



ZEUS

Zero liquid discharge
water reuse



Vers le zéro rejet liquide dans l'IAA - Enseignements du projet LIFE ZEUS

Livre enrichi - Année 2025



L'eau est au cœur de notre industrie et de notre avenir

Sans eau, pas de production industrielle, pas de sécurité sanitaire, pas de compétitivité durable. Pourtant cette ressource, longtemps considérée comme acquise, devient rare et stratégique. Sécheresses répétées, tensions locales sur les réseaux, exigences réglementaires plus strictes : l'industrie agroalimentaire se trouve aujourd'hui à la croisée des chemins. Il ne s'agit plus seulement de réduire ses consommations : il faut repenser la manière dont l'eau est utilisée, valorisée et protégée.

Le projet LIFE ZEUS a choisi d'innover plutôt que de subir

Dès l'origine, l'ambition a été claire : tendre vers un modèle de zéro rejet liquide (ZLD), où chaque flux est optimisé, où chaque goutte a de la valeur. La volonté étant de prouver que cette ambition n'est pas un idéal théorique, mais une réalité technique et économique accessible, même pour une industrie complexe et exigeante.

Pour atteindre cet objectif, **un consortium unique** a été réuni : un industriel pionnier, des centres techniques, un équipementier innovant et des institutions publiques engagées. Ensemble, nous avons testé des technologies de pointe (filtration membranaire basse pression, régénération des saumures, désinfection UV), mis en place des boucles de réutilisation adaptées aux besoins du site et validé **un cadre sanitaire et réglementaire sécurisé**.

Les résultats parlent d'eux-mêmes :

- ▲ **60 % de réduction de la consommation d'eau** sur le site pilote ;
- ▲ **100 % de réduction des rejets liquides**, limitant la pression sur les réseaux et le milieu naturel ;
- ▲ **Valorisation des coproduits** (sels, concentrats, digestats).

Au-delà des chiffres, le projet LIFE ZEUS a ouvert une nouvelle voie

Il a montré qu'avec une approche collective, une volonté d'innover et une méthodologie rigoureuse, l'industrie agroalimentaire peut réduire drastiquement son empreinte hydrique tout en améliorant sa résilience et sa compétitivité. Ce n'est pas seulement une performance environnementale : c'est un atout économique, un signal fort envoyé aux clients, aux consommateurs et aux territoires.

Ce livre enrichi est l'aboutissement de plusieurs années d'efforts. Il rassemble **les enseignements techniques, organisationnels et réglementaires** tirés des expérimentations. Il fournit **une feuille de route** pour tous ceux qui souhaitent s'engager à leur tour : industriels, bureaux d'études, collectivités, décideurs publics. Il ne se veut pas un document figé, mais **un outil d'inspiration et d'action**.

Chacun est invité à s'en saisir, à l'adapter à ses réalités et à contribuer à cette dynamique.

Parce que l'avenir de l'eau est une responsabilité partagée, et parce que chaque site, chaque territoire peut être un acteur de la transition vers un modèle plus circulaire, plus durable et plus compétitif, **le temps n'est plus à l'attente, mais à la mise en œuvre**.

Chiffres clés du projet LIFE ZEUS

-60 % de consommation d'eau

Optimisation des processus et boucles de réutilisation
Impact : moins de dépendance aux réseaux publics et plus de résilience en période de tension

-100 % de rejets liquides

Réutilisation interne et séparation des flux pollués
Impact : soulagement des infrastructures locales et empreinte hydrique réduite

38 t/an de NaCl récupérés

Régénération des saumures des adoucisseurs
Impact : économie de sel et réduction de la charge saline des effluents

400 t/an de coproduits valorisés

Filières agronomiques et énergétiques pour les concentrats organiques
Impact : moins de déchets ultimes et création de valeur locale

