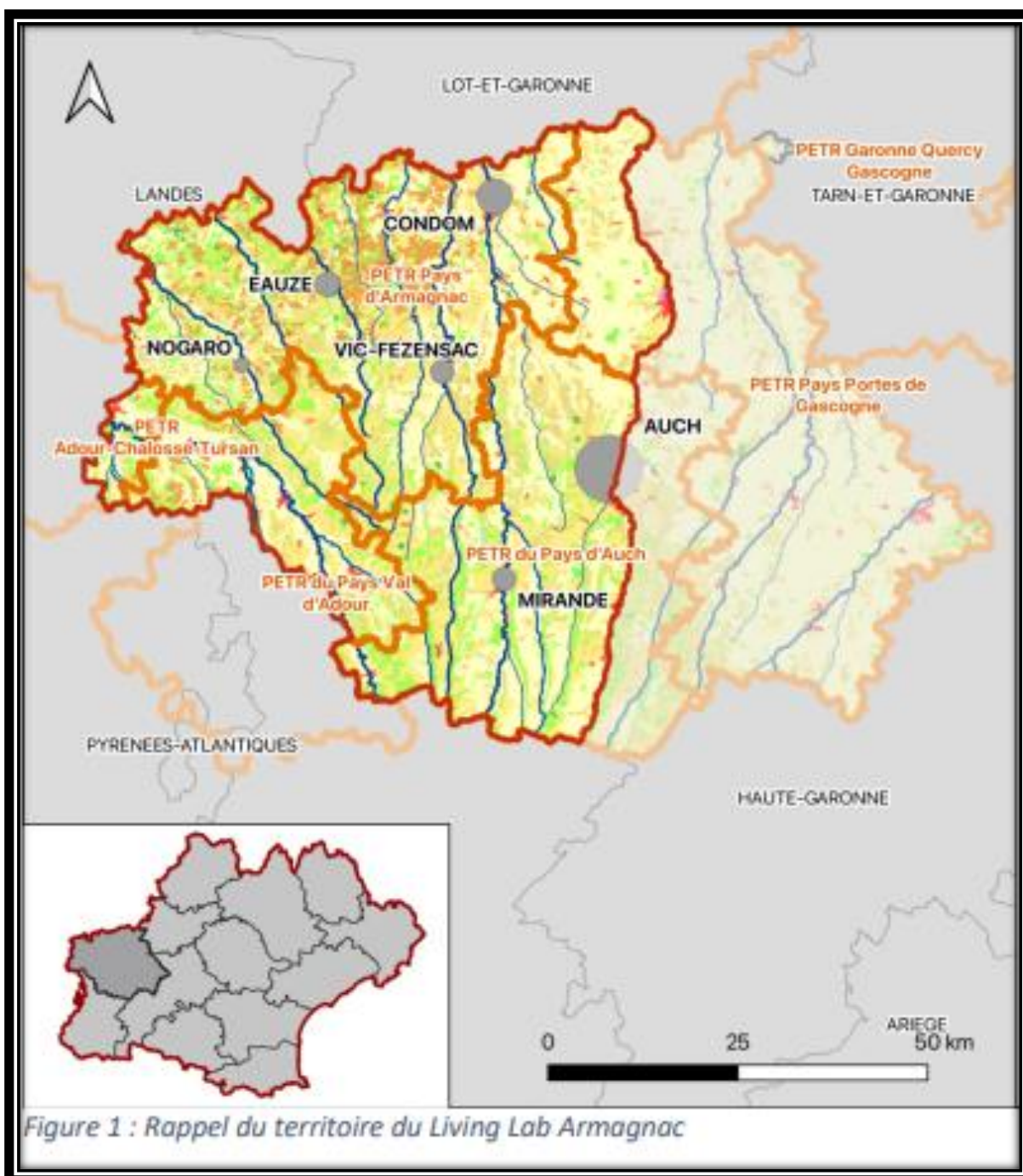
[https://www.ctcb.com/documentation/Fiches%20techniques%20BAC/Enterococcus%20faecalis%20\(Edition%202007\).pdf](https://www.ctcb.com/documentation/Fiches%20techniques%20BAC/Enterococcus%20faecalis%20(Edition%202007).pdf).

Bugnicourt, M Max. s. d. « BIOFILMS ET QUALITE BIOLOGIQUE DE L'EAU POTABLE AU COURS DE SA DISTRIBUTION ».

« Service des eaux Saint-Maur (32300) : fournisseur, prix m3 d'eau, abonnement ». s. d. Consulté le 26 août 2024. <https://eau.selectra.info/commune/32393>.

Annexes

Annexe 1 : Carte représentant le territoire du Living Lab Gers Armagnac
(Source : Défi Clé Water Occitanie).



Annexe 2 : Exemple d'une fiche contenant les résultats de l'analyse physico-chimie et bactériologique d'un échantillon issu d'une ERT en tuile. Cette fiche correspond à l'échantillon 51 (T4).

