IMT Mines Albi-Carmaux
École Mines-Télécom

IMT Mines Alès
École Mines-Télécom

Rapport de stage de fin d'études

Sujet de projet :

Potentiel de réutilisation des eaux d'un centre aquatique

Réalisé par :

JERIDI Ahmed

Mastère Spécialisé : Procédés et Ressources pour l'Ingénierie de l'Economie Circulaire

Promotion : 2024/2025

Encadrement professionnel :

Guillaume Junqua — **Hydrosciences Montpellier, IMT Mines Alès**

David Lopez Ferber — **Rousselet Environnement**

Encadrement académique :

Lydie Mignano — **IMT Mines Albi**

Remerciement

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes et institutions qui ont rendu possible cette première expérience à l'international, un véritable challenge et une opportunité exceptionnelle de développement personnel et professionnel.

Je tiens tout particulièrement à remercier mon encadrant professionnel au sein d'HydroSciences Montpellier, Mr Guillaume Junqua. Son accompagnement, sa disponibilité, ses conseils avisés et sa confiance ont été essentiels à chaque étape de ce projet. Grâce à son soutien technique et moral, j'ai pu relever les défis liés à ce stage dans le cadre d'un projet d'envergure, approfondir mes compétences et progresser tant sur le plan personnel que professionnel. Sa patience, sa pédagogie et son implication ont fait de cette expérience un véritable apprentissage et un moment marquant de mon parcours.

Je remercie également Mr David Lopez Ferber, mon deuxième encadrant chez Rousselet Environnement, pour son expertise, sa disponibilité et ses conseils constructifs tout au long de la mission.

Ma tutrice académique, Mme Lydie Mignano, mérite également toute ma reconnaissance pour son accompagnement précieux, ses orientations pertinentes et son soutien constant dans le suivi de mes travaux.

Je remercie par ailleurs l'IMT Mines Albi, l'équipe d'HydroSciences Montpellier ainsi que l'équipe du programme Défi Clé Water Occitanie, pour leur accueil, leur disponibilité et les échanges enrichissants. Je souhaite également remercier mes collègues stagiaires pour le travail collaboratif lors des entretiens et l'ensemble de l'équipe projet pour leur accompagnement attentif tout au long du stage.

Enfin, je remercie ma famille pour son soutien constant et ses encouragements tout au long de ce parcours. Je souhaite également exprimer ma gratitude à mes amis pour leur soutien moral et leurs encouragements précieux. Je remercie aussi mon équipe de basket, Albi Basket 81, pour leur esprit d'équipe et leur motivation, qui m'ont aidé à garder équilibre et détermination durant cette expérience.

Cette expérience à l’international restera pour moi une étape marquante, qui m’a permis de relever un projet exigeant dans un cadre stimulant, de développer mes compétences et d’acquérir une vision enrichissante du travail en équipe et du terrain professionnel.

Résumé

La raréfaction des ressources en eau en Méditerranée, amplifiée par les sécheresses récurrentes et une pression anthropique intense, dans ce contexte, l'usage des eaux non conventionnelles apparaît comme une stratégie clé pour diversifier les sources d'approvisionnement et améliorer la résilience hydrique. Parmi ces gisements, les eaux issues des centres aquatiques restent peu étudiées, malgré les volumes significatifs générés lors des vidanges, lavages de filtres ou durant le renouvellement des eaux en fonction de la fréquentation. Actuellement gaspillés sans valorisation, ces rejets pourraient constituer une ressource supplémentaire pour des usages non alimentaires.

L'objectif de ce projet est d'évaluer le potentiel de réutilisation de ces eaux pour diminuer la consommation d'eau potable, de minimiser les pertes actuelles et de proposer des scénarios de valorisation adéquates avec les besoins locaux.

Pour atteindre cet objectif, une approche globale et intégrée, reposant sur trois dimensions, technique, participative et innovante, est mise en œuvre.

Sur le plan technique, une caractérisation qualitative et quantitative des rejets du centre aquatique est menée pour mieux comprendre leur composition et leur fluctuation. Dans le cadre participatif, les acteurs locaux sont inclus dans le diagnostic, à travers une analyse des enjeux territoriaux, des dynamiques locales et des besoins en ressources hydriques, favorisant ainsi leur implication dans la construction participative des solutions. Enfin, l'approche innovante s'appuie sur l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) pour identifier les bénéficiaires potentiels, évaluer leurs besoins en eau et comparer différents scénarios d'usages.

Les résultats tirés de ces démarches seront utilisés à concevoir un atelier participatif, favorisant un débat entre les parties prenantes et la création d'un espace d'échanges. Cette interaction vise à sensibiliser les acteurs, renforcer leur engagement collectif et ajuster les stratégies de gestion, dans une logique de valorisation durable et circulaire de la ressource en eau.

Mots clés : réutilisation des eaux de piscine, gestion durable de l'eau, approche participative, analyse du cycle de vie, usages non potables.

Abstract

Water scarcity in the Mediterranean region, exacerbated by recurrent droughts and strong anthropogenic pressure, highlights the need for alternative strategies to diversify water sources and strengthen resilience. In this context, the reuse of unconventional water resources emerges as a key approach. Among these resources, wastewater from aquatic centers remains little studied, despite the significant volumes generated during pool draining, filter backwashing, or water renewal according to attendance. Currently lost without valorization, these discharges could represent a complementary source for non-potable uses.

The goal of this project is to assess the potential for reusing such waters in order to reduce drinking water consumption, limit current losses and propose valorization scenarios adapted to local needs. To achieve this, an integrated approach, articulated around three dimensions, technical, participatory, and innovative, was adopted.

From a technical perspective, a qualitative and quantitative characterization of effluents from the aquatic center was conducted to better understand their composition and variability. On the participatory side, local stakeholders were involved in the diagnostic process through an analysis of territorial challenges, local dynamics and water resource needs, fostering their implication in the co-construction of solutions. Finally, the innovative dimension relies on the use of Life Cycle Assessment to identify potential beneficiaries, evaluate their water needs, and compare different reuse scenarios.

The results of these approaches will support the design of a participatory workshop, aimed at opening dialogue among stakeholders and creating a space for exchange. This interaction seeks to raise awareness, strengthen collective engagement and adjust management strategies, within a perspective of sustainable and circular water resource valorization.

Keywords : swimming pool water reuse, sustainable water management, participatory approach, life cycle assessment, non-potable uses.

Table des matières

Introduction....1

RAPPORT D'ACTION....3

1. Objet de la mission....3
2. Les résultats, la réponse au problème posé....4
   2.1. Caractérisation quantitative des effluents du centre aquatique. .4
   2.2. Diagnostic participatif du territoire par entretiens semi-directifs.4
   2.3. Caractérisation qualitative des effluents du centre aquatique....5
   2.3.1. Campagne 1....6
   2.3.2. Campagne 2....8
   2.3.3. Campagne 3....10
   2.4. ACV....12
3. Justification des résultats....13
4. Suites à donner....14

RAPPORT D'ETUDE....15

1. Présentation de vos missions en entreprise....15
   1.1 Présentation du contexte, de l'entreprise, de votre service d'affectation....15
   1.1.1 Contexte de l'étude....15
   1.1.2 Présentation des organismes d'accueil et des acteurs du projet 16
   1.2 La mission du stage....18
2. Déroulement de l'étude....18
   2.1. La méthodologie suivie....18
   2.1.1. Phase préparatoire : recherche bibliographique et cadrage...20
   2.1.2. Étape de diagnostic de terrain....23
   2.1.3. Analyse des données....25
   2.1.4. Tests des procédés de traitement....28
   2.1.5. Mise en place d'une approche participative....30
   2.1.6. Conclusion partielle....31
   2.2. Résultats....31
   2.2.1. Caractérisation quantitative des eaux du centre aquatique...31

2.2.2. Diagnostic participatif.....34
2.2.3. Caractérisation qualitative des effluents.....40
2.2.4. Analyse comparative des résultats avec les normes de REUSE 52
2.2.5. Tests de procédés de traitement des effluents.....55
2.2.6. Analyse de cycle de vie.....59
3. Conclusion.....63
3.1. Bilan du projet et synthèse des résultats.....63
3.2. Suite à donner au projet et perspectives.....65
BILAN PERSONNEL DE VOTRE PROJET PROFESSIONNEL.....66
1. Contribution à la construction de mon projet professionnel.....66
2. Développement des compétences.....66
3. Apport pour le projet et pour le territoire.....68
4. Points à améliorer et axes de progression.....68
Bibliographie.....70
Annexe.....1

Liste des figures

Figure 1 : les percentages des eaux consommées par le centre aquatique en 2023 et 2024.....4
Figure 2 : Modèle dynamique acteur-acteur.....5
Figure 3 : Courbe d'absorbance en fonction de longueur d'onde par spectrophotomètre UV VIS (Campagne 1).....6
Figure 4 : Conductivité (campagne 1).....7
Figure 5 : Résultat de la chromatographie ionique (campagne 1).....7
Figure 6 : carbone organique totale (campagne 1).....7
Figure 7 : Courbe d'absorbance en fonction de longueur d'onde par spectrophotomètre UV VIS (Campagne 2).....8
Figure 8 : Conductivité (campagne 2).....8
Figure 9 : Résultat de la chromatographie ionique (campagne 2).....9
Figure 10 : Carbone organique totale (campagne 2).....9
Figure 11 : Analyse microbiologique (campagne 2).....9
Figure 12 : les paramètres physico-chimiques de l'eau durant les phases de traitement.....12
Figure 13 : Méthodologie de travail.....19
Figure 14 : Carte de la zone d'étude « Clermont l'Hérault ».....21
Figure 15 : L'installation et le circuit d'eau de piscine.....22
Figure 16 : Modèle dynamique acteur-acteur.....35
Figure 17 : Modèle dynamique du secteur agricole.....36
Figure 18 : Modèle dynamique du secteur industriel.....37
Figure 19 : Modèle dynamique du secteur urbain.....38
Figure 20 : Courbe d'absorbance en fonction de longueur d'onde par spectrophotomètre UV VIS (Campagne 1).....41
Figure 21 : Conductivité des échantillons (Campagne 1).....41
Figure 22 : Teneur ionique des échantillons par chromatographie ionique (Campagne 1).....42
Figure 23 : Taux de carbone organique total (Campagne 1).....42
Figure 24 : Courbe d'absorbance en fonction de longueur d'onde par spectrophotomètre UV VIS (Campagne 2).....44
Figure 25 : Conductivité des échantillons (Campagne 2).....45
Figure 26 : Teneur ionique des échantillons par chromatographie ionique (Campagne 2).....46
Figure 27 : Teneur en carbone organique total.....47
Figure 28 : Analyse bactériologique.....48
Figure 29 : comparaison des ions majeurs entre les 2 campagnes.....49
Figure 30 : Filtre à cartouche.....56
Figure 31 : Ecran d'affichage de l'unité d'Ultrafiltration.....56
Figure 32 : Résultats de la chromatographie ionique et de TOC mètre de l'eau dans les phases de traitement.....57
Figure 33 : Carte d'emplacement du centre aquatique par rapport aux bénéficiaires potentiels 60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les analyses laboratoires des eaux.....26
Tableau 2 : les données de calcul de consommation d'eau annuelle de contre lavage des filtres à sable.....32
Tableau 3 : Les catégories des acteurs sélectionnés.....34
Tableau 4 : Les usages demandés par les acteurs.....39
Tableau 5 : les échantillons issus de la 2ème campagne.....43
Tableau 6 : Analyse comparative des ions majeurs entre les 2 campagnes.....50
Tableau 7 : Analyse comparative de TOC entre les 2 campagnes.....51
Tableau 8 : les secteurs d’activités selon leurs besoins en eau.....61

Liste des abréviations

ACV : Analyse de cycle de vie

ENC : eaux non conventionnelles

FAS : Filtre à sable

OI : Osmose inverse

UF : Ultrafiltration

Introduction

L'eau est une ressource vitale qui joue un rôle central dans le développement durable à l'échelle mondiale, en matière économique, sociale et environnementale. Elle est vitale pour l'agriculture, l'industrie, la génération d'énergie et l'usage domestique (Cerutti, 2023). La gestion durable de l'eau fait face à plusieurs enjeux à travers le monde : augmentation de la pollution, épuisement des ressources, conséquences du réchauffement climatique, sans oublier les disparités d'accès entre les différents pays et même au sein des territoires. Ces difficultés mettent en péril non seulement l'accès aux ressources, mais également la santé publique, la sécurité alimentaire, la stabilité économique et plus précisément, la résilience des sociétés. Notamment, la mauvaise gouvernance de l'eau et le déficit de financement pour des infrastructures et des initiatives novatrices freinent considérablement l'évolution de solutions adaptées, notamment dans des secteurs aussi stratégiques que l'agriculture (Ramm et al, 2023).

En France, la gestion de l'eau revêt une importance majeure, notamment dans les régions méditerranéennes. Ces zones subissent une pression accrue sur cette ressource en raison des périodes de sécheresse plus fréquentes, d'une demande intense pour l'irrigation et d'un afflux touristique saisonnier important. Dans ce contexte, le recours à des sources alternatives d'eau, connues sous le nom d'eaux non conventionnelles (ENC), comme les eaux usées traitées, les eaux grises, l'eau provenant des piscines ou encore l'eau de pluie collectée, est une voie de plus en plus étudiée pour réduire la pression sur les ressources conventionnelles (Ministère de la Transition écologique, 2023).

Toutefois, bien que ces catégories d'eau soient disponibles en volume significatif, leur valorisation reste encore largement inexplorée. Cela est particulièrement le cas pour les eaux de piscine : chaque année, les centres aquatiques doivent procéder à des opérations régulières de vidanges partielles ou complètes des bassins, de lavage des filtres ou encore du renouvellement d'une partie des eaux en fonction de la fréquentation.

Ces pratiques entraînent d'importantes pertes d'eau, généralement évaluées à des milliers de mètres cubes par an pour un seul équipement, alors que ces eaux, déjà traitées et relativement peu polluées, ont un potentiel de réutilisation encore largement inexploité. Dans une perspective d'économie circulaire de l'eau, leur valorisation contrôlée permettrait non seulement de réduire les rejets vers le milieu naturel, mais aussi de contribuer à la

préservation des ressources conventionnelles en réinjectant ces volumes dans des usages locaux adaptés (arrosage d'espaces verts, irrigation agricole, voirie, etc.) (Ramm et al, 2023). Quelques centres aquatiques, tels que le « Wave Island » de Monteux dans le Vaucluse ou la piscine municipale d'Istres dans les Bouches-du-Rhône mettent toutefois en place cette réutilisation (L'Echo du mardi, 2025, France Info, 2025).

Dans ce cadre, le projet Défi Clé Woc, qui fait partie 15 Défis Clés de l'Occitanie, a été initié. Ce projet rassemble un large réseau d'acteurs scientifiques, industriels et territoriaux autour de la valorisation des eaux usées traitées et des eaux non conventionnelles, dans le but de s'adapter au changement climatique et de favoriser une gestion intégrée et circulaire de la ressource en eau. Il s'inscrit dans le cadre des « Living Labs », qui sont des structures de collaboration réunissant différents acteurs et parties prenantes pour stimuler l'innovation en matière de réutilisation des eaux usées traitées (REUT) et d'eaux non conventionnelles, avec un ancrage territorial fort permettant d'expérimenter, co-développer et évaluer des solutions sur mesure pour répondre aux besoins locaux.

Ce projet de recherche étudie diverses dimensions liées à la gestion et à la réutilisation de l'eau, en intégrant les dimensions sociales, économiques, techniques et réglementaires. Il s'appuie sur des instruments de gestion de projet, incluant le diagnostic des dynamiques et des enjeux, la planification, la prise de décision, la mise en œuvre, ainsi que le suivi et l'évaluation, le tout selon une approche participative impliquant les parties prenantes à chaque étape.

Ce projet de fin d'études se focalise précisément sur les phases de diagnostic, de planification et de co-décision, en évaluant le potentiel de réutilisation des eaux d'un centre aquatique situé au sein de la Communauté de Communes du Clermontais.

L'objectif du stage est de développer et d'instaurer une méthodologie concertée et optimisée de gestion des eaux d'un centre aquatique, en vue de leur réutilisation dans une logique circulaire. Cette démarche repose sur un processus qui va du diagnostic initial jusqu'à la co-construction de scénarios de valorisation avec les acteurs locaux.

Ce travail s'inscrit pleinement dans un cadre d'économie circulaire de l'eau, visant à boucler les cycles de l'eau, en contribuant à la conception de solutions innovantes, durables et adaptées aux spécificités locales, au service de la résilience hydrique des territoires méditerranéens.

RAPPORT D’ACTION

1. Objet de la mission

La région méditerranéenne, soumise à de longues périodes de sécheresse et à une forte pression anthropique, figure parmi les territoires les plus vulnérables face à la raréfaction des ressources en eau. Dans ce contexte, la valorisation des eaux non conventionnelles, et en particulier celles issues des centres aquatiques, représente une piste stratégique pour diversifier les sources et renforcer la résilience hydrique locale. Les piscines publiques génèrent en effet des volumes importants et réguliers d’eaux rejetées lors des vidanges, des lavages de filtres ou encore des les eaux renouvelées par baigneur. Aujourd’hui, ces rejets sont le plus souvent perdus sans aucune valorisation, alors qu’ils pourraient constituer une ressource alternative. Leur composition se caractérise par une faible charge organique mais par la présence de désinfectants et de résidus organiques, ce qui impose la mise en place de procédés de traitement spécifiques afin d’envisager des usages non alimentaires en toute sécurité.

C’est dans ce cadre que s’inscrit le projet mené au sein du programme régional « Défis Clés Water Occitanie », associant HydroSciences Montpellier (laboratoire académique), Rousselet Environnement (bureau d’études spécialisé en gestion des effluents) et la Communauté de Communes du Clermontais, qui met à disposition son centre aquatique intercommunal en tant que site pilote et contribue à la co-construction des scénarios de valorisation.

La problématique centrale consiste à déterminer comment ces volumes importants d’eau peuvent être réutilisés afin de réduire la consommation d’eau potable, limiter le gaspillage de cette ressource et développer des usages adaptés aux besoins locaux, tout en respectant les exigences sanitaires et réglementaires.

La mission confiée visait à élaborer et appliquer une méthodologie de gestion optimisée de ces effluents, comprenant : le diagnostic du circuit de l’eau et l’identification des gisements mobilisables, l’analyse des besoins des bénéficiaires potentiels, l’étude des traitements requis, la co-construction de scénarios de valorisation et l’évaluation des freins techniques, réglementaires et économiques. L’objectif principal était de fournir des résultats opérationnels et des recommandations concrètes pour une réutilisation durable de ces eaux. Néanmoins,

certaines limites ont orienté le travail : disponibilité partielle des données, cadre réglementaire encore restreint pour certaines pratiques, et durée limitée du stage, ce qui a conduit à cibler prioritairement des usages non potables et des scénarios applicables à court et à moyen terme.

2. Les résultats, la réponse au problème posé

Afin de répondre à la problématique de valorisation des eaux issues du centre aquatique, la mission combine plusieurs approches complémentaires : un diagnostic quantitatif et participatif, une caractérisation qualitative en laboratoire appuyée par des essais de traitement et enfin une analyse territoriale croisant l'offre en eaux réutilisables et la demande locale, consolidée lors d'un atelier participatif. Ces étapes successives permettent d'apporter une réponse structurée au cahier des charges, en démontrant la faisabilité technique et organisationnelle d'une réutilisation locale de ces effluents.

2.1. Caractérisation quantitative des effluents du centre aquatique

La consommation totale d'eau du Centre aquatique du Clermontais s'élève à 11 157 m³ en 2023 et 11 290 m³ en 2024. Cette consommation résulte principalement de quatre usages : le renouvellement des eaux en fonction du nombre de baigneurs, le contre-lavage des filtres, la vidange annuelle des bassins et l'utilisation des douches. La répartition montre une stabilité entre les deux années : 49 % des volumes sont liés au renouvellement par baigneur, 40 % à l'eau des douches, 4 % au contre-lavage des filtres et 8 % à la vidange annuelle. (Figure 1).

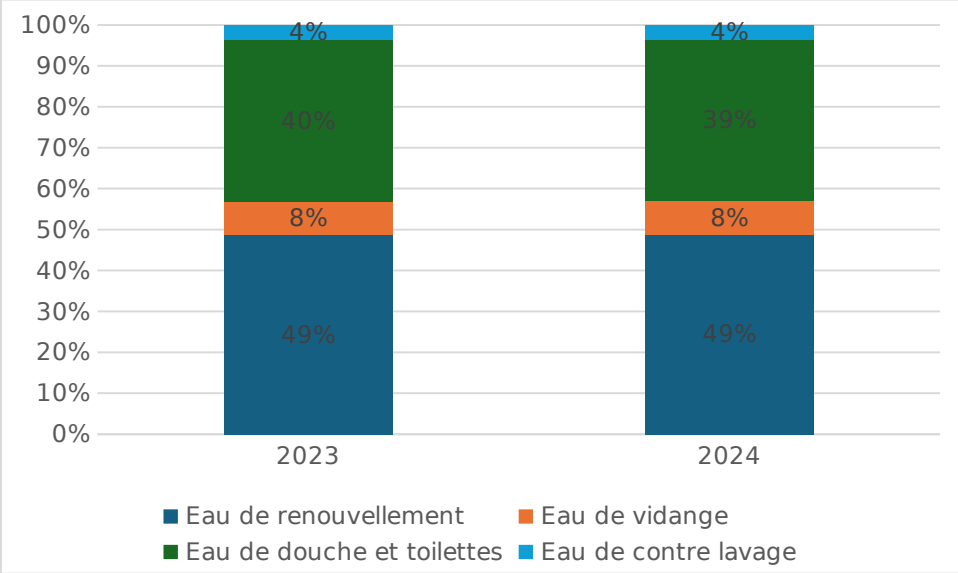


Figure 1 : Distribution des usages eaux consommées par le centre aquatique en 2023 et 2024

Dans le cadre de notre étude, nous choisissons de concentrer l'analyse sur les eaux renouvelées et les eaux de vidange, qui représentent des volumes significatifs et dont la qualité comparable en sortie permet un potentiel de réutilisation intéressant.

2.2. Diagnostic participatif du territoire par entretiens semi-directifs

Un diagnostic participatif est mené afin d'impliquer les acteurs du territoire dans une démarche concertée et d'identifier les conditions de faisabilité d'une réutilisation des eaux de piscine (REUSE) pertinente et acceptée localement. Pour cela, une cartographie de 21 acteurs a été réalisée, répartis en trois secteurs clés, public, agricole et industriel, et analysés à deux échelles spatiales : locale (Clermont-l'Hérault) et régionale/départementale. Du fait des contraintes de calendrier, seulement 9 entretiens ont pu être réalisés sur 18 initialement programmés.

Ces échanges permettent de recueillir des informations précieuses concernant la connaissance du territoire, les dynamiques de gestion de l'eau, les enjeux perçus, ainsi que les pratiques actuelles des acteurs. Ils éclairent également la perception et l'acceptabilité de la réutilisation des eaux de piscine (REUSE), les conditions de faisabilité réglementaires, sanitaires et logistiques, ainsi que le degré d'interconnexion entre les acteurs et leur potentiel d'implication dans la mise en œuvre du projet. La Figure 2 illustre cette interconnexion à travers un modèle dynamique acteurs-acteurs, mettant en évidence les relations de coopération et d'influence identifiées.