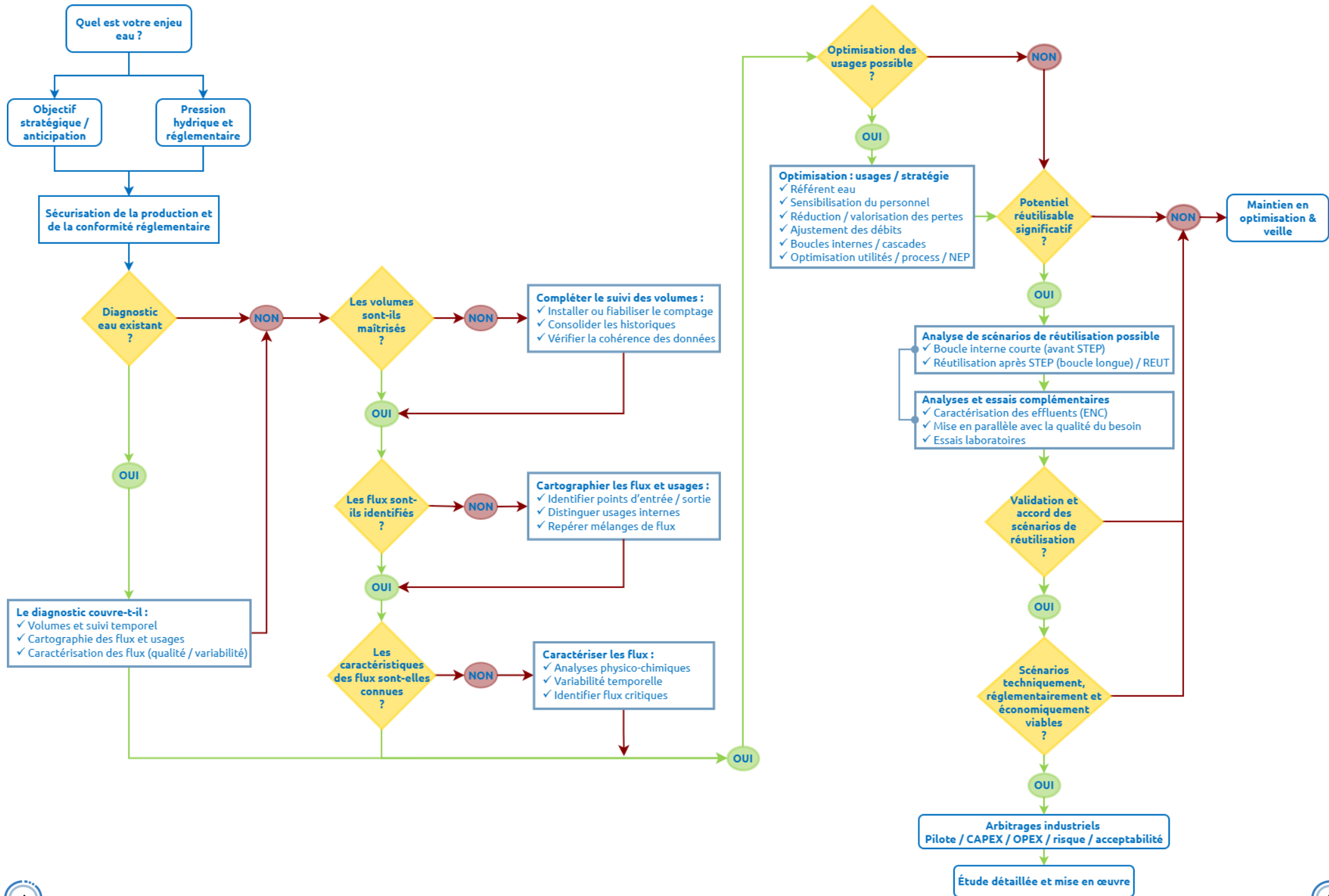
Retour sur investissement dépendant du contexte stratégique

Investissements plus rapidement amortis pour les sites à forte consommation
Impact : modèle économiquement viable et durable