Destinataire

IUT Paul Sabatier
24, Rue d'Embaquès
32000 AUCH

Auch, le 16/08/2024

RAPPORT D'ESSAI

N° : HC-24-0831 validé le 16/08/2024

° échantillon : **1300**

Réceptionné le : 12/08/2024 à : 11:40

°Commune :

*Prélevé le : 12/08/2024 à : 09:00

*Préleveur : Le client

°Lieu de prélèvement : -

*Prélèvement sous accréditation : NON

°Point précis de prélèvement : Point 1

°Nature de l'échantillon : eaux pluviales

(°) Données fournies par le client.

(*) Données fournies par le préleveur.

Date de début d'analyse : 12/08/2024

PARAMETRES	METHODE DE MESURE	RESULTATS	Unités
Turbidité	NF EN ISO 7027-1	5.2	NFU
pH -Température de mesure : 19.1°C	NF EN ISO 10523	7.0	
Conductivité à 25 °C -Température de mesure : 19.1°C (1)	NF EN 27888	178	µS/cm
Ammonium en NH4	NF T 90-015-2	3.1	mg/l NH4+
Coliformes	NF EN ISO 9308-1 Sept. 2000	> 80	/100 ml
Escherichia coli	NF EN ISO 9308-1 Sept. 2000	> 80	/100 ml
Entérocoques intestinaux	NF EN ISO 7899-2	> 80	/100 ml
Organismes anaérobies sulfite-réducteurs (clostridia)	NF EN 26461-2	> 80	/100ml
Bactéries revivifiables à 22°C-68h	NF EN ISO 6222 (par incorporation)	> 300	UFC/ml
Bactéries revivifiables à 36°C-44h	NF EN ISO 6222 (par incorporation)	> 300	UFC/ml

(1) : Correction à l'aide d'un dispositif de compensation de température

Annexe 3 : Fiche technique pour gélose lactosée au TTC et au tergitol

Annexe 4 : Fiche technique pour gélose Slanetz et Bartley

Annexe 5 : Résultats complets des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Ces trois annexes sont relativement conséquente, c'est pourquoi, elles sont consultables via ce lien google drive :

https://drive.google.com/drive/folders/12qH5c_nLL0kCQ_jnvldySRkmO2VEIIwD?usp=drive_link

Annexe 6 : Tableau des taches

Intervenant	Idée Originale	Bibliographie	Mise en place des récupérateurs d'eau	Préparation du matériels au laboratoire	Analyse des résultats	Rédaction
Principal	DC	CT	GL et PG	CB	CT	CT
Secondaire	BG et FM	BG et FM	CT	CT, BG	BG	

CT : Carla Toti, stagiaire

BG : Bruno GABRIEL, maître de stage

FM : Frédéric Marcato, maître de stage

CB : Claire Boyals, technicienne de laboratoire

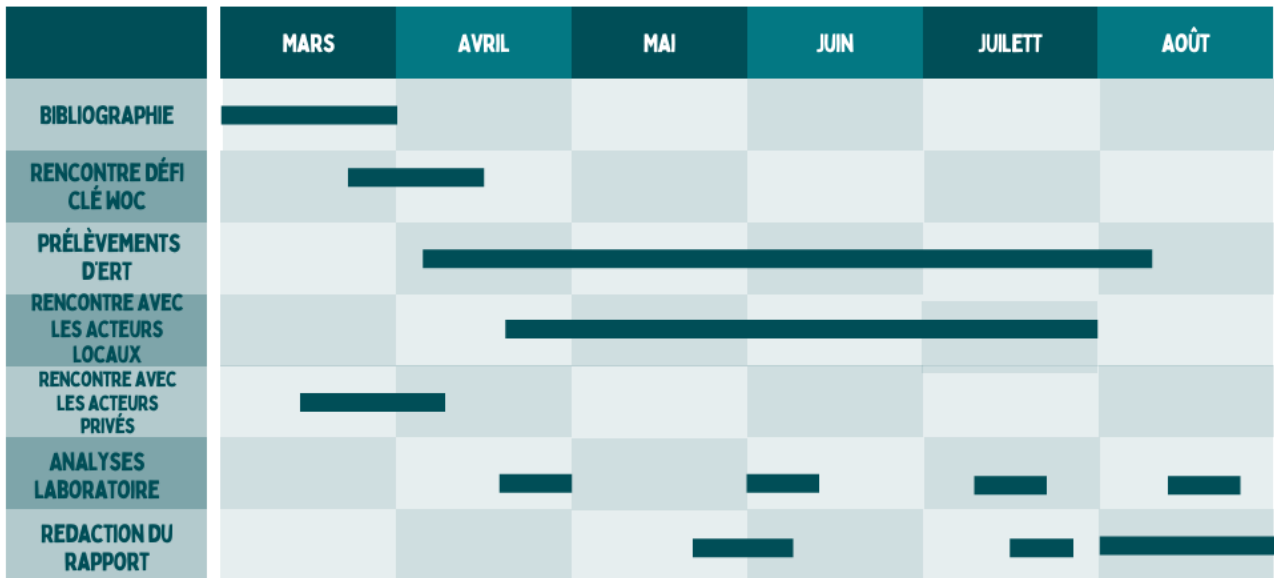
GL : Guillaume Lamarque, employé Vivadour

PG : Pierre Granier, employé Vivadou

DF : Défi Clé WOC

Annexe 7 : Diagramme de GANTT

Organisation du stage



FIN