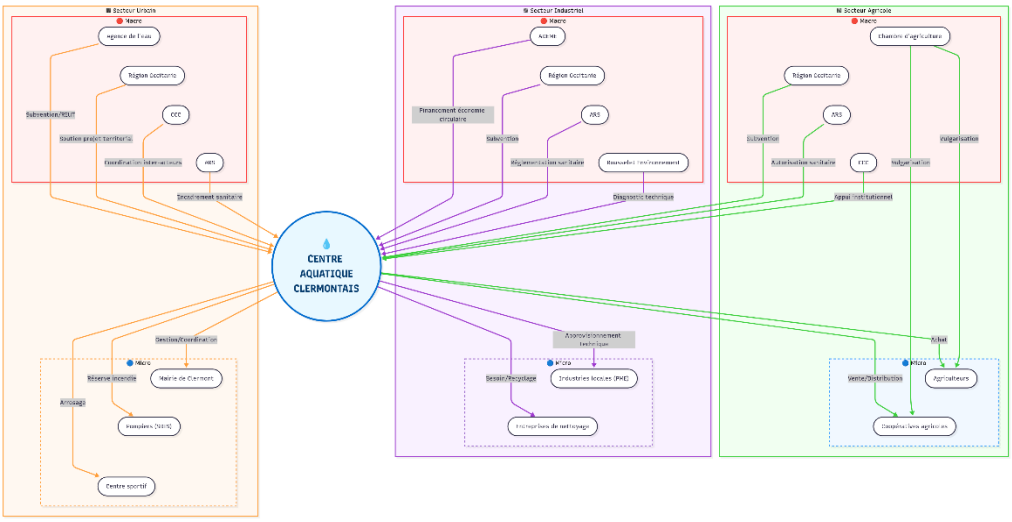


Figure 2 : Modèle dynamique acteur-acteur

L'analyse met en évidence une réelle ouverture à l'innovation, sous réserve de garanties techniques et sanitaires, ainsi que la nécessité d'un portage collectif. Elle révèle aussi des demandes concrètes de réutilisation dans les trois secteurs étudiés : irrigation non alimentaire

et usages agricoles, nettoyage et protection incendie dans le secteur public, ainsi que besoins spécifiques exprimés dans le secteur industriel. Ces résultats constituent une base solide pour la co-construction de scénarios techniquement viables, socialement acceptables et adaptés aux besoins différenciés du territoire.

2.3. Caractérisation qualitative des effluents du centre aquatique

La caractérisation des eaux du centre aquatique, indispensable pour évaluer le potentiel de réutilisation des effluents, permet de déterminer leurs propriétés physico-chimiques et microbiologiques et d'anticiper les traitements nécessaires. Trois campagnes de prélèvements sont réalisées : une première le 1er mai sur 6 échantillons pour un aperçu initial, une deuxième le 21 juillet sur 11 échantillons couvrant l'ensemble des effluents pour une vision représentative, et une troisième le 24 juillet ciblant l'effluent destiné aux essais de traitement pour obtenir des données complémentaires et ayant permis de faire un essai de vieillissement.

2.3.1. Campagne 1

La première campagne a permis d'obtenir un aperçu initial de la qualité des effluents du centre aquatique, en ciblant principalement les eaux issues du contre-lavage des filtres à sable, les eaux de bassin sportif et l'eau du bassin ludique et l'eau potable comme référence.

a) **Analyses physico-chimiques :**

- **Spectrophotométrie UV-Visible :** L'eau potable présente une absorbance très faible sur l'ensemble du spectre. Les eaux Volvic et de la Source des Fées, utilisées comme référence, présentent une absorbance plus forte entre 200 et 220 nm, caractéristique des nitrates (7,3 et 9,2 mg/L, respectivement). Les eaux de piscine et de contre-lavage ont les absorbances les plus élevées entre 200 et 220 nm, pouvant être causées par la présence de nitrates et de matière organique dissoute. Au-delà de 280 nm, l'absorbance est négligeable, suggérant peu de matières en suspension.

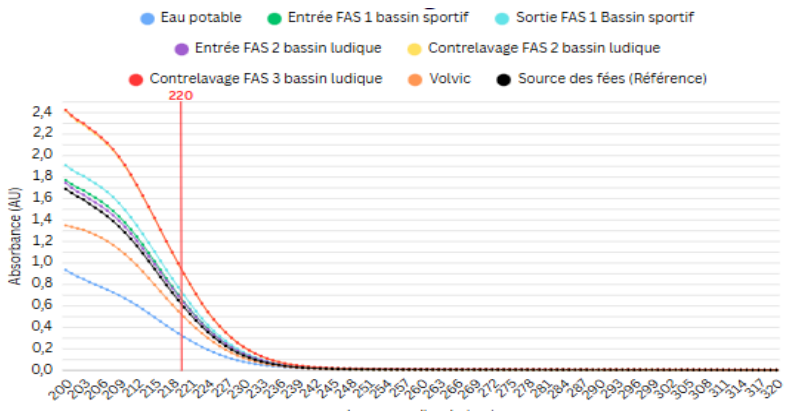


Figure 3 : Courbe d’absorbance en fonction de longueur d’onde par spectrophotomètre UV VIS (Campagne 1)

- **Conductivité électrique :** Les effluents de contre-lavage présentent une conductivité élevée, liée à la concentration en chlore et ions dissous. Les eaux de bassin ont des valeurs intermédiaires, tandis que l’eau potable affiche une faible conductivité.

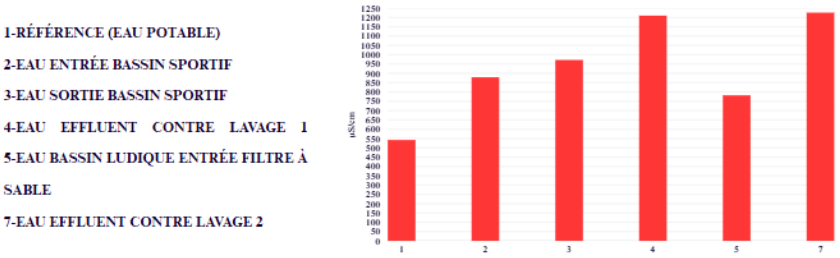


Figure 4 : Conductivité (campagne 1)

- **Chromatographie ionique :** Les eaux de contre-lavage sont riches en chlorures, sulfates, sodium et calcium. Des bromures ont été détectés à des concentrations parfois supérieures aux normes de potabilité, représentant un point de vigilance.

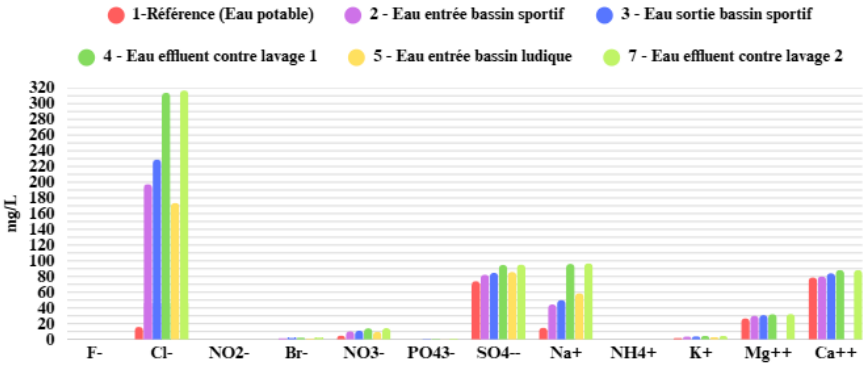


Figure 5 : Résultat de la chromatographie ionique (campagne 1)

La présence de nitrates, suspectée par la spectrophotométrie est confirmée dans les eaux de piscine et les eaux de contre lavage.

- **Carbone organique total (TOC) :** Les eaux de contre-lavage contiennent la charge organique la plus élevée, suivies des eaux de bassin, tandis que l'eau potable reste quasi dépourvue de matière organique.

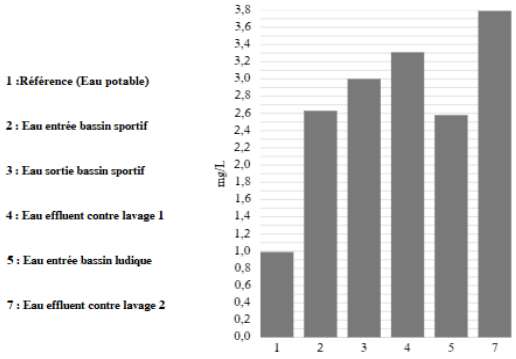


Figure 6 : carbone organique totale (campagne 1)

Ces résultats confirment la présence de matière organique, suspectée par la spectrophotométrie UV/Visible.

2.3.2. Campagne 2

La deuxième campagne élargie le périmètre d'étude avec 11 échantillons couvrant l'ensemble des effluents du centre aquatique, afin d'obtenir une vision plus représentative de leur qualité. Les points de prélèvement incluent l'eau potable (référence), les entrées et sorties des filtres de chaque bassin, les effluents de contre-lavage et l'entrée de la pataugeoire.

a) Analyses physico-chimiques :

- **Spectrophotométrie UV-Visible :** L'eau potable reste peu absorbante sur l'ensemble du spectre. Les eaux de bassin et de contre-lavage présentent une absorbance marquée entre 200 et 240 nm, avec un maximum autour de 215 nm dans les bassins ludiques, liée à l'ajout d'acide cyanique comme stabilisant du chlore. Les eaux de contre-lavage affichent les absorbances les plus élevées (jusqu'à 3,2 UA), et l'absorbance au-delà de 250 nm indique la présence de matières en suspension.

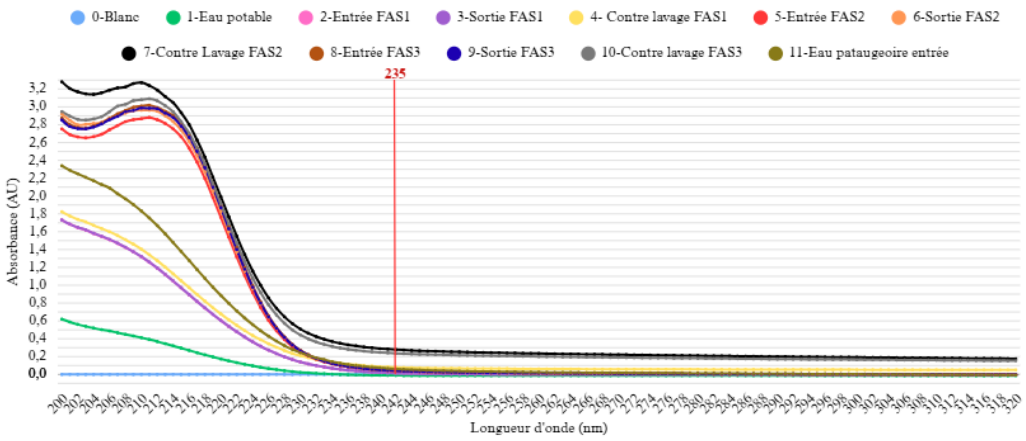
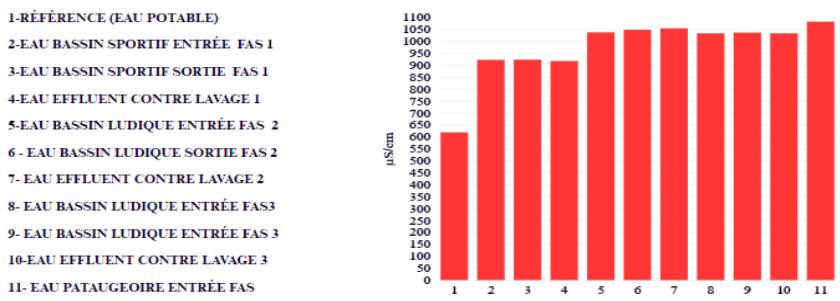


Figure 7 : Courbe d'absorbance en fonction de longueur d'onde par spectrophotomètre UV VIS (Campagne 2)

- **Conductivité électrique :** Les valeurs varient entre 850 et 1100 µS/cm pour les eaux de bassin et de contre-lavage, traduisant la présence



d’ions dissous accumulés, notamment le chlore et d’autres sels. L’eau potable reste à faible conductivité.

Figure 8 : Conductivité (campagne 2)

- **Chromatographie ionique :** Les eaux de contre-lavage montrent une forte teneur en chlorures, sulfates, sodium et calcium. Des concentrations de bromures et d’ammonium sont également détectées, surtout dans les eaux de pataugeoire et de contre-lavage, reflétant l’influence de la fréquentation humaine.

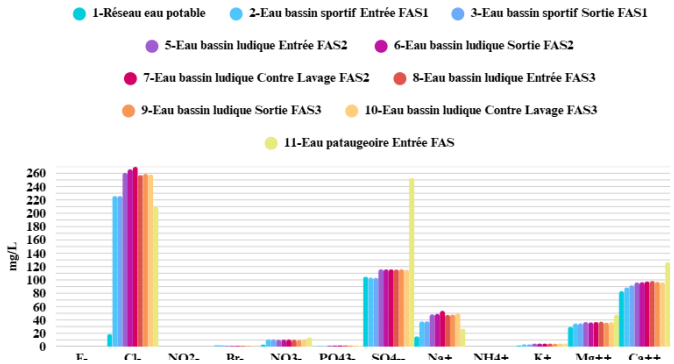


Figure 9 : Résultat de la chromatographie ionique (campagne 2)

- **Carbone organique total (TOC) :** Les eaux de contre-lavage présentent les valeurs les plus élevées (jusqu’à 18,61 mg/L), suivies des bassins ludiques (=15,7 mg/L), tandis que l’eau potable reste très faible (2 mg/L).

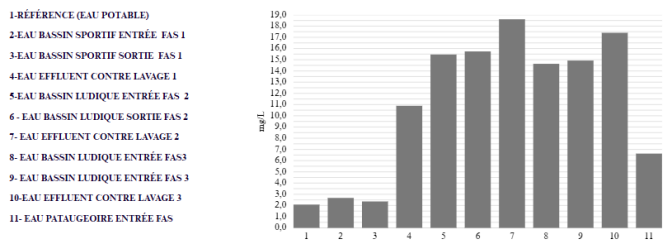


Figure 10 : Carbone organique totale (campagne 2)

b) Analyses microbiologiques :

- **E. coli :** Aucun échantillon ne montre de présence d'E. coli, indiquant l'absence de contamination fécale directe.
- **Coliformes totaux :** Détectés ponctuellement et faiblement, proche du seuil réglementaire, principalement dans les eaux de bassin ludique.

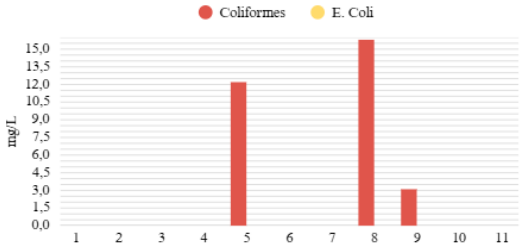


Figure 11 : Analyse microbiologique (campagne 2)

Il convient de préciser que les conditions d'échantillonnage, avec une tuyauterie en PVC, n'ont pas permis de réaliser une désinfection préalable par flambage de ces éléments. De plus, les personnes qui ont réalisé les prélèvements n'ont pas de formation spécifique en prélèvement pour analyse biologique. Une contamination accidentelle ne peut donc pas être exclue.

2.3.3. Analyse comparative avec les normes de REUSE

La qualité des eaux des différents bassins a été comparée aux critères de réutilisation définis par le **Règlement UE 2020/741** et les recommandations OMS et ISO 16075. L'objectif est d'identifier les flux les plus adaptés à une réutilisation agricole et industrielle et de mettre en évidence les contraintes pour les autres flux.

Le bassin sportif présente le meilleur potentiel pour la réutilisation agricole et industrielle (Tableaux 1 et 2). Les bassins ludiques et de contre-lavage sont limités par la présence de matière organique et leur salinité, nécessitant un traitement préalable. La pataugeoire constitue un cas intermédiaire, exploitable sous conditions spécifiques. Cette analyse met en évidence la nécessité de traitements complémentaires pour certains flux afin de respecter les critères REUSE et maximiser leur valorisation.

Tableau 1 Comparaison des eaux des bassins avec les seuils REUSE pour une utilisation en irrigation

Paramètre	Bassin sportif	Bassin ludique	Pataugeoire	Contre-lavage	Normes de référence (UE 2020/741, OMS 2006, ISO 16075)
NO_3^- (mg/L)	10–14 bénéfique	10–14 bénéfique	12 bénéfique	15 modéré	< 50 (Directive UE sur l'eau potable)
PO_4^{3-} (mg/L)	1–2 fertilisant	1–2 fertilisant	1,5 fertilisant	2 fertilisant	Pas de seuil strict (apport agronomique)
TOC (mg/L)	<3 faible	6,6–19 élevé	6,6 modéré	>10 élevé	ISO 16075 : <10 pour éviter colmatage
Cl^- (mg/L)	~210 élevé	~270 trop élevé	~230 élevé	>250 inadapté	FAO : <140 (sensibles), <350 (tolérantes)
Na^+ (mg/L)	~38 modéré	~49 élevé	~40 modéré	>45 élevé	FAO : <70 (tolérance moyenne)
SO_4^{2-} (mg/L)	180 acceptable	190 acceptable	253 seuil limite	>250 limite	<250 recommandé pour irrigation

Tableau 2 Comparaison des eaux des bassins avec les seuils REUSE pour une utilisation en irrigation

Paramètre	Bassin sportif	Bassin ludique	Pataugeoire	Contre-lavage	Normes / pratiques (US EPA 2012, industries)
TOC (mg/L)	<3 faible	6,6–19 élevé	6,6 modéré	>10 élevé	<5 pour limiter bio-encrassement

Cl^- (mg/L)	~210 corrosion	~270 forte corrosion	~230 corrosion	>250 inadapté	>200 : corrosion aciers & cuivre
Dureté (mg/L $CaCO_3$)	120–130 entartrage	120–135 entartrage	136 entartrage	>140 entartrage marqué	<150 recommandé pour tours de refroidissement
SO_4^{2-} (mg/L)	180 tolérable	190 tolérable	253 corrosif	>250 corrosion accrue	<250 recommandé
NO_3^-, PO_4^{3-}	Non contraignants	Non contraignants	Non contraignants	Non contraignants	Pas de limite stricte industrielle

2.3.4. Campagne 3

Afin de tester la faisabilité du traitement et de la valorisation des eaux du centre aquatique, un prélèvement a été fait le 24 juillet sur le bassin ludique extérieur. Ce bassin est choisi grâce à sa facilité d'accès et la réalisation des opérations de prélèvement. Environ 1 m^3 d'eau a été pompé depuis le bassin à l'aide d'une pompe, puis stocké dans une citerne-camion pour transport. Une autre partie a permis de faire un test de vieillissement.

2.3.4.1. Prétraitement

Avant le traitement membranaire, l'eau subi un prétraitement, dont le but est de protéger les membranes et éliminer les particules grossières par une filtration sur cartouche de 25 µm pour éliminer des matières en suspension et des particules de grande taille. Puis, l'eau prétraitée est transférée dans un réservoir pour alimenter l'unité d'ultrafiltration.

2.3.4.2. Traitement membranaire par ultrafiltration (UF)

Le traitement principal a été réalisé par **ultrafiltration (UF)**, utilisant des membranes polymériques avec une taille de coupure de 0,01 à 0,1 µm. Ce procédé permet : la rétention des colloïdes, matières en suspension et micro-organismes (bactéries, protozoaires), la rétention partielle de la matière organique dissoute et le passage des sels minéraux dissous (chlorures, sodium, sulfates…).

Deux flux distincts ont été analysés :

- **Perméat** : eau filtrée par UF, destinée à l'évaluation de la qualité finale et à la réutilisation.
- **Concentrat** : fraction retenue par la membrane, concentrée en polluants et matières organiques.

2.3.4.3. Caractérisation physico-chimique et organique des eaux traitées

Le figure 12 présente l'évolution des ions et de taux de carbone organique totale dans les échantillons durant les phases de traitement.

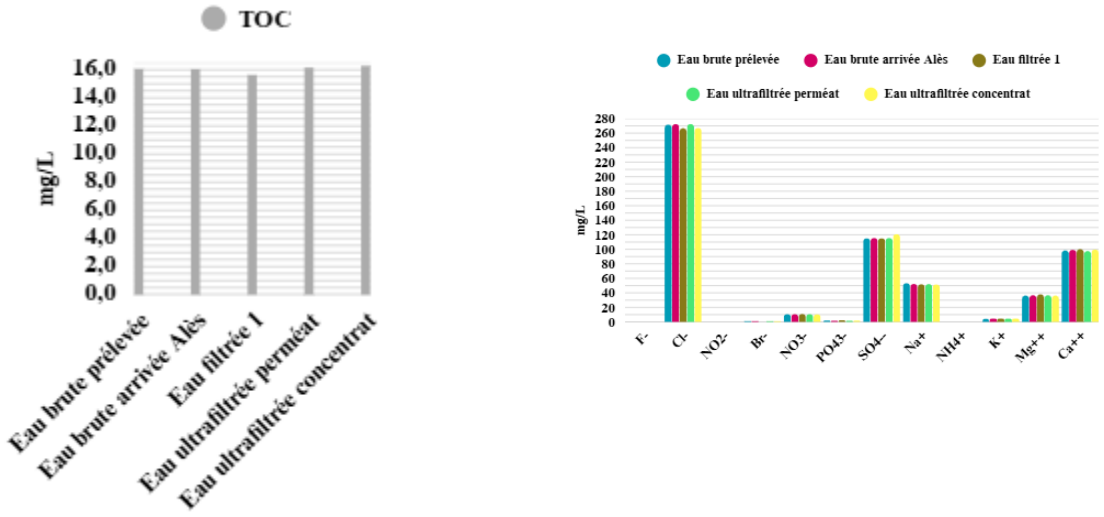


Figure 12 : les paramètres physico-chimiques de l'eau durant les phases de traitement

a) **Comparaison eau brute – filtration préliminaire :**

La composition chimique de l'eau brute est restée stable lors du transport (16 mg/L). La filtration sur cartouche entraîne une légère diminution du TOC (15,6 mg/L), sans impact notable sur les ions dissous.

b) **Effet de l'ultrafiltration :**

Le **perméat** présente un TOC légèrement supérieur (16,1 mg/L) à l'eau filtrée, tandis que le **concentrat** montre un enrichissement léger du TOC (16,3 mg/L) : l'ultrafiltration n'est donc pas adaptée pour le traitement du carbone organique de ces effluents, ce qui semble indiquer que ce sont des molécules organiques de petite taille qui le composent, et qui ne sont pas retenues par la membrane.

Les ions principaux (chlorures = 270 mg/L, sodium = 52 mg/L, sulfates 115–121 mg/L, nitrates = 11 mg/L) restent stables dans le perméat.

Les bromures et phosphates restent faibles, mais leur suivi est nécessaire pour limiter les sous-produits bromés et la prolifération biologique.

2.4. ACV

Afin d'évaluer si les eaux traitées du centre aquatique peuvent être réutilisées localement pour des usages non domestiques, en combinant données techniques, économiques et spatiales, une approche inspirée par le projet OsmOz, basée sur l'analyse de cycle de vie, a été mise en œuvre pour identifier les bénéficiaires potentiels et leurs besoins en eau.

Ceci constitue une première estimation grossière, qu'il convient de consolider, tant sur les hypothèses de calcul que sur le choix des activités.

3. Justification des résultats

Les résultats confirment la faisabilité d'une réutilisation locale des eaux du centre aquatique grâce à une approche qui intègre les 3 dimensions :

a) Technique : La caractérisation physico-chimique et microbiologique a permis d'identifier les flux prioritaires et les traitements adaptés. La filtration sur cartouche et l'ultrafiltration assurent la sécurité sanitaire, tandis que l'osmose inverse est exclue en raison de la charge en chlore et en silice.
b) Participative : Les entretiens semi-directifs avec les acteurs locaux valident l'acceptabilité des usages ciblés (irrigation, nettoyage, usages techniques) et permettent de co-construire des scénarios de réutilisation adaptés au territoire via l'atelier participative.
c) Innovante via intégration ACV : L'approche d'ACV a permis de relier la disponibilité en eau traitée aux besoins des entreprises et organismes locaux, en tenant compte de la consommation énergétique et de la localisation spatiale. Cette méthode a identifié les bénéficiaires potentiels et quantifié leur demande,.