+186 répliques prévus d'ici 5 ans

Déploiement prévu dans d'autres filières agroalimentaires
Impact : fort potentiel de réduction de l'empreinte hydrique à l'échelle nationale

Réfléchir à sa démarche REUSE



1. Contexte et cadre de la REUSE

- 1.1 Enjeux globaux : eau, climat, pression sur la ressource
- 1.2 Situation actuelle dans les IAA : pratiques, limites, marges de progrès
- 1.3 Cadre réglementaire IAA

2. Projet LIFE ZEUS : vers le zéro rejet liquide

- 2.1 Présentation globale du projet et synergies
- 2.2 Objectifs techniques et environnementaux
- 2.3 Rôle des partenaires et synergies au service de la REUSE

3. Démarche REUSE en pratique

- 3.1 Cartographie des flux d'eau (entrée/sortie)
- 3.2 Hiérarchisation des usages et des qualités d'eau
- 3.3 Séparation, traitement et réutilisation des effluents
- 3.4 Conditions de succès d'un schéma REUSE

4. Technologies utilisées et innovations du projet LIFE ZEUS

- 4.1 Procédés de filtration : PF/MF/NF/OI basse pression
- 4.2 Régénération des saumures d'adoucisseurs
- 4.3 Désinfection par UV
- 4.4 Gestion des concentrats et voies de valorisation

5. Mise en œuvre sur site : retour d'expérience MONIN

- 5.1 Démonstrateur industriel à Bourges
- 5.2 Étapes clés de la mise en œuvre
- 5.3 Problèmes rencontrés et solutions apportées

6. Suivi, monitoring et qualité

- 6.1 Laboratoire sur site et protocoles d'analyses
- 6.2 Outils de suivi des performances
- 6.3 Indicateurs de performance environnementale et économique

7. Résultats et impact du projet LIFE ZEUS

- 7.1 Réduction de la consommation d'eau
- 7.2 Réduction des rejets et valorisation des coproduits
- 7.3 Gains énergétiques et économiques
- 7.4 Impacts environnementaux

8. Reproductibilité et transfert

- 8.1 Facteurs clés de réussite pour d'autres sites
- 8.2 Éléments transférables et reproductibles dans d'autres filières agroalimentaires
- 8.3 Accompagnement et financement

Annexes

- A. Exigences de qualité des eaux réutilisées en IAA
- B. Analyse du cycle de vie
- C. Acronymes et termes techniques



1. Contexte et cadre de la REUSE

1.1 Enjeux globaux : eau, climat, pression sur la ressource

L'Europe connaît un stress hydrique croissant : un tiers du territoire est régulièrement exposé à des situations de sécheresse modérée à sévère. La France, longtemps perçue comme relativement épargnée, fait désormais face à des épisodes de tension récurrents, notamment dans l'Ouest et le Sud-Ouest, régions où se concentrent de nombreuses industries agroalimentaires.

Le changement climatique amplifie ces difficultés. La hausse des températures réduit la recharge des nappes, augmente l'évapotranspiration et allonge les périodes de déficit hydrique. Parallèlement, la demande en eau (agriculture, usages domestiques, production énergétique) demeure élevée, créant des situations de concurrence entre secteurs.

Cette rareté a un coût : hausse des prix de l'eau potable, coûts accrus de traitement des effluents et nécessité d'investir dans des infrastructures résilientes. Les entreprises doivent désormais sécuriser leur approvisionnement en eau tout en réduisant leurs rejets. La Commission européenne et les États membres encouragent la réutilisation des eaux usées traitées pour répondre à ces enjeux, inscrivant cette pratique dans la logique de l'économie circulaire et du Pacte vert européen.

1.2 Situation actuelle dans les IAA : pratiques, limites, marges de progrès

1.2.1 Profils de consommation d'eau dans les IAA

La consommation d'eau, qui atteint environ 430 millions de m³ par an en France pour les industries agroalimentaires, constitue l'un des principaux enjeux environnementaux de ce secteur. Parmi les différents usages, les opérations de nettoyage (nettoyage en place - NEP ou usine) se distinguent comme le premier poste de consommation, devant les autres applications industrielles.