Grâce à ces 3 dimensions, l'objectif initial, évaluer le potentiel de valorisation locale des eaux de piscine, a été atteint par une démarche combinant expertise technique, concertation

territoriale et analyse intégrée des flux, ouvrant la voie à une réutilisation ciblée, sécurisée et acceptée.

4. Suites à donner

La poursuite du travail réalisé dans le cadre de ce stage vise à consolider les résultats obtenus et à engager la phase opérationnelle de valorisation des eaux du centre aquatique.

Dans un premier temps, il est nécessaire de valider l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) afin de confirmer les volumes disponibles et les besoins en eau auprès des entreprises et acteurs locaux. Cette étape permettra d'affiner les scénarios de réutilisation proposés.

La mise en place d'un atelier participatif réunissant collectivités, entreprises, acteurs agricoles et industriels constitue la prochaine étape clé. Cet atelier permettra de co-construire des solutions adaptées, acceptables sur le plan sanitaire, réglementaire et social, et d'assurer l'adhésion des parties prenantes au projet.

Pour soutenir cette démarche, plusieurs moyens opérationnels, à moyen et à long terme, sont nécessaires :

- Désigner un porteur de projet chargé de coordonner les actions et le suivi.
- Créer des sites pilotes pour expérimenter différents scénarios de traitement et de réutilisation.
- Constituer une équipe pluridisciplinaire assurant la supervision technique et l'animation participative.
- Mettre à disposition les équipements nécessaires au traitement pilote et au suivi de la qualité de l'eau.
- Assurer un financement via des subventions dédiées à l'eau et des partenariats publics-privés.
- Définir une planification réaliste sur plusieurs mois pour la collecte de données et la réalisation des essais pilotes.

Enfin, la vision stratégique consiste à ne pas s'arrêter à la phase étude : l'eau existe, la demande est identifiée, et il reste à mettre en place le raccordement physique et logistique entre le centre aquatique et les bénéficiaires. Cette étape permettra de transformer la ressource en solution concrète, réutilisable localement, tout en garantissant la sécurité sanitaire et l'acceptabilité sociale.

RAPPORT D’ETUDE

1. Présentation de vos missions en entreprise

2. Présentation du contexte, de l’entreprise, de votre service d’affectation

2.1.1. Contexte de l’étude

La région méditerranéenne est particulièrement vulnérable à la raréfaction de la ressource en eau, en raison de conditions climatiques marquées par de longues périodes de sécheresse, une forte évapotranspiration et une pression anthropique croissante. Les projections climatiques attestent d'une intensification de ces événements, provoquant des tensions croissantes sur les ressources conventionnelles en eau douce (IPCC, 2021).

Dans ce contexte, l'emploi des eaux non conventionnelles (ENC) est identifié comme une stratégie pour diversifier les sources et renforcer la résilience hydrique des territoires (Parada et al., 2023). Parmi ces ENC, les eaux usées traitées, les eaux pluviales récupérées et, plus récemment, les eaux issues de piscines représentent des sources potentiellement valorisables.

Les piscines publiques et collectives sont une source régulière de rejets d’eau, liés aux opérations de maintenance (vidanges et lavages de filtres) et au renouvellement continu de l’eau en fonction de la fréquentation de la piscine. Bien que certains de ces effluents soient orientées vers le réseau d’assainissement, la majorité est stockée dans des bâches à eau, afin d’être soit évaporée ou filtrée. Lorsqu’ils rejoignent une station d’épuration biologique, ces eaux usées peuvent poser des problèmes, en particulier en diluant la charge organique et en perturbant ainsi l’efficacité du traitement. Ils pourraient être considérés comme une ressource temporaire et exploitable, après un traitement approprié, pour des applications destinées à la consommation non-humaine (Feng et al., 2016 ; CSTB, 2021 ; Sijimol et al., 2021).

Les travaux récents ont révélé que ces eaux possèdent une composition particulière : faible charge organique mais présence notable de désinfectants (chlore, brome) et de leurs sous-

produits, sans oublier les matières en suspension et les résidus microbiologiques (ANSES, 2022 ; SPF, 2023). De ce contexte, leur valorisation exige la mise en place de procédés de traitement adaptés, comme la déchloration et des techniques de filtration avancées (ultrafiltration, nanofiltration), pour atteindre une qualité compatible avec des applications urbaines ou industrielles (Ahmad et al, 2022).

En parallèle, la réglementation française a récemment évolué afin d'intégrer ces pratiques. Les décrets n°2023-835, n°2024-796 et n°2025-239 relatives à la réutilisation des eaux non potables, comme celles des piscines, fixent des critères de qualité stricts (physico-chimiques et microbiologiques), des obligations de suivi sanitaire et des conditions d'usage limitées à des applications à consommation non-humaine, telles que : l'irrigation d'espaces verts inaccessibles, le nettoyage urbain, l'usages industriels non alimentaires …

Ainsi, la réutilisation de ces eaux apparaît comme une approche innovante et complémentaire dans un cadre intégrée de gestion durable des ressources en eau. Ce contexte justifie la mise en place d'un projet de recherche appliquée qui vise à en évaluer le potentiel sur un site pilote, en lien direct avec les besoins territoriaux.

Ce projet s'inscrit dans un cadre du programme régional « Défis Clés Water Occitanie », financé par la Région Occitanie et porté par l'Université de Montpellier, qui vise à étudier les solutions locales de réutilisation de l'eau et leur pertinence face aux enjeux du cycle de l'eau. Il s'appuie sur un réseau de 6 Living Labs, où des parties prenantes co-identifient et co-construisent des questions de recherche adaptées aux spécificités de chaque territoire.

2.1.1.1. Présentation des organismes d'accueil et des acteurs du projet

Dans mon projet, le programme Défis Clés Water Occitanie mobilise diverses actrices avec des expertises complémentaires comme un laboratoire académique de recherche, un bureau d'études spécialisé en gestion des effluents industriels et une collectivité territoriale à travers son Living Lab.

a. HydroSciences Montpellier (HSM)

Le stage s'est déroulé au sein du laboratoire HydroSciences Montpellier (UMR 5569), unité mixte de recherche sous tutelle conjointe de l'Université de Montpellier, du CNRS et de l'IRD. HSM regroupe environ 200 chercheurs, ingénieurs, techniciens et doctorants, et se positionne comme un acteur majeur de la recherche en hydrologie et en sciences de l'eau en France.

Les thématiques principales concernent l'hydrologie continentale, la qualité et la gestion de l'eau, l'impact du changement climatique sur les ressources hydriques ainsi que l'interface eau-société. Le laboratoire combine recherche fondamentale et projets appliqués, souvent en partenariat avec les collectivités territoriales et les acteurs socio-économiques.

b. Rousselet Environnement

Créée en 2019 par Bruno Rousselet, Rousselet Environnement est une PME d'Occitanie de 11 personnes spécialisée dans la gestion de projets environnementaux auprès des industriels. Forte de l'expérience de son fondateur et de plusieurs collaborateurs disposant de plus de 15 ans de pratique dans le domaine, l'entreprise intervient du delta rhodanien à l'ensemble du Sud-Est de la France.

Son ambition est de rester une structure à taille humaine, ancrée dans son territoire et proche des acteurs locaux. Elle accompagne ses clients dans un contexte réglementaire exigeant, en proposant des solutions réactives, réalistes et économiquement viables, conciliant écologie et économie.

Ses interventions couvrent notamment :

- La gestion des ressources naturelles (notamment l'eau)
- La préservation des milieux récepteurs (faune et flore)
- La réduction de la consommation énergétique et carbone
- L'optimisation des procédés industriels pour limiter les risques et les coûts.

Grâce à cette approche, Rousselet Environnement se positionne comme un partenaire de confiance pour développer des solutions innovantes et durables dans le domaine de l'environnement, et notamment dans le domaine de l'économie circulaire de l'eau. Rousselet a notamment été lauréat du Concours d'Alès Audace, et est en train de monter une plateforme sur Salindres dédiée à la réutilisation des eaux industrielles, suite au projet Readinov OsmOz financé par la Région Occitanie.

c. La Communauté de Communes du Clermontais et son Living Lab

La Communauté de Communes du Clermontais, située dans l'Hérault, s'est engagée dans une démarche innovante de gestion durable de l'eau à travers la mise en place d'un Living Lab. Ce dispositif constitue un territoire d'expérimentation où sont testées et co-construites, avec les acteurs locaux, des solutions adaptées aux réalités du terrain.

Dans le cadre du programme « Défis Clés Water Occitanie », le centre aquatique du Clermontais a été identifié comme site pilote pour étudier le potentiel de réutilisation de ces eaux usées (vidanges, lavages de filtres, eaux renouvelées par baigneur). La collectivité joue donc un rôle important, elle met à disposition le site, participe à la construction participative des scénarios de valorisation et assure la connexion entre les partenaires scientifiques, techniques et institutionnels.

3. La mission du stage

La mission de stage a pour objectif de développer et de placer une méthodologie optimisée de gestion des eaux usées d'un centre aquatique, dans une perspective de réutilisation. Ce travail est avant tout au service du projet, visant à produire des résultats et des recommandations concrètes pour la valorisation des eaux, plutôt que de répondre directement aux besoins lacaux. Les principales étapes de la mission incluent :

- Le diagnostic du circuit de l'eau et identification des volumes et qualités d'eaux perdues ou disponibles,
- L'évaluation des besoins en eau des bénéficiaires potentiels de cette réutilisation permettant d'identifier les synergies territoriales[1] potentielles,
- L'étude des traitements nécessaires pour garantir la qualité de l'eau,
- La co-construction de scénarios de valorisation avec les acteurs locaux,
- L'analyse des freins réglementaires, techniques et économiques à la mise en œuvre de ces scénarios.

Le challenge principal de cette mission de stage est de fournir une méthodologie pratique et reproductible et faisable sur les plans sociaux, économiques et environnementaux, permettant d'optimiser l'usage de l'eau dans le centre aquatique et de contribuer à une gestion durable de la ressource à l'échelle locale.

4. Déroulement de l'étude

4.1. La méthodologie suivie

La méthodologie adoptée pour cette étude repose sur une approche progressive et structurée, articulée autour de plusieurs étapes complémentaires allant du diagnostic initial à la co-construction d'une stratégie de valorisation des eaux de piscine avec les acteurs concernés (Figure 13). Cette démarche combine analyses documentaires et réglementaires, enquêtes de

[1] Au sens de l'écologie industrielle et territoriale

terrain, collecte et traitement de données qualitatives et quantitatives, campagnes expérimentales sur la qualité de l'eau, ainsi qu'un atelier participatif. L'objectif est d'évaluer le potentiel de réutilisation des eaux issues d'un centre aquatique, dans une perspective de gestion durable et optimisée de la ressource en eau. La Figure 1 présente la méthodologie globale dont chaque étape va être décrite plus en détail dans les paragraphes suivants :

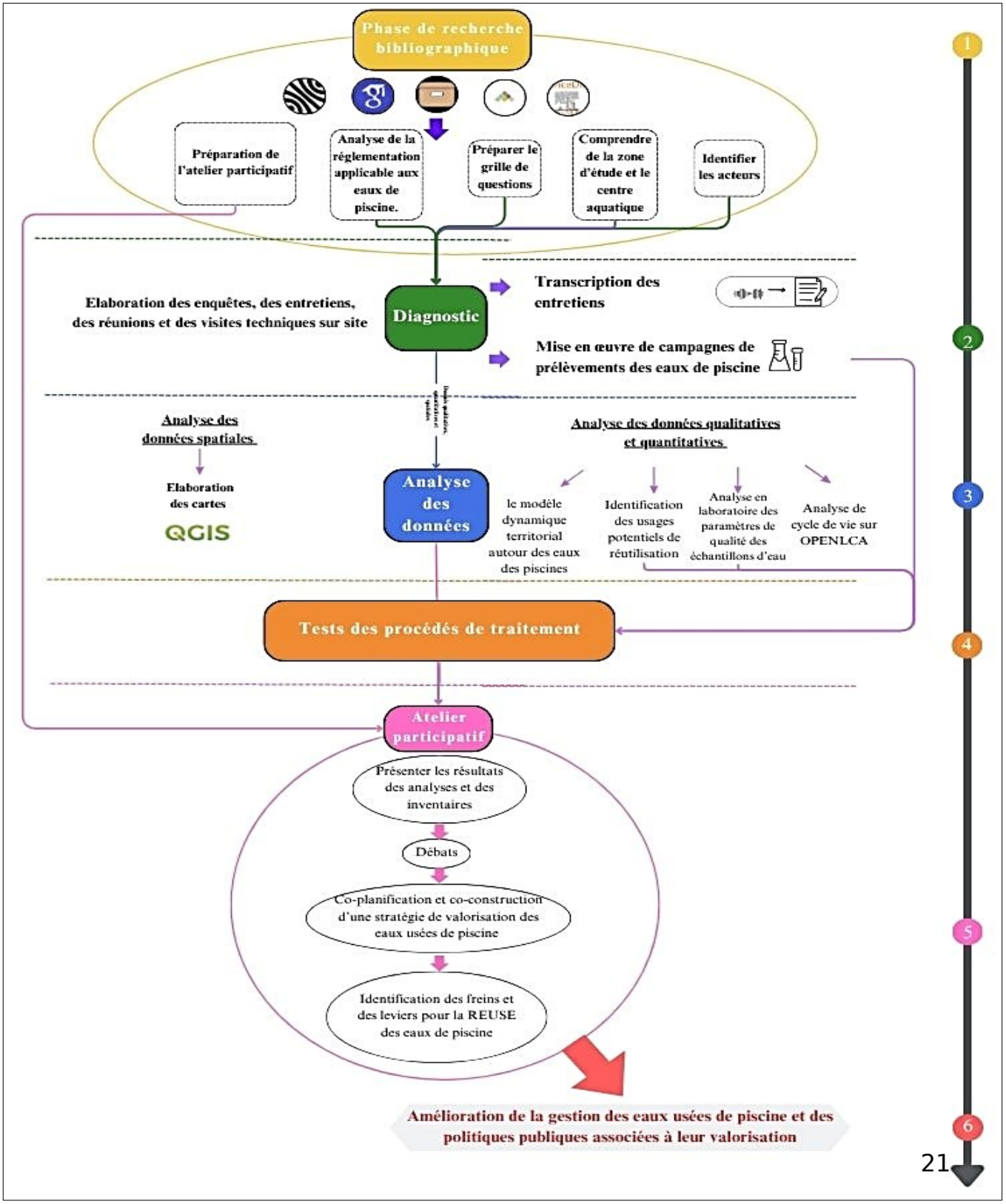


Figure 13 : Méthodologie de travail

2.1.1. Phase préparatoire : recherche bibliographique et cadrage

2.1.1.1. Revue de littérature et analyse réglementaire

a. Cadre juridique et sanitaire des eaux de piscine

Dans un premier temps, une revue des textes réglementaires encadrant la gestion des eaux de piscine a été réalisée, afin de comprendre les obligations sanitaires et environnementales liées à leur rejet ou à leur éventuelle réutilisation. Cette analyse s'est appuyée principalement sur les décrets et arrêtés en vigueur en France encadrant les pratiques de réutilisation des eaux, ainsi que les arrêtés relatifs aux limites de qualité, au contrôle sanitaire, et à la surveillance des eaux de piscine. L'objectif était de cerner les contraintes réglementaires à respecter en cas de valorisation, et d'identifier les paramètres de qualité devant être contrôlés en cas de réutilisation.

b. État des connaissances sur la réutilisation des eaux non conventionnelles

Parallèlement, une recherche bibliographique a été menée pour faire un état des lieux des connaissances scientifiques et techniques sur la réutilisation des eaux non conventionnelles, incluant les eaux usées traitées, les eaux grises, les eaux pluviales, et plus spécifiquement les eaux de piscine. Cette étape a permis de dégager les principaux usages possibles (arrosage, nettoyage, voirie…), les freins technico-réglementaires existants, ainsi que les procédés de traitement potentiels. Les retours d'expérience documentés dans la littérature ont également été mobilisés pour appuyer la réflexion.

2.1.1.2. Cadrage de l'étude

a. Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude du projet se situe dans la commune de Clermont-l'Hérault, au cœur de la Communauté de Communes du Clermontais (CCC), dans le département de l'Hérault (34), en région Occitanie. Clermont-l'Hérault est une commune de taille moyenne, comptant environ 9 000 habitants (INSEE, 2021), et constitue un pôle urbain structurant du centre de l'Hérault.

Elle bénéficie d'une position stratégique, à proximité de l'autoroute A75 et à environ 30 km à l'ouest de Montpellier (Communauté de Communes du Clermontais, 2024) (Figure 14).

Figure 14 : Carte de la zone d'étude « Clermont l'Hérault »

b. **Présentation du centre aquatique étudié**

i. Présentation générale

Le Centre aquatique du Clermontais, situé avenue Louis Villaret à Clermont-l'Hérault, a été inauguré le 22 octobre 2011. Il constitue un équipement structurant pour la Communauté de Communes du Clermontais et est accessible à un large public : familles, scolaires, sportifs et touristes. Il joue un rôle social, éducatif et récréatif majeur pour le territoire.

L'eau des bassins est maintenue à une température constante de 29°C tout au long de l'année pour un confort optimal. La capacité d'accueil varie selon les saisons : environ 450 personnes en hiver et jusqu'à 770 en période estivale.

ii. Installations intérieures

Le centre dispose de plusieurs bassins adaptés à différents usages :

- **Bassin sportif** : surface de 313 m², longueur de 25 m, cinq couloirs de nage, profondeur entre 1,5 et 1,8 m, gradins pour 180 spectateurs, permettant l'organisation de compétitions ou manifestations sportives. Son volume est de 507 m^3 ;

- **Bassin ludique intérieur** : surface de 337 m², profondeur de 0,9 à 1,35 m, équipé de buses massantes, banquette à remous, couloir rapide et jets d'eau. Une cloison vitrée sépare les zones pour permettre une utilisation simultanée sans interférence. Son volume est estimé à 320 m^3 ;**Pataugeoire** : surface de 41 m², profondeur de 10 à 20 cm, sécurisée pour les jeunes enfants. Le volume d'eau de ce bassin est de 6 m^3.

iii. Aménagements extérieurs

Durant la période estivale (mai à septembre), le centre ouvre ses installations extérieures, comprenant un bassin ludique de 138 m², relié au bassin intérieur, avec une profondeur variant de 0 à 1,35 m. Son volume est de 93 m^3.

iv. Systèmes techniques de gestion de l'eau

Le centre est équipé de dispositifs techniques avancés pour assurer la qualité, la sécurité sanitaire et la gestion optimale de l'eau (Figure 15):

- Circuits et pompes de filtration : deux pompes pour le bassin sportif et deux pompes pour les bassins ludiques, tandis que la pataugeoire dispose d'une seule pompe adaptée à son volume.
- Filtration et traitement chimique : filtres à sable pour la filtration mécanique, ajustement du pH et chloration contrôlée pour la désinfection.
- Collecte et gestion des eaux débordées : récupération des volumes pour éviter le gaspillage et la pollution.
- Maintenance et renouvellement : lavage hebdomadaire des filtres (contre-lavage) et vidange complète annuelle des bassins pour renouveler l'eau.

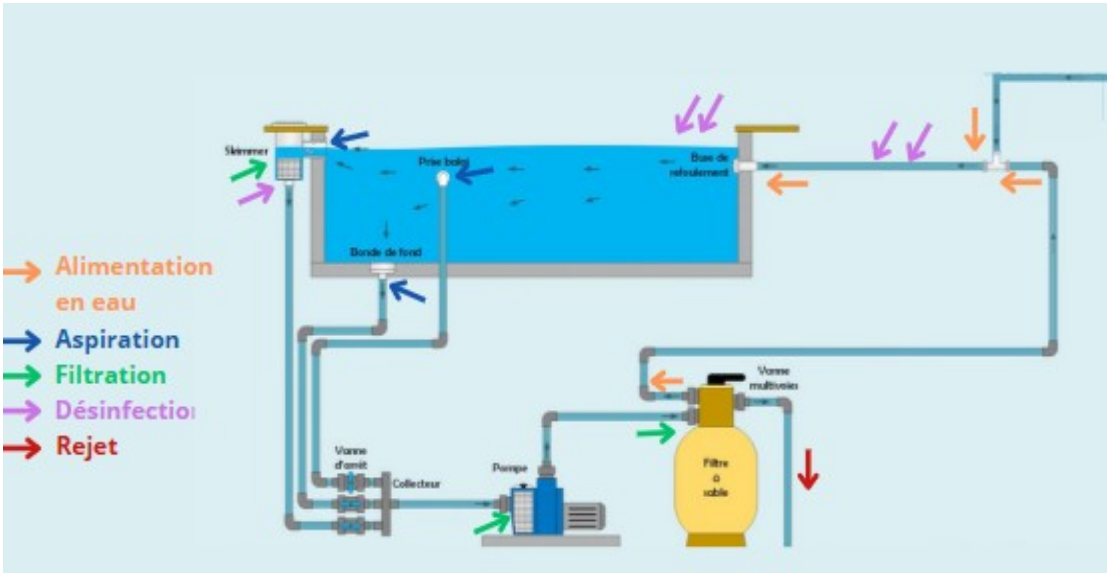


Figure 15 : L'installation et le circuit d'eau de piscine

c. Identification des parties prenantes et des acteurs clés

L'identification des parties prenantes a constitué une étape essentielle pour la suite de la démarche participative. Les acteurs ont été catégorisés selon leur rôle : gestionnaires du centre aquatique, services techniques municipaux, collectivités territoriales, acteurs de la gestion de l'eau, structures environnementales, etc. Leur implication future dans le projet de valorisation a été anticipée dès cette phase, dans une optique de gouvernance partagée.

2.1.1.3. Élaboration des outils d'enquête

Ces outils ont été réalisés en concertation avec 4 autres stagiaires du Défi Clé Woc intervenant sur la zone d'étude, afin de limiter au maximum la sur sollicitation des acteurs.

a. Préparation des guides d'entretien et des questionnaires

Des guides d'entretien semi-directifs ont été conçus pour recueillir les perceptions, besoins, freins et attentes des différents acteurs vis-à-vis de la réutilisation des eaux de piscine. Ces guides ont été adaptés selon le profil des interlocuteurs (gestionnaire technique, agent public, élu local, etc.). Des questionnaires plus structurés ont également été préparés pour faciliter l'analyse comparative des réponses.

b. **Programmation des visites et entretiens**

Les entretiens ont été planifiés en fonction de la disponibilité des parties prenantes identifiées. Un calendrier de visites techniques du site, de réunions de cadrage et d'entretiens individuels a été établi. Ces échanges ont constitué la base du diagnostic initial, en complément des données techniques et réglementaires collectées lors des étapes précédentes.

2.1.2. Étape de diagnostic de terrain

2.1.2.1. Diagnostic participatif : collecte de données qualitatives

La réalisation des entretiens et des réunions a été réalisée en se coordonnant avec les autres stagiaires, de manière à éviter la multiplication des entrevues. J'ai activement participé à 9 entretiens et 4 réunions. Cette étape fait également partie d'une démarche participative qui donne la parole aux acteurs de terrain.

a. Réalisation d'entretiens semi-directifs

Afin de mieux comprendre les perceptions, les pratiques actuelles et les éventuelles résistances à la réutilisation des eaux de piscine, plusieurs entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès d'acteurs clés. Ces entretiens ont permis de recueillir des informations précieuses sur les enjeux techniques, économiques, réglementaires et sociaux liés à la gestion de l'eau dans le centre aquatique. L'approche semi-directive a favorisé une discussion ouverte, tout en maintenant un fil conducteur structuré autour des objectifs du projet (Pellemans, 1999).

b. Réunions avec les acteurs du territoire

En complément des entretiens individuels, des réunions collectives ont été organisées avec certains acteurs territoriaux (représentants de la collectivité, services techniques, gestionnaires de l'eau, etc.). Ces rencontres ont facilité l'échange d'informations, la confrontation des points de vue et l'identification des pistes d'actions communes. Elles ont également permis de tester l'intérêt des parties prenantes pour une future dynamique participative autour de la valorisation des eaux usées du centre aquatique.

c. Transcription des enquêtes et préparation des données

Les entretiens menés ont été systématiquement retranscrits afin de conserver l'intégralité des propos recueillis. Cette étape a permis d'organiser les données qualitatives sous forme de thèmes récurrents (freins, opportunités, suggestions, représentations), facilitant ainsi leur analyse ultérieure. Les comptes rendus des réunions ont également été intégrés à cette base de données. Un travail de nettoyage, de synthèse et de codage des données a été effectué pour préparer l'analyse croisée avec les données techniques et réglementaires.

2.1.2.2. Collecte de données techniques

a) Visites sur site

Des visites techniques du centre aquatique ont été réalisées pour observer directement les installations, les circuits d'eau, les systèmes de traitement et les points de rejet. Ces visites ont permis de repérer les différentes sources d'eaux usées générées (lavage de filtres, vidange des bassins, etc.), d'estimer les volumes potentiels valorisables et de mieux comprendre les contraintes techniques (accessibilité, réseaux existants, espaces de stockage, etc.).

a) Campagnes de prélèvements des eaux de piscine le jour de lavage de filtres

Afin d'évaluer la qualité des eaux rejetées et leur potentiel de réutilisation, deux campagnes de prélèvements ont été réalisées le jour du lavage des filtres, moment clé où les volumes rejetés sont les plus importants. Des échantillons ont été collectés à différents points d'entrée et de sortie du système, puis analysés en laboratoire pour en déterminer les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques. Ces données constituent une base indispensable pour envisager d'éventuels traitements complémentaires et définir les usages possibles de ces eaux.

Une troisième campagne a été réalisée lors du prélèvement de l'effluent (1 m^3) en vue des essais de traitement.

2.1.3. Analyse des données

2.1.3.1. Analyse spatiale et territoriale (QGIS)

La méthodologie est dérivée de celle qui a été développée dans le cadre du projet OsmOz, dédiée à la réutilisation d'eaux industrielles.

L'analyse spatiale est essentielle pour comprendre les opportunités territoriales de réutilisation des eaux de piscine traitées. À l'aide du logiciel SIG QGIS, la zone d'étude est cartographiée, en intégrant différentes couches d'information géographiques.

- La localisation précise du centre aquatique, source principale des eaux recyclées, est géoréférencée afin d'étudier la proximité des potentiels récepteurs.
- Les parcelles agricoles, les types de cultures, ainsi que les zones industrielles et commerciales sont identifiées pour évaluer les usages possibles de l'eau réutilisée.
- Une analyse territoriale intégrée permet de croiser les données socio-économiques et environnementales afin d'optimiser les scénarios de valorisation selon les spécificités locales.

2.1.3.2. Analyse des enquêtes

L'analyse qualitative vise à appréhender les perceptions et les dynamiques sociales relatives à la réutilisation des eaux non conventionnelles.

- Les entretiens semi-directifs réalisés auprès des acteurs locaux (gestionnaires, agriculteurs, habitants, élus) sont analysés par thématique (Braun & Clarke, 2006).
- Les résultats mettent en évidence les freins tels que les inquiétudes sanitaires, le manque d'information ou les contraintes réglementaires.

- Les leviers identifiés comprennent notamment la sensibilisation, les retombées économiques et la prise en compte des bénéfices environnementaux.
- Un modèle dynamique territorial est élaboré, illustrant les interactions entre acteurs, flux d'eau et contextes socio-économiques, inspiré des approches systémiques en gestion de l'eau (Lebel et al., 2005).

2.1.3.3. Analyse qualitative et quantitative

Cette analyse repose sur des données expérimentales et modélisations afin d'évaluer les qualités de l'eau et les besoins des bénéficiaires potentiels à l'échelle de territoire.

a. Caractérisation des eaux :

Avant d'envisager toute réutilisation des eaux d'un centre aquatique, il est essentiel de réaliser une caractérisation physico-chimique et microbiologique complète (Tableau 2). Cette étape permet d'évaluer la qualité de l'eau, d'identifier les paramètres critiques pour la santé publique et l'environnement, et de définir les traitements nécessaires pour sa réutilisation.

Tableau 3 : Les analyses laboratoires des eaux

Paramètre	Méthode / Protocole	Prélèvement & Conservation	Délai d'analyse
pH	AFNOR (2017)	Échantillons prélevés dans flacons propres, conservés à 4 °C	48 h
Turbidité	AFNOR (2017)	Échantillons prélevés dans flacons propres, conservés à 4 °C	48 h
Nitrates	AFNOR (2017)	Échantillons filtrés (0,45 µm ou 0,22 µm) dans tube de 10 Ml	1 mois max à 4 °C
Phosphates	AFNOR (2017)	Échantillons filtrés (0,45 µm ou 0,22 µm) dans tube de 10 Ml	1 mois max à 4 °C
Chlore résiduel	AFNOR (2017)	Échantillons prélevés dans flacons propres, conservés à 4 °C	48 h
Alcalinité	Titrage automatique	2 flacons Falcon de 50 mL, remplis à ras bord, conservés à 4 °C	48 h
Ions majeurs (cations et anions)	Chromatographie ionique	Tube de 10 mL pour cations (acidifié 10 µL HNO_3 supra-pur 1 ‰), tube de 10 mL pour anions, filtrés 0,45 ou 0,22 µm, conservés à 4 °C	1 mois max
Matière organique	TOC mètre	Flacons en verre ambré décontaminés, remplis sous eau, conservés à 4 °C	Analyse rapide
Carbone organique total (TOC)	Analyseur de carbone	Même prélèvement que matière organique, acidification post-analyse avec 60 µL H_3PO_4 (1 ‰), conservé à 4 °C	3 mois max
Silice	AFNOR / colorimétrie	Échantillons filtrés (0,45 µm), conservés à 4 °C	48 h
Coliformes totaux	Microbiologie	Flacons stériles de 100 mL, conservés à 4 °C	48 h

Escherichia coli	**Microbiologie**	**Flacons stériles de 100 mL, conservés à 4 °C**	**48 h**

En complément, la spectrophotométrie UV/Visible a aussi été utilisée. Elle nécessite une conservation à 4°C d'échantillons non filtrés, analysés en moins de 24 heures.

b. Analyse de Cycle de Vie (ACV)

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode universelle permettant d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit ou d'un procédé sur l'ensemble de son cycle de vie, conformément aux normes ISO 14040 et 14044. Dans le cadre de cette étude, une analyse attributionnelle a été réalisée afin d'évaluer les besoins en eau et en énergie associés aux activités situées à proximité du centre aquatique. La modélisation des modules de traitement a été effectuée avec le logiciel OPENLCA 2.1.1, en utilisant EcoInvent 3.11 APOS Unit Process, Agribalyse 3.2 et la base de données américaine US EEIO 2.0.1-411. Autrement dit, les résultats d'inventaires ont été utilisés, non pas pour calculer des impacts, mais pour estimer les quantités d'eau nécessaires au procédé ou à l'activité considérée.

- **Objectif et unité fonctionnelle**

L'objectif principal de cette ACV est de déterminer les besoins en eau en proportion avec la consommation d'électricité des entreprises et activités situées autour du centre aquatique, afin d'évaluer le potentiel de réutilisation des eaux. En effet, le projet OsmOz a montré que la consommation électrique reflète de la manière la plus fiable le niveau d'activité d'une entreprise, par rapport au chiffre d'affaires annuel ou au nombre d'employés. La fonction (et le niveau d'activité) d'une entreprise est donc sa consommation électrique annuelle dans le cadre de cette étude. L'unité fonctionnelle de chaque activité considérée est donc sa consommation d'électricité annuelle. Les bases de données d'inventaire permettent ensuite de déterminer les quantités d'eau nécessaires résultant de cette unité fonctionnelle.

- **Sources de données et modélisation**

Les inventaires utilisés pour cette étude proviennent de plusieurs sources complémentaires :

1. **Données électriques des entreprises locales** : Les consommations d'électricité ont été obtenues via la base open-source d'Enedis, permettant d'estimer les

consommations énergétiques des activités industrielles et commerciales situées autour du centre aquatique en 2023.

2. Identification et caractérisation des activités locales : Les entreprises et zones commerciales ont été identifiées à partir de leur code NAF2 (annexe3), et leur taille et type d'activité ont été pris en compte.

3. Bases de données ACV : Les inventaires ont été complétés avec EcoInvent 3.11, une base de données de référence en ACV, Agribalyse 3.2, développé par l'Ademe pour les produits agroalimentaires et USEEIO, cette dernière base se reposant sur les données américaines de 2013, détaillées sur les procédés industriels, énergétiques et agricoles.

4. Données bibliographiques et locales : Les informations issues de la littérature et des acteurs locaux ont été intégrées pour compléter l'estimation des besoins en eau et des flux associés.

- **Méthodologie de calcul des besoins en eau**

Le calcul des besoins en eau s'appuie sur une approche indirecte, basée sur la **consommation** électrique des entreprises et les coefficients de consommation d'eau spécifiques à chaque secteur :

1. Estimation de l'énergie consommée : Pour chaque entreprise identifiée, la consommation annuelle d'électricité est extraite de la base Enedis.

2. Attribution sectorielle : Chaque entreprise est associée à un code NAF 2, permettant d'identifier le type d'activité et la taille de l'entreprise.

3. Application de coefficients eau/énergie : Des coefficients issus la base de données américaine USEEIO et bibliographiques permettent de convertir la consommation électrique en besoin en eau associé à l'activité en tenant compte de l'inflation.

4. Agrégation des besoins : Les besoins en eau estimés pour chaque entreprise sont agrégés pour obtenir la consommation totale de la zone autour du centre aquatique.

5. Validation et ajustement : Les résultats sont comparés à des valeurs de références bibliographiques pour chaque type d'industrie et ajustés si nécessaire pour refléter les pratiques locales.

Cette méthodologie permet de relier la consommation énergétique des entreprises à leur impact en termes de consommation d'eau, fournissant une estimation fiable des besoins hydriques de la zone et permettant de cibler les stratégies de réutilisation des eaux.

2.1.4. Tests des procédés de traitement

L'objectif de cette partie est d'évaluer la performance technique des procédés de traitement appliqués aux eaux usées issues des centres aquatiques. Les essais ont été réalisés au sein du laboratoire Rousselet Environnement, spécialisé dans l'analyse et la modélisation des procédés de traitement de l'eau, selon des protocoles rigoureux.

2.1.4.1. Méthodologie expérimentale

Les tests ont porté sur des procédés représentatifs des solutions envisageables pour le traitement des eaux de piscine, notamment :

- Prétraitement par filtre à cartouche : élimination des particules en suspension et réduction de la turbidité.
- Traitement membranaire par ultrafiltration (UF) : séparation des contaminants dissous et colloïdaux, amélioration de la qualité de l'eau pour une réutilisation sûre.
- Procédés complémentaires de désinfection (ozonation/UV – OI) : réduction des contaminants microbiologiques et amélioration de la qualité sanitaire de l'eau.

Chaque technologie a été soumise à des essais en laboratoire suivant des protocoles adaptés aux caractéristiques spécifiques des effluents étudiés. Les paramètres opératoires, tels que les débits, la pression, le temps de contact ou l'intensité du traitement, ont été ajustés pour optimiser la performance de chaque module.

2.1.4.2. Protocoles d'analyse et contrôle qualité

Les échantillons d'eau, avant et après traitement, ont été analysés selon les normes **AFNOR** en vigueur. Les paramètres mesurés incluent :

- Physico-chimiques : pH, conductivité, turbidité, alcalinité, carbone organique total, ions majeurs,

- Microbiologiques : coliformes totaux et Escherichia coli.

Les résultats obtenus ont été comparés aux seuils réglementaires fixés par les arrêtés relatifs aux eaux de piscine (Ministère de la Santé, 2021), afin d'évaluer la conformité sanitaire des eaux traitées et leur potentiel de réutilisation.

2.1.4.3. Perspectives de faisabilité technique

Les résultats préliminaires mettent en évidence l'efficacité des procédés testés pour réduire les polluants ciblés et améliorer la qualité des eaux. Ils soulignent également les conditions optimales de fonctionnement nécessaires pour chaque technologie. Cette approche expérimentale fournit une base solide pour le dimensionnement futur des systèmes de traitement adaptés à la réutilisation des eaux de piscine dans des applications secondaires.

2.1.5. Mise en place d'une approche participative

2.1.5.1 Organisation de l'atelier participatif

Cette partie est en cours de réalisation, les résultats ne sont donc pas encore acquis. Toutefois, nous allons expliciter ce que nous projetons de faire. À partir des résultats issus du diagnostic, de l'analyse des données et de la recherche bibliographique, nous avons mobilisé ces éléments pour concevoir un atelier participatif. Cette démarche vise à intégrer les connaissances scientifiques et les retours d'expérience des acteurs locaux afin d'élaborer une stratégie partagée pour la valorisation et la réutilisation des eaux traitées.

L'organisation de l'atelier a suivi plusieurs étapes clés :

- Définition des objectifs : Clarifier les attentes de l'atelier, notamment la présentation des résultats, la co-construction de solutions et la sensibilisation des participants aux enjeux liés à la réutilisation des eaux.
- Sélection des participants : Identifier et inviter les parties prenantes concernées, incluant des représentants institutionnels, des gestionnaires de l'eau, des usagers, et des experts techniques.
- Préparation logistique : Mise en place des supports de présentation et des outils interactifs facilitant les échanges et la collaboration.

2.1.5.2. Déroulement de l'atelier

L'atelier s'est déroulé en plusieurs phases :

- Présentation des résultats d’analyse : Synthèse claire et accessible des diagnostics, analyses spatiales et territoriales, et résultats expérimentaux.
- Discussions et débats : Espace ouvert aux échanges permettant d’exprimer perceptions, attentes, freins et leviers autour de la réutilisation des eaux.
- Co-construction : Ateliers participatifs pour élaborer collectivement des pistes d’action et ajuster les propositions selon les retours des participants.

2.1.5.3. Résultats attendus

Cette démarche participative vise à :

- Élaborer une stratégie partagée de valorisation des eaux traitées, prenant en compte les besoins et contraintes du territoire.
- Identifier clairement les freins (techniques, réglementaires, sociaux) et les leviers (sensibilisation, innovations, partenariats) pour faciliter la mise en œuvre de la réutilisation.

2.1.6. Conclusion partielle

La mise en place de cet atelier participatif constitue une étape essentielle dans la construction d’un modèle territorial dynamique autour de la valorisation des eaux non conventionnelles. En réunissant les acteurs locaux et en croisant les expertises, cette approche favorise une meilleure acceptation sociale et une adaptation des solutions techniques aux spécificités du territoire. Les résultats issus de cet atelier alimenteront la suite du projet, en orientant les choix techniques et les démarches de gouvernance.

2.2. Résultats

2.2.1. Caractérisation quantitative des eaux du centre aquatique

2.2.1.1. Inventaire sur la consommation annuelle d’eau du centre aquatique

La consommation d’eau du Centre aquatique du Clermontais est de 11 157 m³ en 2023 et de 11 290 m³ en 2024. Cette consommation résulte de plusieurs usages : le renouvellement des eaux par baigneur, le contre-lavage des filtres, la vidange annuelle et l’utilisation des douches. Il est nécessaire d’estimer la consommation de l’eau de chacun de ces usages car la qualité des eaux en sortie est différente.

a. Eau renouvelée des bassins

Selon l’Arrêté du 7 avril 1981 relatif aux dispositions techniques relatives aux piscines, le volume d’eau renouvelée se détermine en fonction de la fréquentation. Un renouvellement minimum de 30 Litres est requis pour chaque personne entrante. Toutefois, le renouvellement de l’eau est également utilisé pour réguler les concentrations en composés chlorés (chlore libre, chloramines) dans l’eau et dans l’air. Ainsi, en moyenne, pour le Centre aquatique du Clermontais, le volume retenu est de 50 litres par baigneur (données du gestionnaire de piscine). On peut donc estimer ce poste de consommation :

- En 2023, avec 108 708 baigneurs, le volume renouvelé se chiffre à approximativement 5 435 m³.
- En 2024, avec 109 641 baigneurs, le volume renouvelé se chiffre approximativement à 5 482 m³.

b. Eau de vidange

Un autre segment de consommation important est la vidange annuelle des bassins. Une fois par an, une vidange complète est effectuée pour un nettoyage approfondi et le remplacement intégral de l'eau stagnante. On fait l’hypothèse que le volume d’eau vidangée annuellement correspond au volume total des bassins, soit 926 m^3.

c. Eau de contre lavage

Le contre-lavage permet de nettoyer les filtres à sable en éliminant les particules accumulées. Le calcul de la consommation annuelle liée au contre-lavage est basé sur les données suivantes (Tableau 3) :

Tableau 4 : les données de calcul de consommation d'eau annuelle de contre lavage des filtres à sable

Saison	Débit filtration (m³/h)	Durée CL (h)	Volume par CL (m³)	Fréquence
Été	480	0,05	24	Tous les 15 jours (6 fois)
Reste saisons	400	0,05	20	Tous les 3 semaines (13 fois)

La différence entre l’été et le reste des saisons provient de la mise en exploitation du bassin extérieur.

Calcul annuel :

- Été : 24 m³ × 6 fois = 144 m³
- Reste des saisons : 20 m³ × 13 fois = 260 m³
- Total annuel : 404 m³

Ce volume représente l'eau consommée pour le nettoyage des filtres à sable sur l'année.

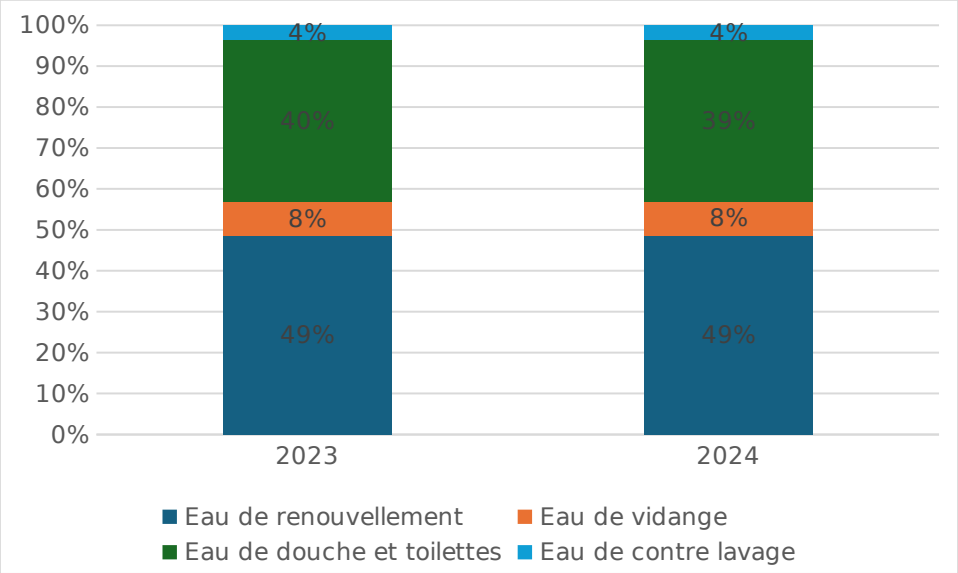
d. Eau des douches

L'eau des douches a été estimée par différence entre la consommation annuelle du centre aquatique et les usages précédemment décrits (eau de renouvellement, de contre lavage et vidange). On obtient ainsi un volume total de 4 392 m³ en 2023 et de 4 478 m³ en 2024

Ce poste représente à lui seul près de 45 % de la consommation totale en eau du centre.

e. Bilan global

- La figure suivante montre la distribution de l'eau consommée du centre aquatique par usage, et pour les années 2023 et 2024.



Ces volumes sont significatifs, représentant plus de 11 millions de litres d'eau annuelle soit l'équivalent de la consommation annuelle en eau potable de plusieurs centaines de foyers. Pour mettre cela en perspective, le volume global d'eau évacué par le centre est comparable à la quantité de charge hydraulique traitée par une petite station d'épuration communale.

L'analyse indique que deux éléments principaux sont prédominants :

- L'eau renouvelée des bassins, exigée par les normes sanitaires,

- L’eau des douches directement liée à la fréquentation.

Ces deux postes représentent ensemble près de 90 % de la consommation totale. Dans le cadre de cette étude, l'accent sera mis principalement sur les effluents techniques (eau de renouvellement, eau de vidange et eau de contre-lavage), représentant 60% de la consommation d’eau.

L’eau de vidange annuelle peut être assimilée à de l’eau renouvelée en termes de qualité et sera donc traitée comme cette dernière. Ces flux spécifiques représentent des réserves d’eaux non conventionnelles dont la caractérisation physico-chimique et microbiologique sera mise en œuvre afin d’évaluer leur potentiel de réutilisation. Cette étude va être la base de la deuxième partie des résultats, qui se focalise sur le diagnostic participatif en collaboration avec les acteurs locaux. Cette approche favorisera l'intégration des enjeux identifiés (techniques, sanitaires, réglementaires et territoriaux) dans une perspective plus globale, à la fois spatiale et thématique, concernant la REUSE des eaux de piscines.

2.2.2. Diagnostic participatif

2.2.2.1. Objectifs et démarche

Un des objectifs principaux du projet est de coopérer avec les acteurs locaux dans une démarche participative, avec l'intention d'établir les principes d'une réutilisation pertinente et acceptée des eaux du centre aquatique. Le diagnostic participatif repose sur l'organisation d'entretiens semi-directifs avec divers intervenants institutionnels, économiques et techniques, classés en cinq grandes catégories (Tableau 4).

Tableau 4 : Les catégories des acteurs sélectionnés

Acteurs institutionnels et collectivités	**Communauté de communes du Clermontais (3C)** Agence de l’eau Rhône-Méditerranée-Corse ARS (Agence Régionale de Santé) Occitanie DREAL ou DDT(M) Hérault Région OCCITANIE ADEME **Syndicat mixte de développement local du clermontais** Mairie de Clermont l’Hérault
Acteurs du centre aquatique	**Responsable technique du centre aquatique de Clermont l’Hérault** **Service d’entretien/maintenance**
Acteurs du monde agricole	Agriculteurs locaux **Chambre d’agriculture de l’Hérault**

	Coopératives agricoles Associations locales
Acteurs du secteur industriel	Entreprises locales ayant des besoins en eau technique ou de nettoyage **Service Développement Économique de la 3C** **Rousselet environnement** Industries locales
Acteurs du secteur urbain	**Centre sportif** **Pompiers (SDIS)**

À ce jour, 9 entretiens semi-directifs sont menés sur 18. Les thématiques abordées sont :

- La connaissance du territoire et ses dynamiques hydriques.
- Les pratiques actuelles de gestion de l'eau.
- La perception et l'acceptabilité de la REUSE, en particulier des eaux de piscine.
- Les conditions de faisabilité perçues (techniques, sanitaires, réglementaires, logistiques).
- L'intérêt pour une implication dans une démarche expérimentale ou de gouvernance collective.

2.2.2.2. Dynamique acteur-acteur

Une cartographie de 19 acteurs est élaborée afin de clarifier et illustrer les connexions, les synergies et les leviers mobilisables en lien avec de la réutilisation des eaux du centre aquatique (Figure 16). Cette cartographie distingue les rôles envisageables dans le projet : usagers, porteurs, prescripteurs et facilitateurs.