Au sein d'une industrie agroalimentaire, l'eau peut être utilisée principalement en tant que fluide thermique (production de chaleur, eaux de refroidissement), pour le nettoyage des installations, des équipements et des matériaux d'emballage, pour le nettoyage et le convoyage hydraulique des matières premières, des produits intermédiaires ou finis, en tant qu'eau ingrédient, pour la cuisson, pour les besoins et l'hygiène du personnel. Les eaux de nettoyage des équipements et les eaux de refroidissement représentant généralement les deux usages les plus importants en termes de volume.

La qualité des eaux nécessaires dépend de l'usage et les besoins varient selon les filières :

- Laiteries et sucreries : usage intensif pour le nettoyage et la concentration des produits ;
- Abattoirs : volumes importants pour l'hygiène des carcasses et des ateliers ;
- Brasseries et producteurs de boissons : besoins élevés en eau de processus.

1.2.2 Pratiques actuelles de recyclage et leurs limites

Les industriels ont déjà engagé des actions de réduction des prélèvements à la source :

- Optimisation du processus et des postes de lavage ;
- Formation du personnel ;
- Recherche de fuites et réparation ;
- Cartographie des réseaux et mise en place de compteurs intelligents.

Au-delà de ces mesures de réduction, la réutilisation et le recyclage de certaines **eaux au sein des processus** est une pratique historique et maîtrisée (mise en place de boucles courtes de recyclage notamment pour les usages techniques et pour les prélavages de NEP avec l'eau de rinçage finale du cycle précédent). Cependant, le **recyclage des eaux issues des matières premières et des eaux usées traitées** restait marginale et limité en raison de freins multiples :

- **Réglementaires** : absence, jusqu'en 2024, d'un cadre clair pour la réutilisation des eaux à des fins alimentaires
- **Techniques et sanitaires** : maintien d'une qualité conforme aux exigences d'usage et dans le respect de la protection de la santé des populations et des écosystèmes ;
- **Économiques** : investissements élevés, particulièrement pour les PME.



1. Contexte et cadre de la REUSE

1.2.3 Référentiels et niveaux de performance (BREF et MTD)

La **Directive 2010/75/UE** sur les émissions industrielles et les émissions d'élevage (modifiée par la Directive (UE) 2024/1785), dite « Directive IED » a pour objectif de protéger l'environnement en prévenant et en réduisant la pollution issue des activités industrielles. Elle impose notamment l'utilisation des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) pour l'exploitation des entreprises industrielles dépassant certains seuils de production. Ainsi, les BREF (Best Available Techniques REference Documents) regroupent pour un secteur industriel un ensemble de MTD associées à des niveaux d'émission (NEA) dans l'eau ou dans l'air, ou encore à des niveaux indicatifs de performance environnementale (ex. consommation d'eau et rejet d'effluents aqueux, consommation d'énergie spécifique).



La version la plus récente du BREF consacré aux industries agroalimentaires et laitières a été publiée en 2019 (**BREF Food Drink and Milk ou BREF FDM**). Dans ce document, le chapitre 17 « Conclusions sur les MTD » regroupe l'ensemble des dispositions de portée réglementaire et deux catégories de MTD y sont distinguées :



- **Les MTD génériques** qui ont une portée générale pour l'ensemble des industries agroalimentaires et couvrent les aspects tels que le management environnemental, l'inventaire (eau, énergie, matières premières, eaux usées, rejets gazeux), la surveillance et le monitoring, l'emploi de substances dangereuses, la consommation d'eau, les niveaux d'émission pour les rejets dans l'eau et l'air, etc. ;
- **Les MTD sectorielles** qui sont spécifiques à certains secteurs d'activité (alimentation animale, brasserie, laiteries, fabrication du sucre, etc.).