- L'analyse de cette dynamique acteur–acteur se structure à deux niveaux : Micro (locale, Clermont-l'Hérault) : où se concentrent les usagers directs du centre aquatique et les acteurs de proximité.

- Macro (au niveau départemental/régional) : où interviennent les organismes de régulation, de financement et d'accompagnement technique.

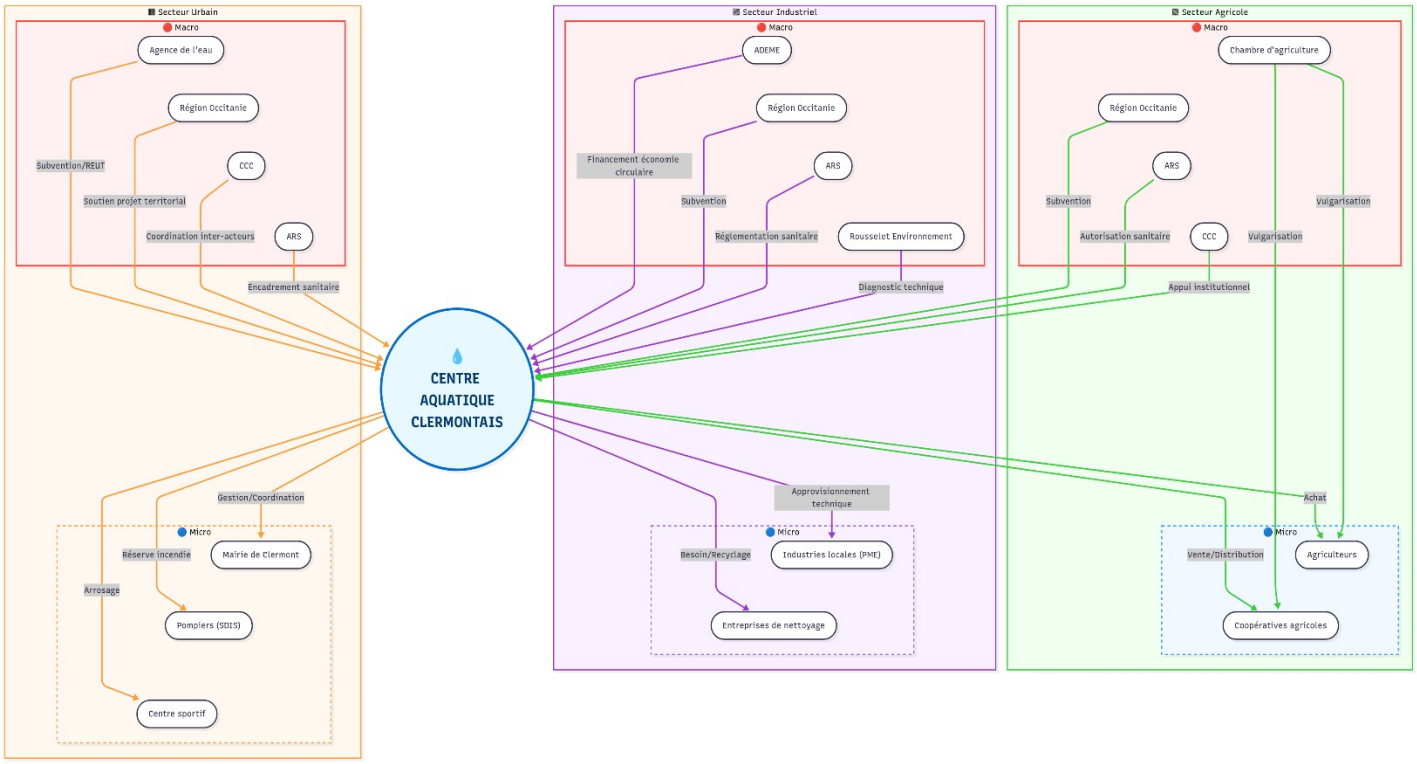


Figure 16 : Modèle dynamique acteur-acteur

On distingue trois principaux domaines d'application et d'intérêt :

a. Secteur agricole

Le zoom fait sur le secteur agricole (Figure 17) permet de déterminer plus précisément les chaînes d'interactions autour de l'irrigation agricole, qui constitue un débouché prioritaire pour la REUSE.

- Au niveau micro, les premiers bénéficiaires potentiels sont les agriculteurs. Ils manifestent une demande en eau croissant et peuvent envisager l'achat direct d'eau réutilisée. Les coopératives agricoles occupent ici un rôle pivot : mutualisation des besoins, distribution de la ressource et structuration d'une demande collective.
- Au l'échelle macro, la Région Occitanie et la Chambre d'agriculture apparaissent comme facilitateurs de la mise en place, via des soutiens financiers, de la vulgarisation et une assistance technique. L'ARS occupe une place centrale dans le contrôle et la validation sanitaire, condition indispensable à toute opération de REUSE. Pour finir, la Communauté de Communes du Clermontais (CCC) joue le rôle de coordinateur et de financier, ce qui permet d'intégrer le projet dans une stratégie territoriale plus large.

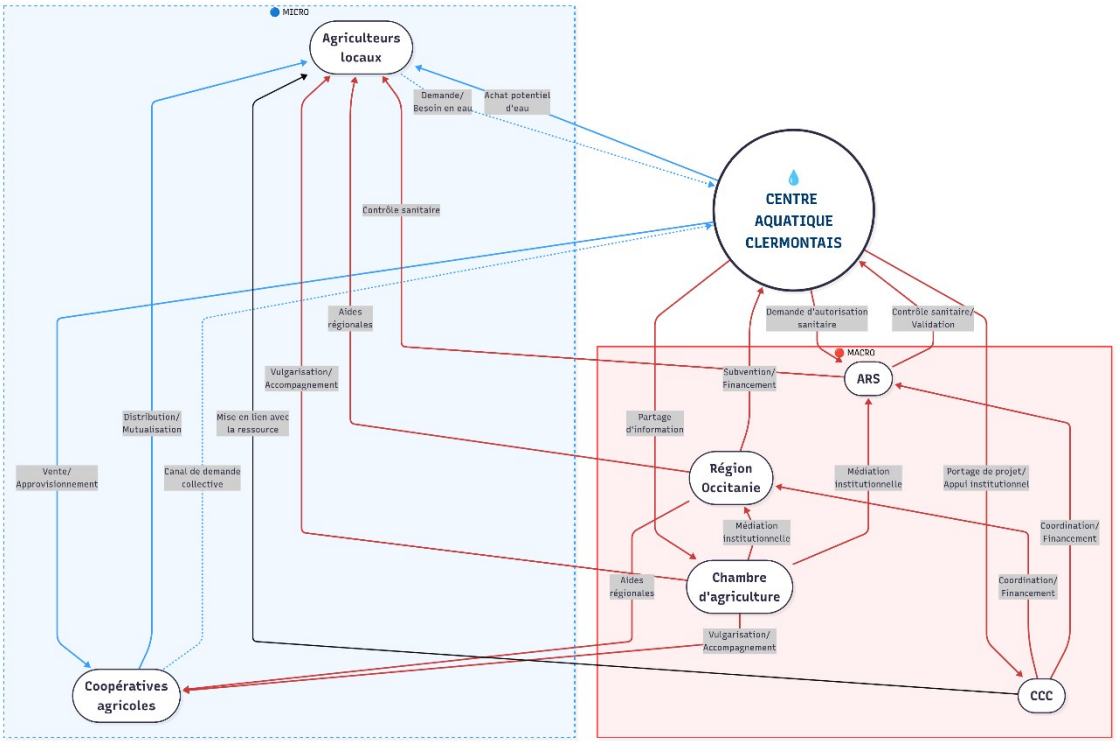


Figure 17 : Modèle dynamique du secteur agricole

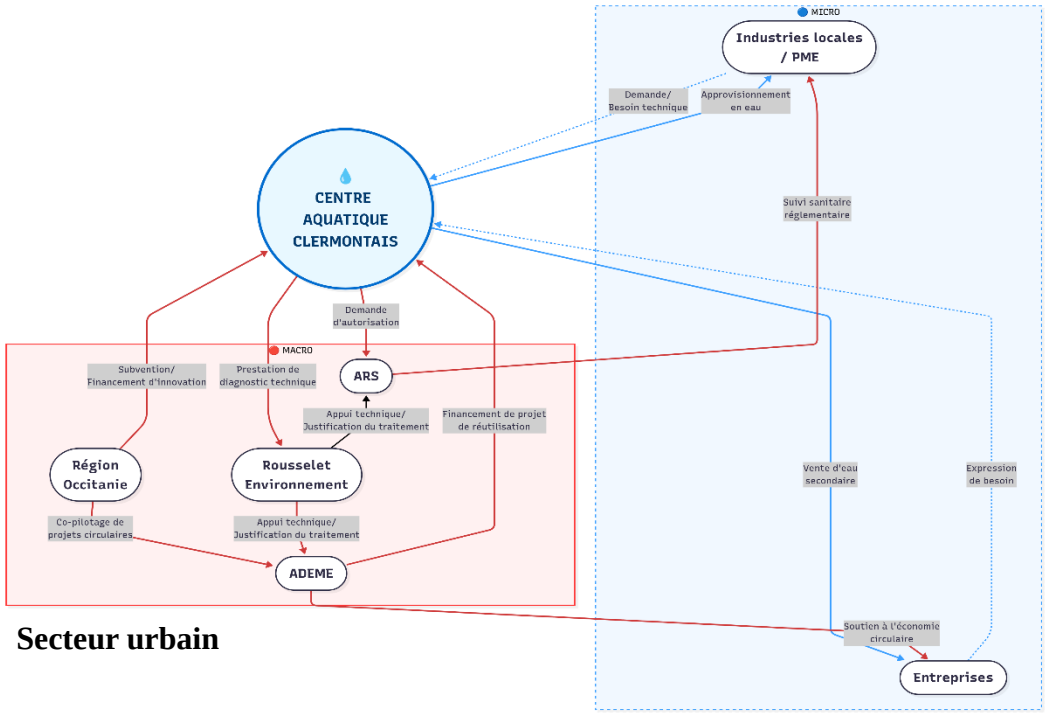
b. Secteur industriel

La cartographie du secteur industriel (Figure 18) révèle un ensemble de composants plus limité que celui de l'agriculture, mais essentiel pour promouvoir la réutilisation des eaux de piscine.

- À l'échelle micro (locale, Clermont-l'Hérault) Les entreprises et les industries locales semblent être les destinataires éventuels de cette ressource. Dans un contexte de pénurie d'eau, certaines industries (nettoyage, arrosage d'espaces, process ne nécessitant pas une qualité d'eau potable) pourraient envisager l'usage de cette eau comme solution alternative afin de minimiser leur consommation d'eau potable. Ces acteurs ont un intérêt direct pour la disponibilité de quantités régulières et les coûts liés à cette ressource.
- À l'échelle macro (régionale/nationale) Diverses institutions interviennent en appui ou en régulation :

- Région Occitanie : appui financier et accompagnement stratégique, notamment par le biais de mécanismes d'aides à l'innovation et à la transition écologique.
- ADEME : acteur clé de soutien technique et financier des initiatives et des projets d'économie circulaire et de valorisation des ressources non conventionnelles.

- ARS : validation et supervision sanitaire, essentielles pour cadrer les pratiques industriels autorisés.
- Rousselet Environnement : partenaire technique et scientifique, qui joue un rôle d'accompagnement à la fois sur la faisabilité technique et sur le développement d'outils de suivi/valorisation.



c. Secteur urbain

Figure 18 : Modèle dynamique du secteur industriel

La recherche approfondie du secteur urbain (Figure 19) permet d'identifier avec plus de précision les chaînes d'interactions relatives à la gestion et à la réutilisation des eaux, dans un cadre urbain où les applications publiques et institutionnelles représentent les principaux débouchés.

- À l'échelle locale, les acteurs locaux semblent être les premiers destinataires et gestionnaires éventuels de la ressource. Le complexe sportif situé à côté de la piscine peut directement utiliser l'eau recyclée pour divers besoins tels que l'irrigation ou le nettoyage. La municipalité de Clermont-l'Hérault est essentielle pour la planification et l'approbation des projets urbains, alors que la caserne des pompiers, bien qu'elle utilise occasionnellement les ressources en eau, a des besoins vitaux pour la sécurité publique et la gestion des risques. Ces acteurs facilitent l'organisation de la demande locale et l'établissement des priorités d'utilisation.

- À l'échelle macro, les intervenants institutionnels jouent le rôle d'acteurs facilitants et régulateurs dans la réutilisation. L'ARS joue un rôle crucial pour assurer la conformité avec les normes sanitaires et réglementaires. La coordination et l'intégration du projet au sein d'une stratégie territoriale plus vaste, y compris les questions liées au financement, sont prises en charge par la Communauté de Communes du Clermontais (CCC). L'Agence de l'Eau soutient la mise en œuvre par le biais d'aides financières et d'une assistance technique, alors que la Région Occitanie offre une perspective stratégique et un soutien en termes de planification urbaine et de transition écologique.

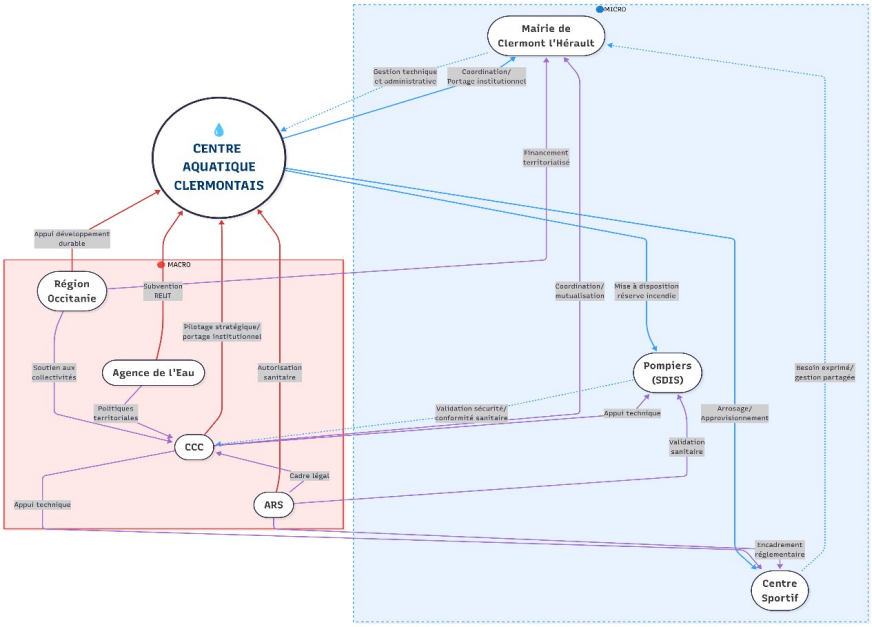


Figure 19 : Modèle dynamique du secteur urbain

2.2.2.3. Usage potentiel demandé par les acteurs

L'analyse des entretiens menés avec les divers acteurs du territoire a fourni des indices essentiels sur les besoins et les demandes relatives à l'eau recyclée. Ces discussions fournissent une première perspective des applications potentielles identifiées par les acteurs concernés (Tableau 4), qui vont des usages urbains classiques aux applications industrielles et techniques. Le tableau ci-dessous résume le nombre d'acteurs qui ont manifesté un intérêt pour chaque type d'application, ce qui permet de hiérarchiser les usages les plus pertinents pour le territoire étudié.

Tableau 5 : Les usages demandés par les acteurs

Usage potentiel de l'eau réutilisée	Nombre d'acteurs intéressés
Arrosage des espaces verts et terrains sportifs	6
Nettoyage des installations sportives et parkings	4
Lavage des véhicules municipaux et engins	3
Alimentation des toilettes publiques et sanitaires	3
Utilisation pour entraînement ou jeux non-contact (ex : bassins d'appoint, fontaines)	2
Gestion incendie / réserves pour pompiers	2
Usage dans les processus d'entretien technique	2
Usage industriel léger (ex : lavage de matériel, circuits techniques non alimentaires)	2
Refroidissement ou process de production non potable	1

Cette première identification des demandes constitue une base solide pour orienter la suite de l'étude. La prochaine étape consistera à caractériser les eaux issues du centre aquatique à travers des analyses physico-chimiques et microbiologiques, afin de vérifier la compatibilité des effluents avec les usages identifiés et d'établir des recommandations techniques adaptées.

2.2.3. Caractérisation qualitative des effluents

La caractérisation des eaux constitue une étape cruciale pour étudier le potentiel de réutilisation des effluents du centre aquatique. Elle permet d'identifier les propriétés physico-chimiques et microbiologiques des différents flux d'eau, ainsi que d'anticiper les traitements adaptables pour leur valorisation. Deux campagnes de prélèvement ont été réalisées afin de disposer de données représentatives et de suivre la variation de la qualité de l'eau au cours de la saison.

Dans le cadre de cette caractérisation, trois campagnes de prélèvements ont été menées. La 1ère, effectuée le 1er mai, portait sur un nombre restreint d'échantillons (6 au total), limitant

ainsi la portée de l'analyse. La 2ème, réalisée le 21 juillet, a élargi le périmètre d'étude avec 11 échantillons couvrant l'ensemble des effluents du centre considérés dans cette étude, offrant ainsi une vision plus représentative des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux. Enfin, une troisième campagne a été conduite le 24 juillet, lors du prélèvement de l'effluent destiné aux essais de traitement, afin de disposer de données complémentaires sur la qualité de l'eau à cette étape et d'effectuer des tests de vieillissement.

L'ensemble des résultats détaillés de ces trois campagnes est présenté en Annexe 2.

2.2.3.1. Première campagne d'échantillonnage

La 1ère campagne d'échantillonnage a été réalisée le 1er mai, ciblant les effluents produits lors du contre-lavage des filtres à sable. Cette campagne visait à avoir un premier aperçu de la qualité des différents effluents d'eau du centre. Les échantillons prélevés et analysés comprenaient :

- Les eaux potables, utilisées comme référence,
- Les eaux du bassin sportif, avant et après filtration,
- Les eaux issues du contre-lavage des deux filtres à sable.

Cette série d'analyses physico-chimiques permet d'identifier les caractéristiques principales des effluents et de poser les bases pour la comparaison avec les campagnes suivantes.

I. Analyses physicochimiques

a. Spectrophotométrie UV-Visible

La première série d'analyses est réalisée par la spectrophotométrie UV-Visible (Figure 20), en intégrant des échantillons de référence (eaux Volvic et source des Fées, ayant des concentrations en nitrates de 7,3 et 9,2 mg/L, respectivement ; les nitrates présentent une forte absorbance entre 200 et 220 nm).

Les résultats montrent une absorbance faible pour l'eau potable, intermédiaire pour Volvic, tandis qu'une absorbance marquée est observée entre 200 et 220 nm pour les eaux de contre-lavage, traduisant une teneur importante en nitrates et en matière organique dissoute. Aucune absorbance significative n'est relevée au-delà de 280 nm, ce qui suggère une absence notable de matières en suspension.

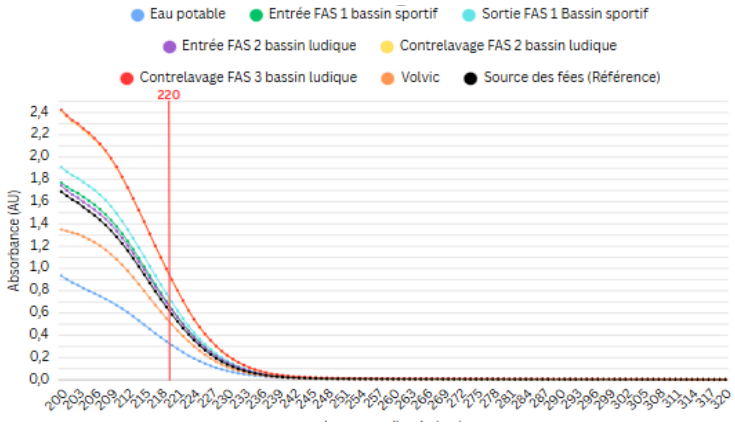


Figure 20 : Courbe d'absorbance en fonction de longueur d'onde par spectrophotomètre UV VIS (Campagne 1)

b. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité (Figure 21) permet d'évaluer la teneur ionique des différents échantillons. Les résultats montrent une conductivité élevée dans les flux issus du contre-lavage, une conductivité faible pour l'eau potable, et des valeurs intermédiaires pour les eaux de bassin sportif et ludique.

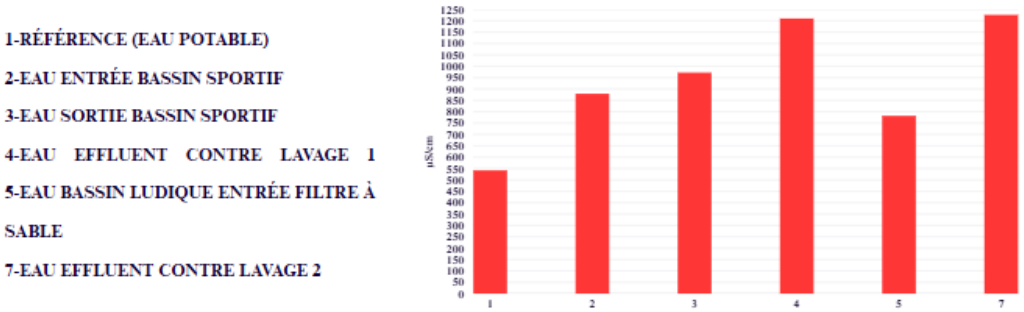


Figure 21 : Conductivité des échantillons (Campagne 1)

c. Chromatographie ionique

Une chromatographie ionique est ensuite réalisée (Figure 22). Les résultats présentent une concentration importante en chlorures dans les eaux de contre-lavage, ainsi qu'une charge ionique moyenne en sulfates, sodium et calcium. La présence de bromures est également détectée, avec des concentrations dépassant les normes d'eau potable et bien que ces concentrations restent faibles par rapport à d'autres ions, ce paramètre constitue un point de vigilance.

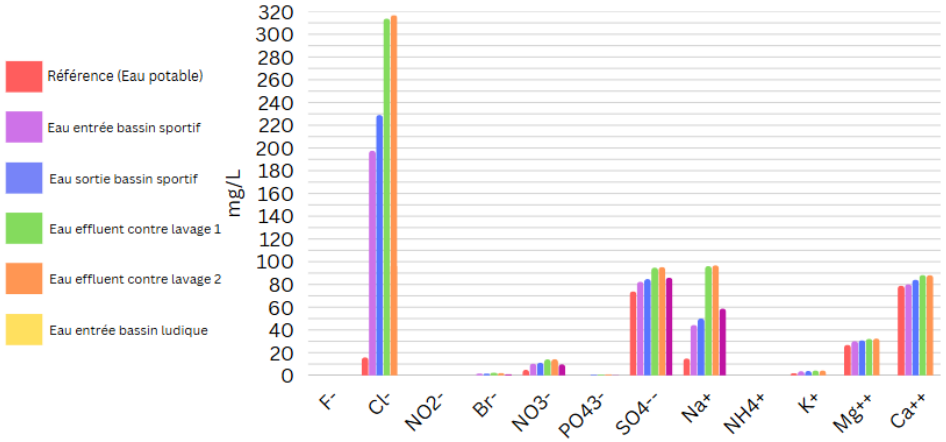


Figure 22 : Teneur ionique des échantillons par chromatographie ionique (Campagne 1)

d. Carbone organique total (TOC)

L'analyse du carbone organique total (TOC) (Figure 23) corrobore les observations précédentes. Les eaux de contre-lavage présentent les charges organiques les plus élevées, suivies des eaux de bassin, en lien direct avec la fréquentation des usagers. À l'inverse, l'eau potable se distingue par une quasi-absence de charge organique.

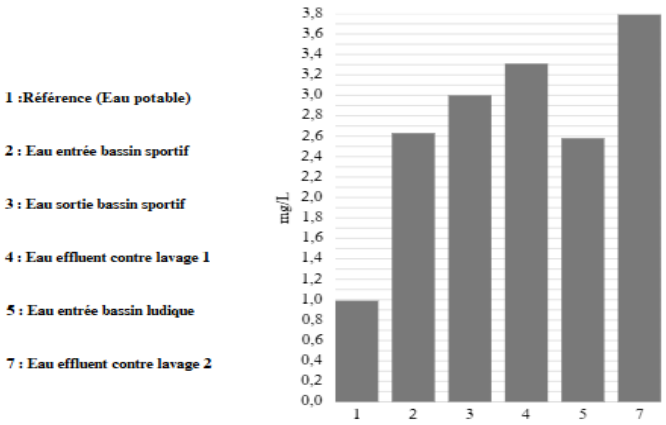


Figure 23 : Taux de carbone organique total (Campagne 1)

2.2.3.2. Deuxième campagne d'échantillonnage

Afin de compléter les premiers résultats et d'obtenir une vision plus représentative des effluents générés par le centre aquatique, une seconde campagne d'échantillonnage a été réalisée le 2 juillet. Contrairement à la première, centrée sur un nombre limité de flux, cette campagne a couvert l'ensemble des effluents considérés dans l'étude. Au total, 11 échantillons ont été collectés et analysés, correspondant aux points suivants (Tableau 6) :

Tableau 6 : les échantillons issus de la 2ème campagne

Identifiant	Point de prélèvement
1	Référence – Eau potable
2	Bassin sportif – entrée FAS 1
3	Bassin sportif – sortie FAS 1
4	Effluent de contre-lavage 1
5	Bassin ludique – entrée FAS 2
6	Bassin ludique – sortie FAS 2
7	Effluent de contre-lavage 2
8	Bassin ludique – entrée FAS 3
9	Bassin ludique – sortie FAS 3
10	Effluent de contre-lavage 3
11	Pataugeoire – entrée FAS

Cette stratégie d'échantillonnage élargie permet de comparer les caractéristiques de l'eau en différents points du circuit (avant et après filtration, après contre-lavage), ainsi que de prendre en compte la diversité des bassins (sportif, ludique, pataugeoire).

I. Analyse physico-chimique

a. Spectrophotométrie UV-Visible

L'analyse spectrophotométrique UV-Visible permet d'analyser la composition des différents échantillons d'eau issus du système de traitement. Les mesures sont réalisées sur une gamme de longueurs d'onde comprise entre 200 et 700 nm, en intégrant un échantillon de référence (eau potable). (Figure 24)

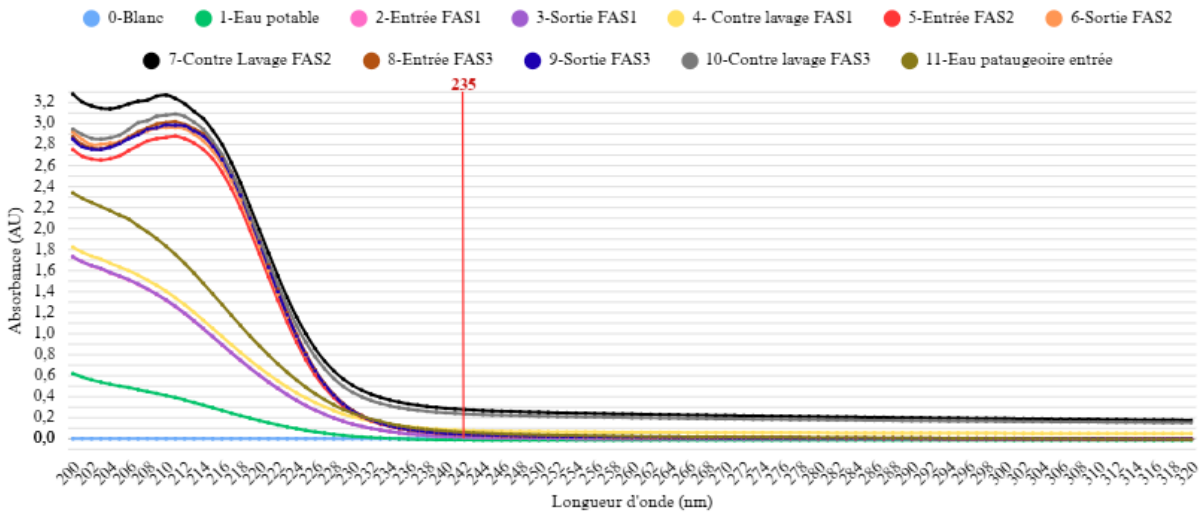


Figure 24 : Courbe d'absorbance en fonction de longueur d'onde par spectrophotomètre UV VIS (Campagne 2)

Les résultats montrent que l'eau potable présente une absorbance très faible sur l'ensemble du spectre, ce qui confirme sa faible teneur en nitrates et en matière organique dissoute. Cette observation est cohérente avec la qualité attendue pour une eau de consommation. Les spectres du bassin sportif ont une abosorbance proche de celle de la première campagne.

En revanche, les échantillons prélevés à l'entrée et à la sortie des différents filtres FAS2 et, FAS3 présentent une absorbance marquée dans la zone comprise entre 200 et 240 nm, avec un pic autour de 215 nm (5, 6, 7, 8, 9, 10), qui n'existait pas lors de la première campagne. Ce pic est dû à l'ajout d'un stabilisant (acide cyanique) du chlore libre, limitant la dégradation de ce dernier par le rayonnement UV. Cette substance est rajoutée lorsque la partie extérieure du bassin ludique est ouverte.

Les eaux de contre-lavage des filtres à sable 2 et 3 (7, 10) présentent les niveaux d'absorbance les plus élevés, atteignant jusqu'à 3,2 UA dans la zone de 210-220 nm. Cette forte intensité traduit la présence d'acide cyanique lors du nettoyage des filtres. De plus, l'absorbance constatée après 250 nm pour les eaux de contre lavage est due à la présence de matières en suspension.

b. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique constitue un indicateur de la teneur en ions dissous présents dans les différents échantillons d'eau (Figure 25). Elle permet notamment d'évaluer l'impact des traitements sur la concentration ionique, en lien avec la présence de sels minéraux, de chlore ou de produits de désinfection.

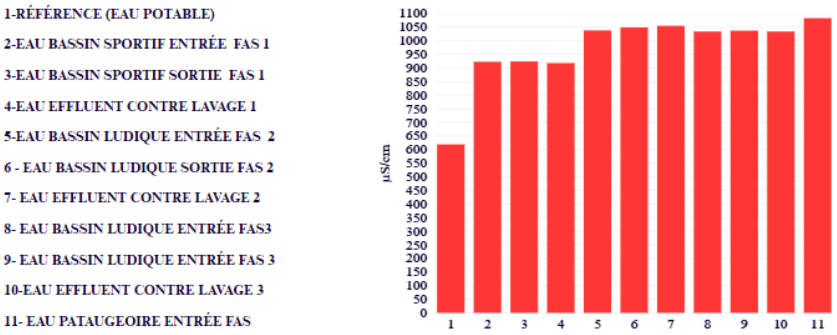


Figure 25 : Conductivité des échantillons (Campagne 2)

Les résultats présentés montrent une conductivité très faible pour l'échantillon d'eau potable (1), ce qui confirme la faible teneur en sels dissous et correspond à une eau de bonne qualité pour la consommation. Les eaux du bassin sportif (2, 3, 4) présentent une conductivité supérieure, entre 900 et 950 µS/cm. Les eaux des bassins ludiques (5, 6, 7, 8, 9, 10) présentent des conductivités similaires, entre 1000 et 1050 µS/cm. Enfin, les eaux de la pataugeoire présentent la conductivité la plus élevée, supérieure à 1050µS/cm.

Ces valeurs supérieures à l'eau d'entrée (potable) sont causées par l'ajout de chlore, de correcteurs de pH, et de la décomposition de certaines substances (urée, stabilisant).

c. Chromatographie ionique

Une chromatographie ionique a été réalisée afin de déterminer la composition ionique détaillée des différents échantillons d'eau (Figure 26).

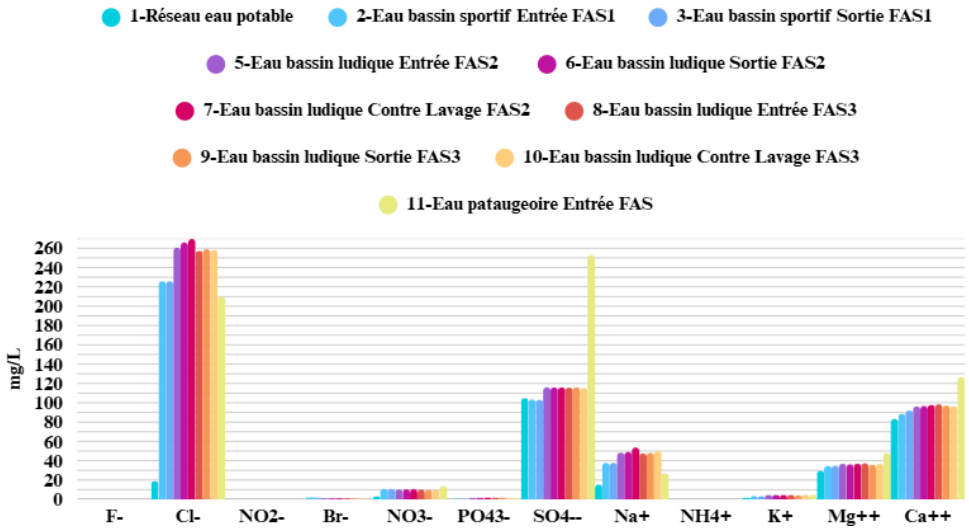


Figure 26 : Teneur ionique des échantillons par chromatographie ionique (Campagne 2)

Les résultats mettent en évidence une forte teneur en chlorures (Cl^-), marquée dans le bassin sportif, mais encore supérieure dans les bassins ludiques. Cette observation est cohérente les mesures de conductivité. Les concentrations en sulfates (SO_4^{2-}) suivent aussi cette tendance, excepté pour la pataugeoire qui a une très forte concentration en sulfates.

Par ailleurs, des niveaux notables de sodium (Na^+) et de calcium (Ca^{2+}) ont été détectés dans tous les échantillons, avec des valeurs plus élevées dans les eaux de bassin et de contre-lavage que dans l'eau potable du réseau. Cette présence s'explique à la fois par la composition initiale de l'eau et par les interactions avec les matériaux et produits de traitement utilisés (correcteurs de dureté, sels minéraux). Les concentrations en magnésium (Mg^{2+}) et en potassium (K^+) se situent à des niveaux plus modérés mais restent détectables.

Un point de vigilance particulier concerne la présence de bromures (Br^-), dont les concentrations, bien que faibles en comparaison des autres ions, ont été mises en évidence dans certains échantillons. Ces valeurs, qui peuvent dépasser ponctuellement les normes de

potabilité, méritent une attention particulière dans le cadre de la surveillance de la qualité des eaux de baignade.

Enfin, la présence d'ions ammonium (NH_4^+) et nitrates (NO_3^-) a également été confirmée. Leurs concentrations, plus élevées dans les eaux de pataugeoire et de contre-lavage, traduisent une contamination liée à la fréquentation des bassins (apports anthropiques tels que sueur, urine ou produits cosmétiques, et leurs produits de décomposition).

En conclusion, la chromatographie ionique met en évidence une des profils ioniques différents selon l'origine des échantillons. Si l'eau potable présente une composition conforme aux attentes d'une eau potable, les eaux de bassin et surtout celles de contre-lavage se caractérisent par des teneurs nettement plus élevées en chlorures, sulfates, sodium et calcium.

d. Carbone organique total

L'analyse du carbone organique total confirme les tendances observées avec les autres paramètres (Figure 27). L'eau potable présente une charge organique très faible, ainsi que les eaux entrée et sortie du bassin sportif (2 et 3). Les eaux entrée sortie du bassin ludique (5, 6, 8, 9) affichent des valeurs plus élevées, probablement liées à une plus forte fréquentation des usagers et à l'ajout de stabilisant qui est une molécule organique. Les eaux de contre-lavage (4, 7, 10) se distinguent par les teneurs les plus élevées, atteignant jusqu'à 18,61 mg/L, traduisant la libération de la matière organique accumulée dans les filtres. Enfin, l'eau de la pataugeoire (6,63 mg/L) présente une du carbone organique, en cohérence avec son exposition à une forte fréquentation.

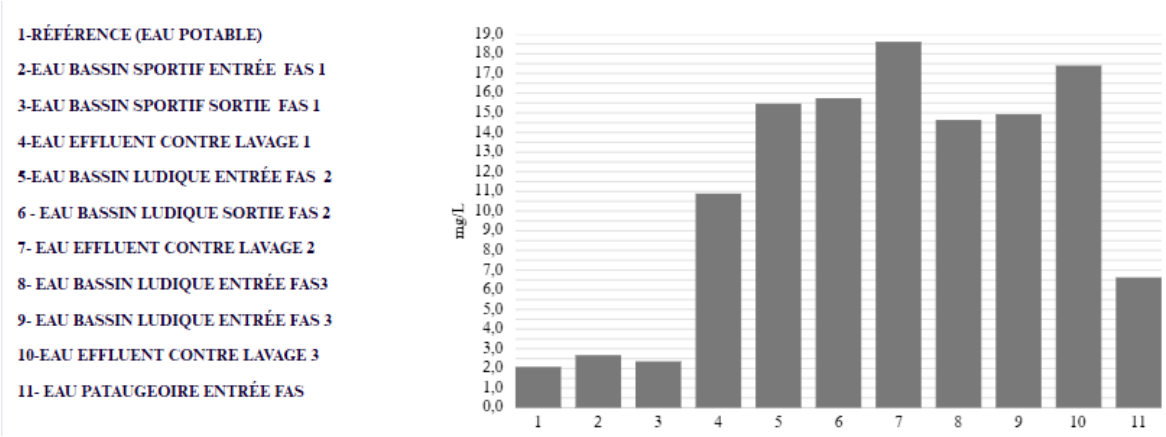


Figure 27 : Teneur en carbone organique total

II. Analyse microbiologique

L'analyse microbiologique des échantillons d'eau porte sur la recherche de coliformes totaux et d'Escherichia colis (Figure 28). Les résultats montrent une absence totale d'E. coli dans l'ensemble des échantillons, ce qui traduit l'absence de contamination fécale directe.

La présence de coliformes totaux est détectée ponctuellement dans certains échantillons : 12,2 UFC/100 mL dans l'eau du bassin ludique (entrée FAS2), 15,8 UFC/100 mL dans l'entrée FAS3, et 3,1 UFC/100 mL dans la sortie FAS3. Ces valeurs témoignent d'une contamination microbiologique légère, proche du seuil sanitaire de la réglementation (10 UFC/100mL). Cette contamination pourrait être accidentelle, liée aux conditions de prélèvement (opérateurs non formés au prélèvement d'échantillons pour analyses biologiques et pas de désinfection des robinets du fait de leur nature en PVC interdisant l'utilisation d'un chalumeau).

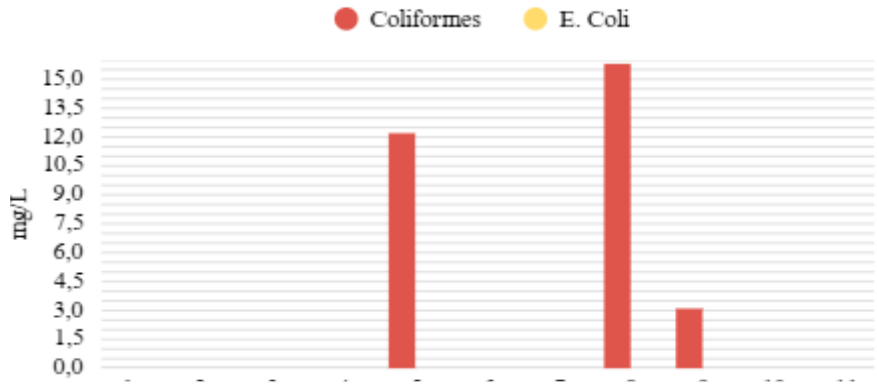


Figure 28 : Analyse bactériologique

2.2.3.3. Analyse comparative des campagnes de prélèvements

Afin d'évaluer l'évolution de la qualité de l'eau dans le centre aquatique, une analyse comparative est réalisée entre les deux campagnes de prélèvement effectuées en mai et en juillet. La première campagne, limitée à un nombre restreint d'échantillons, permettait une première estimation des concentrations en différents paramètres physico-chimiques.

La deuxième campagne, réalisée lors du pic de fréquentation et après l'ajout du stabilisant de chlorures pour les bassins ludiques (acide cyanique), offre un aperçu représentatif des conditions réelles de fonctionnement des bassins durant l'été.

a. Analyse comparative et interprétation

Afin de mieux évaluer l'impact de la fréquentation et de l'ajout de produits chimiques, une comparaison est réalisée entre les résultats des deux campagnes d'échantillonnage.

- **Analyse des ions majeurs**

La figure 29 illustre l'évolution des concentrations en ions en fonction des périodes d'échantillonnage.

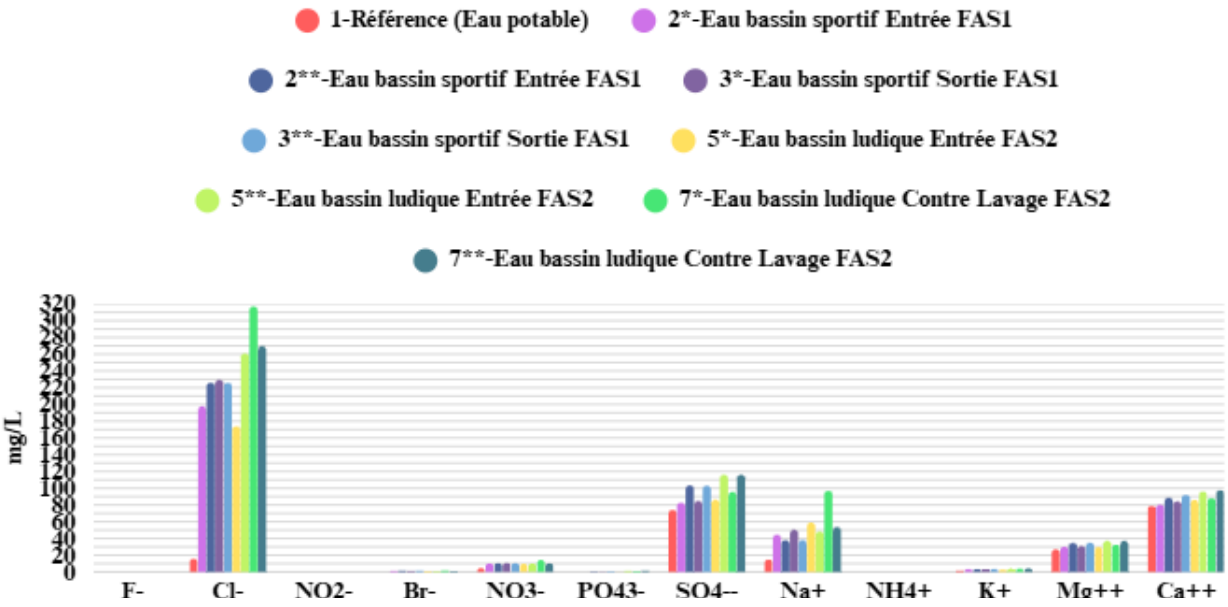


Figure 29 : comparaison des ions majeurs entre les 2 campagnes

Le tableau 7 propose une synthèse des principales observations concernant les ions analysés, accompagnée de leur interprétation.

Tableau 7 : Analyse comparative des ions majeurs entre les 2 campagnes

Paramètre	Observation	Interprétation
F^-	Non détecté dans les deux campagnes	L'ion fluorure est négligeable dans tous les points d'échantillonnage.
Cl^-	Concentrations élevées dans les bassins. Légère augmentation lors de la deuxième campagne, surtout dans les contre-lavages et sorties de bassin	Une partie du chlore résiduel se transforme progressivement en chlorures pour les deux campagnes
Br^-	Concentrations stables entre les deux campagnes	Peu de variation saisonnière ou liée à la fréquentation.
NO_2^-	Non détecté dans les deux campagnes	L'eau reste peu nitritée, aucune altération due à la fréquentation ou au stabilisant.
NO_3^-	Valeurs proches entre les deux campagnes	La fréquentation et l'ajout de stabilisant n'ont pas d'effet notable sur les nitrates.
PO_4^{3-}	Légère augmentation lors de la deuxième campagne, surtout dans les contre-lavages et entrées du bassin ludique	L'augmentation peut provenir de l'apport des baigneurs ou de produits chimiques utilisés (anti-algues, adjuvants).
SO_4^{2-}	Augmentation marquée dans la deuxième campagne, surtout dans les effluents de contre-lavage	Résulte de la combinaison de la fréquentation, de l'évaporation et du stabilisant.
Na^+	Variations : baisse dans certaines entrées de bassin mais hausse dans les effluents et sorties	Résulte de la dilution, de la fréquentation et des ajouts chimiques.
NH_4^+	Non détecté dans les deux campagnes	Aucun impact notable sur la qualité de l'eau pour cet ion.

- **Analyse de total organic carbone (TOC)**

Le tableau 8 présente une synthèse des principales observations relatives aux TOC, ainsi que leur interprétation.

Tableau 8 : Analyse comparative de TOC entre les 2 campagnes

Échantillon	Observation	Interprétation
1 - Réseau eau potable	TOC faible (0,99 → 2,081 mg/L)	Qualité conforme à une eau distribuée. Légère hausse en campagne 2 mais reste dans des valeurs basses.
2 - Bassin sportif Entrée FAS1	TOC stable autour de 2,6 mg/L	Enrichissement par rapport à l'eau potable, lié aux apports des baigneurs. Stabilité entre les deux campagnes.
3 - Bassin sportif Sortie FAS1	TOC semblable en campagne 1 (3,00 mg/L) et en campagne 2 (2,36 mg/L)	Augmentation logique en sortie (accumulation organique), mais baisse en campagne 2 qui peut traduire un effet du traitement ou une dilution.
4 - Bassin sportif Contre lavage FAS1	Hausse importante du TOC en campagne 2 (10,9 mg/L vs 3,3 mg/L en campagne 1)	Accumulation de matière organique dans le filtre, relarguée massivement lors du lavage.
5 - Bassin ludique Entrée FAS2	Forte augmentation entre les deux campagnes (2,6 → 15,5 mg/L)	Apport de matière organique en campagne 2, probablement lié à une forte fréquentation : crème solaire fortement suspectée
7 - Bassin ludique Contre lavage FAS2	Valeur la plus élevée : 18,6 mg/L en campagne 2 (vs 3,8 mg/L en campagne 1)	Très fort encrassement du filtre, confirmant une charge organique élevée dans ce bassin par rapport au bassin sportif.

La deuxième campagne, effectuée en juillet pendant le pic de fréquentation et après l'ajout du stabilisant, reflète les conditions d'été du centre aquatique. Les augmentations observées en en TOC, PO_4^{3-}, SO_4^{2-} et Cl^- mettent en évidence l'impact combiné de la fréquentation et des

traitements chimiques, tandis que les nitrates, bromures, ammonium et fluorures restent stables.

En discutant avec les responsables de la piscine, l'apport de matière organique semble être du à l'utilisation de crème solaire. Une observation visuelle des effluents de contre lavage, constitué de particules blanches visibles à l'œil nu, semble confirmer ce point. Ces particules n'étaient pas visible le 1er mai.

2.2.3.4. Conclusion partielle

Après l'identification des usages potentiels et la caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux du centre aquatique, il est nécessaire de comparer les analyses avec les normes pour voir l'emplacement de la qualité de ces eaux par rapport à les catégories de eaux usées.

2.2.4. Analyse comparative des résultats avec les normes de REUSE

2.2.4.1. Introduction

En l'absence de réglementation spécifique aux eaux de piscine, leur potentiel de réutilisation doit être évalué au regard des normes en vigueur dans les secteurs agricole et industriel.

Cette analyse comparative vise donc à Identifier les écarts entre la qualité mesurée des eaux de piscine et les seuils réglementaires, déterminer les usages agricoles et industriels potentiellement compatibles et mettre en évidence les contraintes spécifiques liées à la nature de ces eaux, notamment la présence de désinfectants résiduels et de sous-produits de chloration.

2.2.4.2. Usage agricole

Le tableau 9 présente les principales valeurs des eaux des différents bassins, comparés aux valeurs de référence pour la réutilisation en irrigation. Les critères analysés concernent principalement les apports fertilisants (nitrates, phosphates), la matière organique (TOC) et les sels dissous (chlorures, sodium, sulfates), reconnus comme les principaux facteurs limitants pour la durabilité des sols et des systèmes d'irrigation.

Tableau 9 : Comparaison des eaux de piscines avec les seuils de référence pour l'irrigation

Paramètre	Bassin sportif	Bassin ludique	Pataugeoire	Contre-lavage	Normes de référence (UE 2020/741, OMS 2006, ISO 16075)
NO_3^- (mg/L)	10–14 bénéfique	10–14 bénéfique	12 bénéfique	15 modéré	< 50 (Directive UE sur l'eau potable)
PO_4^{3-} (mg/L)	1–2 fertilisant	1–2 fertilisant	1,5 fertilisant	2 fertilisant	Pas de seuil strict (apport agronomique)
TOC (mg/L)	<3 faible	6,6–19 élevé	6,6 modéré	>10 élevé	ISO 16075 : <10 pour éviter colmatage
Cl^- (mg/L)	~210 élevé	~270 trop élevé	~230 élevé	>250 inadapté	FAO : <140 (sensibles), <350 (tolérantes)
Na^+ (mg/L)	~38 modéré	~49 élevé	~40 modéré	>45 élevé	FAO : <70 (tolérance moyenne)
SO_4^{2-} (mg/L)	180 acceptable	190 acceptable	253 seuil limite	>250 limite	<250 recommandé pour irrigation

L'eau du bassin sportif est la plus adaptée aux usages industriels. Son TOC inférieur à 3 mg/L réduit le risque de bio-encrassement, et sa dureté modérée (120–130 mg/L $CaCO_3$) est maîtrisable par des traitements classiques. La teneur en chlorures (~210 mg/L), bien que préoccupante pour les matériaux métalliques, peut être compensée par l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion.

L’eau du bassin ludique présente un TOC élevé qui favorise le développement de biofilms et une salinité élevée qui accentue les phénomènes de corrosion. Elle ne peut être utilisée qu’après un traitement de réduction de la matière organique et des sels dissous.

L’eau de la pataugeoire, avec un TOC modéré (~6,6 mg/L), présente un risque plus limité de bio-encrassement, mais sa teneur en sulfates (≈ 253 mg/L) renforce la corrosion galvanique en présence de chlorures. Son usage peut être envisagé dans des procédés peu sensibles, à condition de recourir à des traitements anticorrosion et antitartre.

Enfin, les eaux de contre-lavage ne sont pas adaptées en l’état : leur salinité et leur charge organique élevées induisent à la fois un risque d’entartrage, de corrosion et de bio-encrassement, ce qui impose un traitement avancé avant toute réutilisation.

2.2.4.3. Usage industriel

Le tableau 9 compare les résultats analytiques des eaux de piscines aux critères de qualité couramment utilisés dans les usages industriels (refroidissement, lavage, procédés). Les paramètres retenus sont la charge organique (TOC), la salinité (chlorures, sulfates, sodium) et la dureté, facteurs clés de corrosion, d’entartrage et de bio-encrassement.

Tableau 10. Comparaison des eaux de piscines avec les critères industriels

Paramètre	Bassin sportif	Bassin ludique	Pataugeoire	Contre-lavage	Normes / pratiques (US EPA 2012, industries)
TOC (mg/L)	<3 faible	6,6–19 élevé	6,6 modéré	>10 élevé	<5 pour limiter bio-encrassement
Cl^- (mg/L)	~210 corrosion	~270 forte corrosion	~230 corrosion	>250 inadapté	>200 : corrosion aciers & cuivre
Dureté (mg/L $CaCO_3$)	120–130 entartrage	120–135 entartrage	136 entartrage	>140 entartrage marqué	<150 recommandé pour tours de refroidissement
SO_4^{2-} (mg/L)	180 tolérable	190 tolérable	253 corrosif	>250 corrosion accrue	<250 recommandé
NO_3^-, PO_4^{3-}	Non contraignants	Non contraignants	Non contraignants	Non contraignants	Pas de limite stricte industrielle

L’eau du bassin sportif est la plus adaptée aux usages industriels. Son TOC inférieur à 3 mg/L réduit le risque de bio-encrassement, et sa dureté modérée (120–130 mg/L $CaCO_3$) est

maîtrisable par des traitements classiques. La teneur en chlorures (~210 mg/L), bien que préoccupante pour les matériaux métalliques, peut être compensée par l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion.

L'eau du bassin ludique présente un TOC élevé qui favorise le développement de biofilms et une salinité élevée qui accentue les phénomènes de corrosion. Elle ne peut être utilisée qu'après un traitement de réduction de la matière organique et des sels dissous.

L'eau de la pataugeoire, avec un TOC modéré (~6,6 mg/L), présente un risque plus limité de bio-encrassement, mais sa teneur en sulfates (253 mg/L) renforce la corrosion galvanique en présence de chlorures. Son usage peut être envisagé dans des procédés peu sensibles, à condition de recourir à des traitements anticorrosion et antitartre.

Enfin, les eaux de contre-lavage ne sont pas adaptées en l'état : leur salinité et leur charge organique élevées induisent à la fois un risque d'entartrage, de corrosion et de bio-encrassement, ce qui impose un traitement avancé avant toute réutilisation.

2.2.4.4. Conclusion partielle

La campagne d'analyses a montré que la qualité des eaux varie fortement selon le type de bassin. L'eau du bassin sportif apparaît la plus adaptée à une réutilisation agricole et industrielle, tandis que les eaux des bassins ludique, pataugeoire et de contre-lavage présentent des contraintes liées à la salinité et à la charge organique. L'analyse comparative avec les normes de REUSE (UE 2020/741, OMS 2006, ISO 16075) confirme que certains flux nécessitent un traitement préalable. Ces résultats ouvrent la voie à la prochaine étape de l'étude : tester des méthodes permettant de réduire la matière organique et les ions afin d'améliorer la compatibilité de ces eaux avec les usages agricoles et industriels.

2.2.5. Tests de procédés de traitement des effluents

Afin de tester la faisabilité du traitement et de la valorisation des eaux de piscine, un prélèvement représentatif a été réalisé sur le bassin ludique extérieur, choisi en raison de sa facilité d'accès pour les opérations d'échantillonnage. Un volume d'environ 1 m^3 d'eau a été pompé directement depuis le bassin à l'aide d'une pompe, puis transféré dans une citerne montée sur camion.

2.2.5.1. Prétraitement

Avant d'être soumis au procédé membranaire, le volume collecté est soumis à un prétraitement (Figure 30) destiné à protéger les membranes et à éliminer les particules grossières. Cette étape consiste en une filtration sur cartouche de 25 µm, permettant de retenir les matières en suspension et les particules de grande taille. L'eau prétraitée est ensuite transférée vers un réservoir tampon servant d'alimentation pour l'unité membranaire.

Figure 30 : Filtre à cartouche

2.2.5.2. Traitement membranaire par Ultrafiltration

Le traitement principal est réalisé par ultrafiltration (UF) (Figure 31). Ce procédé repose sur l'utilisation de membranes polymériques dont la taille de coupure se situe généralement entre 0,01 et 0,1 µm. Il permet une rétention efficace des matières en suspension, des colloïdes, des micro-organismes (bactéries, protozoaires) et d'une partie de la matière organique dissoute, tout en laissant passer les sels minéraux dissous. L'eau filtrée est recueillie dans un second réservoir de stockage pour être caractérisée et comparée à l'eau brute initiale.

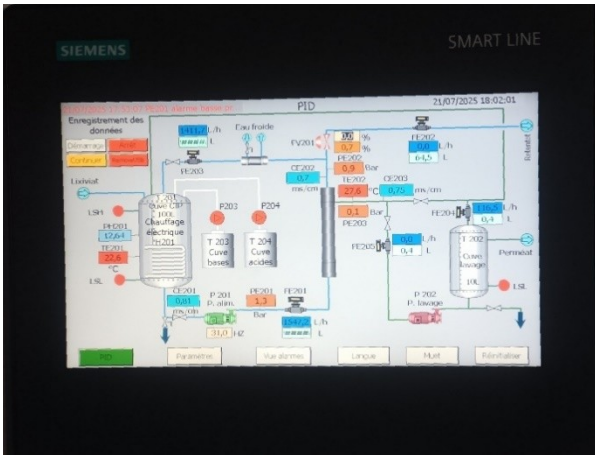


Figure 31 : Ecran d'affichage de l'unité d'Ultrafiltration

Cette configuration expérimentale a permis de disposer de deux flux distincts :

- Le perméat, correspondant à l'eau traitée par ultrafiltration, destinée à l'analyse de la qualité finale et au potentiel de réutilisation.
- Le concentrat, correspondant à la fraction retenue par la membrane, enrichie en polluants et matières organiques.

2.2.5.3. Caractérisation physico-chimique et organique des eaux traitées

Afin de comprendre l'effet des prétraitements mécaniques (filtration sur cartouche) et membranaires (ultrafiltration) sur la qualité de l'eau, il est nécessaire de caractériser la composition physico-chimique et organique des eaux du centre aquatique à différentes étapes de traitement (Figure 32).

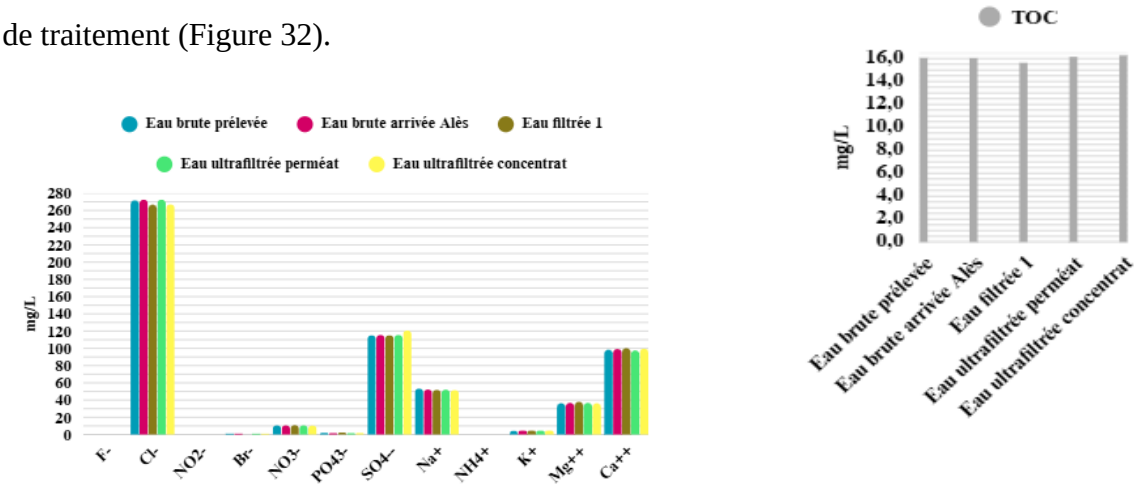


Figure 32 : Résultats de la chromatographie ionique et de TOC mètre de l'eau dans les phases de traitement

a. Comparaison de l'eau brute et filtration préliminaire

Les résultats montrent une bonne cohérence entre l'eau brute prélevée sur site et l'eau brute arrivée à Alès, avec des écarts très faibles pour l'ensemble des ions mesurés et le TOC (16,053 → 16,040 mg/L). Cela confirme que le transport et le stockage n'ont pas modifié la composition chimique. La filtration sur cartouche de 25 µm entraîne une légère diminution du TOC (15,630 mg/L), reflétant l'élimination des particules organiques en suspension. Les concentrations ioniques restent pratiquement inchangées, comme attendu pour une filtration mécanique grossière.

b. Effet de l'ultrafiltration (UF)

L'UF permet de clarifier l'eau en éliminant les colloïdes et les matières en suspension, tout en laissant passer la plupart des ions dissous. Le perméat ultrafiltré présente un TOC légèrement supérieur (16,146 mg/L) à l'eau filtrée. Le concentrat montre un enrichissement des ions comme les sulfates et des valeurs légèrement plus élevées de TOC (16,272 mg/L), résultat attendu de la polarisation de concentration au niveau de la membrane. Les variations du TOC restent très faibles dans l'eau en entrée, l'eau filtrée, le perméat et le concentrat, montrant que la majeure partie du COT se présente sous forme de substances dissoutes pour lesquelles le traitement n'a pratiquement pas d'impact.

C. Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux passantes par la filtration et l'ultrafiltration

- Les chlorures (270 mg/L) et le sodium (52 mg/L) restent stables et représentent la principale contribution à la conductivité.
- Les sulfates (115-121 mg/L) augmentent légèrement dans le concentrat, ce qui peut favoriser l'entartrage.
- Les nitrates (11 mg/L) restent stables et les nitrites et ammonium sont absents, confirmant une bonne oxydation de l'azote.
- Les phosphates (2 mg/L) reflètent les apports chimiques de traitement et peuvent être un facteur de prolifération biologique.
- Les bromures (1-1,4 mg/L) restent faibles mais doivent être surveillés pour limiter les sous-produits bromés lors de la désinfection.

- Le TOC reste globalement stable autour de 16 mg/L, indiquant que la majorité de la matière organique est dissoute et que l'UF ne réduit pas significativement ce paramètre.

La charge relativement élevée des eaux de piscine en chlore rend difficile l'application directe d'un traitement par osmose inverse (OI). En effet, cette charge peut provoquer un décrochage des parois de membrane, entraînant un colmatage prématuré et une détérioration de la performance du module. Les essais d'OI ne semblent donc pas pertinents.

2.2.4.4. Conclusion partielle

La charge en chlore élevée des eaux du centre aquatique limite l'usage direct de l'osmose inverse, traitement avancé, qui risque d'endommager les membranes. Par rapport une eau brute, la filtration et l'ultrafiltration ne semblent pas avoir un gain significatif en termes d'amélioration de la qualité des eaux. L'UF peut en assurer la sécurité sanitaire. Pour réduire davantage le TOC ou certains ions, des traitements complémentaires seraient nécessaires. Ces résultats préparent la prochaine étape : identifier les bénéficiaires potentiels et estimer leurs besoins en eau pour envisager la réutilisation.

2.2.6. Test de vieillissement

Des tests de vieillissement ont été effectués jusqu'à 90 jours pour l'eau d'entrée de filtre à sable 1 et 2 et l'eau de contre lavage. Les résultats concernant l'eau d'entrée FAS 1 montrent une eau de qualité stable sur 90 jours, et à différentes conditions de conservation : lumière diurne et T ambiante, obscurité et T ambiante, obscurité et T4°C.

Tableau 10. Test de vieillissement sur eau d'entrée FAS1

Eau Entrée FAS 1	t=0	t=45 jours	t=90 jours
Conductivité			
Lumière diurne et T ambiante	923	929	928
Obscurité et T ambiante	923	927	932

Obscurité et T4°C	923	886	903
pH			
Lumière diurne et T ambiante	7,36	7,19	7,26
Obscurité et T ambiante	7,36	7,1	7,31
Obscurité et T4°C	7,36	7,08	7,57
Carbone organique total			
Lumière diurne et T ambiante	2,7	2,0	2,2
Obscurité et T ambiante	2,7	2,0	1,4
Obscurité et T4°C	2,7	3,3	1,5
Coliformes			
Lumière diurne et T ambiante	<1	<1	<1
Obscurité et T ambiante	<1	<1	<1
Obscurité et T4°C	<1	<1	<1
E Coli			
Lumière diurne et T ambiante	<1	<1	<1
Obscurité et T ambiante	<1	<1	<1
Obscurité et T4°C	<1	<1	<1

La conductivité reste stable, montrant l'absence d'un phénomène de minéralisation de la matière organique par des microorganismes. Le carbone organique semble diminuer légèrement à t=90 jours. Sur l'échantillon exposé à la lumière, on constate l'apparition à 90 jours d'un léger dépôt algal. Les résultats sur les ions majeurs, non présentés, ne montrent pas de différence significative en fonction des conditions de conservation et sont stables dans la durée. Enfin, les résultats des deux autres échantillons (eau d'entrée FAS2 et eau de contre lavage), non présentés, sont incomplets mais semblent partager cette même stabilité, à la fois à condition de conservation différente et sur la durée.

Ces premiers tests semblent montrer que les eaux de piscine sont stables dans la durée, et à différentes conditions de conservation. Ces tests devraient être confirmés, mais semblent indiquer que ces eaux semblent pouvoir être stockées plusieurs mois avant utilisation.

2.2.7. Analyse de cycle de vie

2.2.6.1. Objectif

L'objectif de cette analyse est de savoir si les eaux usées du centre aquatique, une fois traitées, peuvent constituer une ressource utile à l'échelle locale, notamment pour des usages non domestiques. L'approche adoptée vise à combiner des données techniques, économiques et spatiales pour identifier les bénéficiaires potentiels et évaluer leurs besoins en eau.

2.2.6.2. L'approche d'estimation des besoins en eau

L'analyse de cycle de vie est réalisée en suivant une série d'étapes méthodologiques visant à relier la disponibilité locale en eaux usées du centre aquatique aux besoins potentiels en eau des acteurs économiques du territoire.

a. Spatialisation des activités économiques

Après l'identification du centre aquatique comme site source et la finalisation de la base de données intégrant les consommations d'électricité des entreprises en fonction de leur activité économique, une représentation cartographique a été réalisée sous QGIS.

Cette carte (Figure 33) met en évidence la localisation des zones d'activités économiques par rapport au centre aquatique. Elle permet d'évaluer la proximité géographique des bénéficiaires potentiels, de comparer les dynamiques d'activités entre secteurs industriels, commerciaux ou de services, et ainsi de faciliter la planification logistique d'un éventuel transfert d'eau.

Figure 33 : Carte d'emplacement du centre aquatique par rapport aux bénéficiaires potentiels

b. Utilisation des bases de données ACV A REVOIR

Les facteurs d'inventaire issus de EcoInvent et de la base de données américaine US EEIO de 2013 du territoire américain, sont mobilisés afin d'établir une corrélation entre consommation d'énergie et besoins en eau (Fresh + saline). La base Agrybalyse a aussi été mobilisée. Cette étape s'inscrit dans une approche d'ACV territorialisée, où les flux énergétiques sont utilisés comme proxy pour quantifier les flux hydriques associés.

c. Estimation des besoins en eau des entreprises

Pour estimer les besoins en eau des entreprises locales, une approche standardisée a été appliquée, basée sur une relation entre la consommation d'électricité et la consommation d'eau (en distinguant eau douce et eau salée).

Les données de consommation électrique 2023, fournies par Enedis, ont servi de base. Ces données de consommation ont permis d'en déduire l'eau consommée. Les coefficients de référence (USEEIO, 2013) ont été ajustés en euros constants 2023 à l'aide des taux d'inflation.

Cette méthode permet de relier indirectement l'intensité énergétique des activités à leurs besoins hydriques, et donc d'obtenir une première approximation des volumes consommés par secteur d'activité.

2.2.6.3. Analyse des résultats et critique des chiffres

L’inventaire réalisé permet d’obtenir une première estimation des besoins en eau de quelques différentes entreprises et organismes. Ces valeurs, issues d’une modélisation et de calculs indirects, doivent toutefois être considérées avec précaution car elles n’ont pas été validées par les structures elles-mêmes.

Le tableau 10 présente quelques résultats, afin d’apprécier les limites de la méthode. Les entreprises privées ont été anonymisées.

Tableau 11 : les secteurs d’activités selon leurs besoins en eau

Entreprise	Code NAF		Procédés ACV possibles	Volume annuel (m^3)	Usage principal	Réutilisation possible
1	Fabrication de machines diverses d’usage général (28.29Y)	Fabrication d’équipements pour production d’eau industrielle	ion-exchanger for water treatment | APOS, U (EcoInvent) ultrafiltration module production, hollow fiber APOS, U (EcoInvent) seawater reverse osmosis module | APOS, U (EcoInvent)	0 (pas de consommation d’électricité directe) 0 (considère uniquement l’assemblage final) 0,127 m^3	Eaux sanitaires et techniques	Partielle, usage technique seulement
2	Commerce de gros d’autre matériel électrique (46.64G)	Commerce de gros en électricité et plomberie	Other retail (US EE IO) Household appliances and electrical and electronic goods (US EE IO)	0 (Pas de consommation d’eau recensée) 203 m^3	Eaux sanitaires et techniques	Partielle, usage technique seulement
3	Culture de céréales, à l’exception du riz, de légumineuses et de graines oléagineuses (01.11Y)	Vinification	Wineries and wine (US EE IO)	9 732 m^3	Vinification, sanitaire et techniques	Partielle, usage technique seulement
4	Fabrication	Fabrication du	Bread, French	66 m3 (eau	Fabrication du pain	Usage alimentaire

	de pain et d'autres produits de boulangerie-pâtisserie associée à leur vente au détail (10.71H)	pain et viennoisieries	bread, baguette, recipe, at plant {FR} U (AgriBalyse) Bread and other baked goods (US EE IO)	seulement utilisée pour la fabrication du pain) 5 944 m3	et viennoiseries, sanitaire et techniques	direct impossible, partielle pour usage technique
5		Atelier de réparation pour poids lourds à Clermont-l'Hérault	maintenance, lorry 16 metric ton | APOS, U (EcoInvent)	0 (eau non inventoriée)	Nettoyage véhicules, ateliers	Partielle, usage technique
Station d'épuration				5 800	Dilution, lavage	Partielle, selon traitement
6		Magasin d'électroménager à Clermont-l'Hérault	Household appliances and electrical and electronic goods (US EE IO)	2991	Nettoyage de surface, sanitaires	Partielle, usage technique
7		Restauration rapide	Limited-service restaurants (US EE IO)	438	Nettoyage, sanitaires, restaurant	Partielle, usage technique
8		Magasin d'électroménager à Clermont-l'Hérault	Household appliances and electrical and electronic goods (US EE IO)	266	Nettoyage, maintenance	Totalement réalisable
9		Grande surface	Household appliances and electrical and electronic goods (US EE IO)	18 (la consommation électrique semble être erronée)		Partielle, usage technique
10		Grande surface	Household appliances and electrical and electronic goods (US EE IO)	65		Partielle, usage technique

11		Grande surface	General merchandise stores (US EE IO)	116	Nettoyage de surface, sanitaires	Partielle, usage technique
12		Grande surface	General merchandise stores (US EE IO)	32		Partielle, usage technique
13		Grande surface	General merchandise stores (US EE IO)	24	Nettoyage de surface, sanitaires	Partielle, usage technique

La base Agribalyse, dédiée aux produits agroalimentaires, ne semble tenir compte que de l'eau nécessaire à la fabrication du pain. La base américaine donne une consommation en eau beaucoup plus importante.

Les procédés issus de la base EcoInvent semblent souvent négliger les consommations d'eau. La base US EE IO semble ainsi plus complète.

Ces résultats doivent être consolidés. Certaines entreprises apparaissent avec des consommations nulles ou extrêmement faibles, parfois limitées à quelques litres par an, ce qui traduit un manque de précision. De plus, l'hétérogénéité importante des volumes, , souligne la nécessité de valider les résultats au cas par cas. Les besoins réels en eau varient également en fonction des usages spécifiques (process industriels, nettoyage, irrigation, usages sanitaires, etc.), qui déterminent à leur tour la qualité d'eau requise. Ainsi, une confirmation directe auprès des entreprises concernées est indispensable pour affiner ces estimations et évaluer la faisabilité technique, réglementaire et économique d'un éventuel transfert d'eau.

Au-delà de ces usages, les entretiens semi-directifs ont permis d'identifier d'autres besoins potentiels : l'irrigation du stade municipal situé à proximité immédiate, l'alimentation en eau pour la défense incendie, ainsi que les opérations d'hydrocurage. Ces usages, bien que ponctuels ou saisonniers, pourraient constituer des leviers supplémentaires de valorisation, à condition de s'assurer de leur compatibilité avec les volumes disponibles et les exigences de qualité associées.

2.2.6.4. Conclusion partielle

En somme, l'inventaire des volumes, la caractérisation et les essais de traitement des eaux, ainsi que l'estimation des besoins locaux, constituent une base essentielle qui sera mobilisée

lors de l’atelier participatif du 8 septembre pour co-construire les stratégies de valorisation avec les parties prenantes du territoire.

5. Conclusion

5.1. Bilan du projet et synthèse des résultats

La mission menée sur le centre aquatique du Clermontais a pour objectif principal d’évaluer le potentiel de réutilisation des eaux issues des différents flux du centre aquatique, en adoptant une approche technique, collaborative et innovante. L'organisation de la mission a considéré les contraintes associées aux accès aux bassins, aux emplois du temps des utilisateurs, ainsi qu'aux phases de vacances d'été qui ont freiné le progrès des entretiens semi-structurés et restreint temporairement la collecte de données qualitatives.

Le projet est organisé en différentes phases qui se complètent.

La première étape implique l'analyse quantitative et qualitative des effluents. L'estimation quantitative est effectuée grâce à des calculs basés sur l'activité du centre et la gestion des divers flux d'eau, ce qui permet d'évaluer la consommation totale à environ 11 000 m^3/an, distribuée entre le renouvellement des eaux des bassins, les douches, les vidanges et les contre-lavages.

La dimension qualitative est assurée par trois campagnes, englobant tous les flux significatifs, garantissent l'aspect qualitatif en procédant à des analyses physico-chimiques et microbiologiques. Ces études démontrent que les rejets de contre-lavage contiennent les plus hauts niveaux d'ions et de matières organiques, que l'eau des bassins est modérément chargée, et que l'eau potable présente une très faible présence de contaminants, sans aucune détection de contamination fécale directe.

Les essais de traitement pilote permettent de tester la filtration sur cartouche et l’ultrafiltration, qui montrent leur efficacité pour retenir les matières en suspension et les colloïdes tout en laissant passer la majorité des ions dissous. Ces essais confirment que la charge en chlore limite l’usage direct de l’osmose inverse et que des traitements complémentaires seraient nécessaires pour réduire certaines fractions de matière organique ou d’ions spécifiques.

L'inclusion de l'analyse du cycle de vie (ACV) introduit un aspect innovant à l'étude en facilitant le lien entre la disponibilité des volumes d'eau et les demandes éventuelles des

intervenants économiques locaux. Nous avons réparti les entreprises en trois catégories : les grandes consommatrices, les consommatrices de taille intermédiaire et les petites consommatrices. Les résultats indiquent que les petits consommateurs pourraient être entièrement approvisionnés, les intermédiaires bénéficier partiellement de l'eau réutilisée et que pour les très gros consommateurs, l'apport resterait limité. La validation de ces résultats auprès des entreprises est néanmoins nécessaire pour fiabiliser les volumes réutilisables.

Le diagnostic participatif, bien que ralenti par les congés, a permis de recueillir des informations essentielles sur les usages potentiels, la perception locale de la réutilisation des eaux et les conditions de faisabilité technique, sanitaire et réglementaire. Les applications reconnues comprennent l'irrigation, le nettoyage, la lutte contre les incendies et diverses utilisations industrielles.

En conclusion, le bilan du projet montre que les objectifs initiaux ont été réalisés : l'intégration des méthodologies quantitative, qualitative, participative et novatrice a permis d'établir une vision globale et cohérente du potentiel de réutilisation des eaux du centre aquatique.

Les prochaines étapes consistent à valider les résultats de l'ACV.et à co-construire des scénarios opérationnels à travers un atelier participatif réunissant l'ensemble des acteurs concernés, afin de transformer la ressource disponible en solutions concrètes et adaptées aux besoins locaux.

3.2. Suite à donner au projet et perspectives

L'avancement du projet devrait faciliter la transition de l'étape d'étude à une phase opérationnelle, en se basant sur les résultats obtenus et sur l'intérêt exprimé par les acteurs du territoire. Les principales suites à envisager concernent la validation des résultats de l'ACV et l'organisation d'un atelier participatif réunissant les collectivités, les entreprises et les acteurs agricoles ou industriels. Cet atelier aura pour objectif de co-construire des scénarios adéquats de réutilisation des eaux du centre aquatique, tout en respectant les contraintes techniques, sanitaires et réglementaires.

Pour la mise en œuvre de ces actions, plusieurs moyens sont à mobiliser. Il est recommandé de désigner un porteur de projet chargé de coordonner les actions et de suivre l'avancement des expérimentations. La création de sites pilotes permettra de tester différents scénarios de traitement et de distribution de l'eau réutilisée, tout en assurant le suivi de la qualité et la sécurité sanitaire. Une équipe pluridisciplinaire sera nécessaire pour assurer la supervision technique des essais, l'animation des ateliers participatifs et le suivi des indicateurs environnementaux et sanitaires. Enfin, le financement pourra être assuré par des subventions dédiées à l'eau, complétées par des partenariats publics-privés, des fonds européens destinés à l'innovation environnementale, des dispositifs régionaux d'appels à projets pour la transition

écologique et des mécanismes de co-financement impliquant collectivités et acteurs économiques locaux, permettant ainsi de mobiliser des ressources diversifiées pour soutenir la poursuite et l'extension du projet.

La vision stratégique du projet est de ne pas s'arrêter à la phase étude : l'eau est disponible et la demande a été identifiée, mais il reste à créer le raccordement physique et logistique entre le centre aquatique et les bénéficiaires pour transformer la ressource en solution concrète et réutilisable localement.

BILAN PERSONNEL DE VOTRE PROJET PROFESSIONNEL

Au cours de ma contribution au projet, j'ai pu mobiliser et développer un ensemble de compétences techniques, méthodologiques et relationnelles. Cette expérience m'a permis d'appréhender concrètement les enjeux liés à la gestion des ressources en eau à l'échelle territoriale, tout en intégrant des aspects innovants comme l'analyse de cycle de vie (ACV) et le diagnostic participatif. Le présent chapitre a pour objectif de capitaliser les savoirs, savoir-faire et savoir-être acquis, d'évaluer les contributions apportées au projet et au territoire, et de situer cette expérience dans le cadre de mon projet professionnel.

1. Contribution à la construction de mon projet professionnel

Cette mission m'a offert une immersion concrète dans le domaine de la gestion intégrée de la ressource en eau et m'a permis de confirmer mon intérêt pour les projets territoriaux et les solutions innovantes de réutilisation d'eaux non conventionnelles. Travailler à l'articulation entre aspects techniques, réglementaires et socio-économiques m'a donné une vision globale du processus de valorisation des ressources hydriques, depuis l'identification et la caractérisation des effluents jusqu'à l'étude de la faisabilité de leur réutilisation.

Au-delà de ces acquis, cette expérience s'inscrit pleinement dans la construction de mon projet professionnel : intégrer mon profil en hydraulique avec l'approche de l'économie **circulaire**, afin de contribuer à des projets de transition écologique et de gestion durable des ressources naturelles, avec un accent particulier sur la préservation et la valorisation des ressources en eau. La possibilité de croiser les données techniques avec l'analyse territoriale et la participation des parties prenantes a été particulièrement enrichissante et formative, renforçant mon ambition de devenir un ingénieur capable de proposer des solutions innovantes, durables et adaptées aux territoires.

2. Développement des compétences

Au cours de cette mission, j'ai eu l'opportunité de consolider et d'élargir mes compétences dans le domaine de la gestion intégrée de la ressource en eau. Cette expérience m'a permis de renforcer à la fois mes connaissances scientifiques, mes savoir-faire techniques et mes aptitudes relationnelles et organisationnelles.

Sur le plan des savoirs, j'ai approfondi ma maîtrise des réglementations relatives à la qualité de l'eau et à la réutilisation des eaux non conventionnelles, en particulier dans le cadre du contexte français marqué par une évolution récente des textes. J'ai également consolidé mes connaissances sur les procédés de traitement membranaire, tels que la filtration sur cartouche, l'ultrafiltration et l'osmose inverse, que j'ai pu mobiliser lors des tests menés sur les effluents du centre aquatique. Par ailleurs, l'utilisation de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) comme outil d'évaluation territoriale m'a permis de développer une vision intégrée des besoins et des potentiels de réutilisation. Enfin, la compréhension des méthodes d'analyse physico-chimique et microbiologique en laboratoire m'a offert la possibilité de caractériser finement la qualité des effluents et d'enrichir le diagnostic global du site.

En termes de savoir-faire, j'ai acquis une solide expérience dans la planification et la réalisation de campagnes de prélèvements sur le terrain, en assurant à la fois la logistique et le respect strict des protocoles d'échantillonnage. La réalisation et l'interprétation des analyses de laboratoire m'ont permis d'évaluer de manière critique la qualité de l'eau et l'efficacité des traitements membranaires. J'ai également conçu et actualisé des inventaires détaillés des flux et consommations d'eau, constituant un socle de données essentiel pour la réflexion sur les scénarios de réutilisation. Ces inventaires ont été complétés par l'analyse croisée de données quantitatives (consommations, volumes rejetés) et qualitatives (entretiens avec les acteurs, diagnostic participatif), contribuant à une approche globale et contextualisée. La préparation

et l’animation d’ateliers participatifs m’ont aussi permis de favoriser la co-construction de scénarios adaptés, en associant directement les parties prenantes du territoire. Enfin, j’ai développé des supports cartographiques et méthodologiques destinés à représenter les flux d’eau et les besoins locaux de manière claire et exploitable.

Sur le plan des savoir-être, cette mission m’a permis de progresser dans le travail en équipe pluridisciplinaire et dans la communication avec des interlocuteurs variés, allant des collectivités locales aux acteurs agricoles et industriels. J’ai pu mettre en pratique mes compétences en gestion de projet, notamment à travers la planification des différentes étapes et l’adaptation aux contraintes rencontrées, comme les ralentissements liés aux congés d’été. Cette expérience a également renforcé ma rigueur scientifique et mon esprit critique, indispensables pour interpréter les résultats, formuler des recommandations et proposer des solutions concrètes. Enfin, j’ai appris à intégrer pleinement l’innovation et la participation des acteurs locaux dans la démarche, afin de garantir la pertinence technique et l’acceptabilité sociale des scénarios étudiés.

Ainsi, ce stage a constitué une véritable occasion d’acquérir et de mettre en pratique un ensemble de compétences transversales, combinant expertise technique, approche territoriale et capacité de dialogue avec les acteurs, compétences essentielles pour mon projet professionnel dans la gestion durable des ressources en eau.

3. Apport pour le projet et pour le territoire

La mission a permis d’apporter des contributions concrètes et directement utiles tant pour le centre aquatique que pour les acteurs du territoire. Tout d’abord, elle a abouti à une évaluation précise des flux d’eau et de leur qualité, constituant une base solide pour envisager des scénarios réalistes de réutilisation. Cette caractérisation a été complétée par une approche intégrée combinant analyse quantitative des consommations, analyses physico-chimiques et microbiologiques en laboratoire, tests pilotes de procédés de traitement et recours à une ACV territorialisée.

Par ailleurs, le travail réalisé a permis d’identifier les besoins des différents usagers potentiels ainsi que les conditions techniques, sanitaires et organisationnelles nécessaires pour valoriser les eaux issues du centre aquatique. Ces résultats fournissent non seulement des éléments concrets pour le projet en cours, mais ouvrent également la voie à une réflexion plus large sur la réutilisation d’eaux non conventionnelles dans d’autres contextes territoriaux.

Enfin, les supports méthodologiques et cartographiques élaborés dans le cadre de la mission offrent des outils réutilisables pour de futurs projets de gestion de l'eau. Ils permettent aux décideurs locaux et aux partenaires techniques de disposer d'un cadre structuré, facilitant le passage de l'étude de faisabilité à la mise en œuvre opérationnelle de solutions de réutilisation.

Ainsi, ce stage n'a pas seulement contribué à enrichir la connaissance scientifique et technique du centre aquatique, mais il a également renforcé la capacité des acteurs du territoire à s'engager concrètement dans une gestion plus durable et circulaire de la ressource en eau.

4. Points à améliorer et axes de progression

Cette mission a également mis en évidence certains points à améliorer et ouvert des pistes de progression pour la suite du projet. Tout d'abord, l'approche par Analyse de Cycle de Vie (ACV) gagnerait à être approfondie et validée davantage par confrontation avec des données réelles de consommation des entreprises et des acteurs locaux. Cela permettrait de renforcer la robustesse des scénarios étudiés et d'affiner leur pertinence territoriale.

Un autre axe de progression concerne la dimension opérationnelle du projet. Si la faisabilité technique a été étudiée et que des scénarios ont été proposés, la coordination logistique et les modalités concrètes de raccordement entre le centre aquatique et les bénéficiaires potentiels devront être développées. Cette étape est essentielle pour assurer la transition entre l'étude exploratoire et la mise en œuvre effective.

Enfin, la conduite d'ateliers participatifs a montré l'importance de l'adhésion et de l'implication des parties prenantes. Le renforcement de mes compétences en animation collective et en gestion de projets multi-acteurs constitue donc une piste de développement personnel et professionnel, afin de faciliter la co-construction de solutions innovantes et d'accompagner au mieux la dynamique territoriale.

En résumé, ces axes de progression ouvrent des perspectives pour consolider les résultats obtenus, renforcer la crédibilité des scénarios de réutilisation et soutenir leur mise en œuvre dans une logique d'innovation et de transition écologique.

Bibliographie

- AFNOR (2017). Qualité de l’eau – Méthodes d’analyse physico-chimiques et microbiologiques.
- Ahmad, N. N. R., Ang, W. L., Teow, Y. H., Mohammad, A. W., & Hilal, N. (2022). Nanofiltration membrane processes for water recycling, reuse and product recovery

within various industries : A review. Journal of Water Process Engineering, 45, 102478.

- ANSES (2022). Avis sur les trihalométhanes dans les eaux de baignade.
- Cerutti, J. (2023). Valoriser les connaissances issues des expériences vécues pour recommander des actions de protection des sources d'eau potable : application du raisonnement à base de cas.
- CSTB (2021). Réutilisation des eaux de vidange de piscine : cadre réglementaire et perspectives de valorisation.
- Feng, Y., Yang, L., Liu, J., et al. (2016). Electrochemical technologies for wastewater treatment and resource reclamation. Environmental Science: Water Research & Technology, 2(5), 800–831.
- France Info, 2025, page Internet, https://www.franceinfo.fr/environnement/crise-climatique/reportage-ca-nous-faisait-mal-au-c-ur-de-perdre-toute-cette-eau-a-istres-les-trottoirs-sont-nettoyes-grace-a-la-vidange-de-la-piscine-municipale_7382224.html?utm_source=firefox-newtab-fr-fr. Consulté le 19/08/2025
- IPCC (2022). Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Journal Officiel de la République Française, Arrêté du 26 mai 2021 relatif aux limites et contrôle sanitaire des eaux de piscine
- Journal Officiel de la République Française, Arrêté du 26 mai 2021 relatif aux limites et références de qualité des eaux de piscine
- Journal Officiel de la République Française, Décret n°2021-656 du 26 mai 2021
- L'Echo du mardi, 2025, Page Internet, https://www.echodumardi.com/dossier/wave-island-cette-annee-linvestissement-est-tourne-vers-la-sobriete/. Consulté le 19/08/2025
- Ministère de la Transition écologique. (2023). Eau : comment gérer la crise qui s'annonce.
- Parada, M. P., et al. (2023). Resource recovery from desalination, the case of small islands. Resources, Conservation and Recycling, 199, 107287.

- Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.-P., Chenu C., Colnenne David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., GarciaLaunay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.-H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous 48 S., Samson E., Savini I., Pardon L. (2014). Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?
- Ramm, K., & Smol, M. (2023). Water Reuse—Analysis of the Possibility of Using Reclaimed Water Depending on the Quality Class in the European Countries. Sustainability, 15(17), 12781.
- Santé Publique France (2023). Guide qualité de l'eau des piscines.
- Sijimol, M. R., & Joseph, S. (2021). Constructed wetland systems for greywater treatment and reuse: A review. International Journal of Energy and Water Resources, 5(3), 357–369.

Annexe

Annexe 1 : La consommation annuelle du centre aquatique en fonction de la fréquentation et les usages

CENTRE AQUATIQUE DU CLERMONTAIS																
Mois/Année	**Saison**	**FREQUENTATION GLOBALE 2023 et 2024**		**Qantité mensuelle d'eau renouvellée**		**Qantité d'eau renouvellée par saison (L)**		**Quantité d'eau perdu au contre lavage des filtre à sable (L)**	**Quantité d'eau des douches (L)**		**Quantité d'eau des douches (L)**		**Quantité perdues au vidange (L)**	**Consommation annuelle totale**		**Les bassins**
		2023	**2024**	2023	2024	**2023**	**2024**	2023 et 2024	**2023**	**2024**	**2023**	**2024**	2023 et 2024	**2023**	**2024**	
Décembre	Hiver	7 673	7 819	383 650	390 950	1 320 400	1 300 600	260000	309 969	319 349	1 066 812	1 062 399				2 bassins interieurs (sportif et ludique) et pataugeoire
Janvier		10 047	9 478	502 350	473 900				405 872	387 107						
Février		8 688	8 715	434 400	435 750				350 972	355 944						
Mars	Printemps	10 512	11 848	525 600	592 400	1 373 750	1 484 400		424 656	483 904	1 109 916	1 212 537				
Avril		8 806	9 137	440 300	456 850				355 739	373 179						
Mai		8 157	8 703	407 850	435 150				329 521	355 454						
Juin	Eté	9 474	8 291	473 700	414 550	1 530 000	1 548 500	114000	382 724	338 626	1 236 157	1 264 897				2 bassins interieurs (sportif et ludique), 1 exterieur (ludique) et pataugeoire
Juillet		10 076	10 726	503 800	536 300				407 043	438 078						
Août		11 050	11 953	552 500	597 650				446 390	488 192						
Septembre	Automne	5 298	3 933	264 900	196 650	1 211 250	1 148 550		214 025	160 634	978 625	938 197				2 bassins interieurs (sportif et ludique) et pataugeoire
Octobre		9 847	8 947	492 350	447 350				397 792	365 419						
Novembre		9 080	10 091	454 000	504 550				366 808	412 143						
TAL ANNUEL		108 708	109 641	5 435 400	5 482 050	5 435 400	5 482 050	404000	4 391 510	4 478 030	4 391 510	4 478 030	926 000	11 156 910	11 290 080	

	Moyenne	2023	2024
Eau de renouvellement	5 458 725	5 435 400	5 482 050
Eau de vidange	926 000	926 000	926 000
Eau de douche et toilettes	4 434 770	4 391 510	4 478 030
Eau de contre lavage	404000	404000	404000
Total annuel	11 223 495	11 156 910	11 290 080

Annexe 2 : Les résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques des 3 campagnes

		Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3	Compagne1	Compagne 2	Compagne3
Numéro	nom	conductivité			pH			F-			Cl-			NO2-			Br-			NO_3^-			PO_4^{3-}			SO_4^{--}			Na^+			Mg^{++}			NH_4^+			Ca^{++}			K^+			TOC			Coliformes		
1	Réseau eau potable	542	619		7,68	7,37		<LQ	<LQ		16,3	18,9		<LD	<LQ		<LQ	<LQ		4,9	3,3		<LQ	0,1		73,7	104,9		15,4	15,5		27,3	29,8		<LD	<LQ		79,4	83,1		1,8	1,9		0,99	2,081			0	
2	Eaubassin sportifEntrée FAS1	879	923		7,97	7,36		<LQ	<LQ		197,7	225,9		<LD	<LQ		1,74	1,95		10,5	10,9		<LQ	0,9		82,5	103,4		44,5	37,7		30,3	34,7		<LD	<LQ		80,3	88,8		3,8	3,6		2,63	2,674			0	
3	Eaubassin sportifSortie FAS1	972	924		8,02	7,35		<LQ	<LQ		229,1	225,7		<LD	<LQ		1,71	1,93		11,2	10,8		0,7	0,6		84,8	103,3		50,2	37,8		31,0	34,9		<LD	<LQ		84,3	92,0		4,0	3,5		3,00	2,359			0	
4	Eaubassin sportifContre LavageFAS1	1210	918		7,99	7,47		<LQ			313,9			<LD			2,36			14,2			0,8			94,9			96,2			32,3			<LD			88,4			4,5			3,31	10,893			0	
5	Eaubassin ludique Entrée FAS2	782	1038		7,8	7,34		<LQ	<LQ		173,8	260,7		<LD	<LQ		1,23	1,15		9,9	10,4		0,4	1,8		86,0	116,0		58,9	48,3		29,9	36,9		<LD	<LQ		86,3	96,3		3,0	4,3		2,58	15,464			12,2	
6	Eaubassin ludique SortieFAS2		1049			7,39			<LQ			266,0			<LQ			1,12			10,6			1,8			115,9			49,0			36,2			<LQ			96,6			4,4			15,741			0	
7	Eaubassin ludique Contre LavageFAS2	1226	1055		7,84	7,37		<LQ	<LQ		316,9	269,5		<LD	<LQ		2,24	1,17		14,4	10,7		1,1	2,0		95,4	116,0		96,9	53,6		32,5	36,9		<LD	<LQ		88,3	97,9		4,5	4,8		3,79	18,609			0	
8	Eaubassin ludique EntréeFAS3		1034			7,41			<LQ			257,4			<LQ			1,16			10,3			2,0			115,7			47,6			37,3			<LQ			98,5			4,3			14,635			15,8	
9	Eaubassin ludique SortieFAS3		1037			7,38			<LQ			258,7			<LQ			1,16			10,4			1,9			116,0			48,4			36,4			<LQ			97,0			4,4			14,926			3,1	
10	Eaubassin ludique Contre LavageFAS3		1034			7,32			<LQ			258,3			<LQ			1,12			10,3			1,8			115,4			49,8			36,8			<LQ			96,6			4,5			17,404			0	
11	Eau patauegoire EntréeFAS		1083			7,29			<LQ			210,0			<LQ			<LQ			13,8			1,3			252,8			27,1			47,7			<LQ			126,6			4,9			6,627			0	
12	Eaubrute prélevée			1046			7,27			<LQ			271,6			<LQ			1,40			10,9			2,1			115,3			53,5			36,3			<LQ			98,3			4,6			16,053			0
13	Eaubrute arrivée Alès			1035			7,12			<LQ			272,5			<LQ			1,38			10,9			1,9			115,7			52,3			36,7			<LQ			99,3			4,5			16,040			0
14	Eaufiltrée 1			1189			7,03			<LQ			266,7			<LQ			<LQ			11,1			2,4			115,3			52,0			37,9			<LQ			100,2			4,5			15,630			0
15	Eau ultrafiltrée perméat			1058			7,05			<LQ			272,5			<LQ			1,35			10,9			1,9			115,7			52,2			36,7			<LQ			97,5			4,4			16,146			0
16	Eau ultrafiltrée concentrat			1054			6,77			<LQ			267,2			<LQ			1,32			10,7			2,0			120,8			51,8			36,3			<LQ			99,8			4,5			16,272			0