Un Arrêté Ministériel de Prescriptions Générales (AMPG) a été publié le 27 février 2020 afin d'intégrer les conclusions du BREF FDM dans la réglementation française. Cet AMPG reprend la quasi-totalité des conclusions relatives aux MTD, en renvoyant vers la réglementation française lorsque des dispositions équivalentes existent déjà. Lorsqu'il n'existe pas de disposition similaire dans les conclusions sur les MTD, la réglementation française est conservée. De ce fait, l'AMPG s'avère plus contraignant que les seules conclusions sur les MTD issues du BREF.



1.2.4 Écarts et potentiel d'amélioration

Les pratiques actuelles restent inférieures aux niveaux cibles des MTD pour de nombreuses filières :

- Consommation d'eau souvent 2 à 3 fois plus élevée que les valeurs de référence ;
- Faible réutilisation au-delà des usages techniques ;
- Qualité des données de suivi parfois insuffisante.

Pourtant, le potentiel d'amélioration est considérable :

- **Réduction** des volumes prélevés grâce à des boucles de recyclage adaptées ;
- **Valorisation** des eaux usées traitées pour des usages non alimentaires ou, sous conditions strictes pour certains procédés ;
- **Intégration** d'indicateurs de performance et de solutions numériques (capteurs, suivi en temps réel).

La mise en œuvre de ces solutions permettra de **réduire la dépendance aux ressources naturelles** et de **diminuer l'empreinte environnementale globale** des IAA, tout en répondant aux nouvelles attentes réglementaires et sociétales.

1.3 Le cadre réglementaire IAA

1.3.1 Un contexte longtemps limité

Jusqu'à récemment, la réutilisation de l'eau dans l'industrie agroalimentaire française se limitait essentiellement à des usages techniques (refroidissement, lutte contre l'incendie), des nettoyages extérieurs (quai de réception, nettoyage de véhicules, etc.) et l'irrigation des sols. L'absence de réglementation spécifique pour l'usage d'eaux réutilisées en vue de la préparation et la conservation de denrées alimentaires constituait un frein majeur. Cette situation contrastait avec d'autres États membres ayant déjà encadré certains usages de l'eau recyclée.

1.3.2 Évolutions réglementaires françaises en 2024

L'année 2024 a marqué un tournant avec la publication de trois textes fondateurs qui viennent modifier les articles R. 1322-76 à R. 1322-86 du Code de la Santé Publique. En mars 2025, une instruction technique ministérielle est venue compléter le cadre réglementaire relatif à la valorisation des eaux recyclées et des eaux usées traitées dans l'industrie agroalimentaire en apportant notamment des précisions quant à l'interprétation de certains points de ces trois textes fondateurs.

1. Contexte et cadre de la REUSE

- **Décret n° 2024-33 du 24 janvier 2024** : création d'un cadre spécifique pour la réutilisation des eaux dans l'industrie agroalimentaire, incluant notamment la terminologie, les catégories d'usages possibles, la procédure d'autorisation des projets de production d'eau usée traitée recyclée et les modalités de surveillance qualité ;
- **Décret modificatif n° 2024-769 du 8 juillet 2024** : modification des conditions pour l'utilisation des eaux recyclées, autorisation d'utilisation de certaines eaux recyclées en tant qu'ingrédient, modification des exigences en termes de réseaux de circulation des eaux ;
- **Arrêté du 8 juillet 2024** : définition des catégories d'usages, des régimes applicables en matière de déclaration et d'autorisation en vue de la production et de l'utilisation des eaux réutilisées pour la préparation, la transformation et la conservation de toutes denrées et marchandises destinées à la consommation humaine, ainsi que des exigences de qualité applicables à ces eaux ;
- **Instruction technique ministérielle DGAL/SDSSA/2025-173 du 8 mars 2025** : précision des modalités concrètes de déclaration et d'autorisation pour la réutilisation des eaux impropres à la consommation humaine dans les activités de préparation, de transformation et de conservation des denrées alimentaires.



Définitions clés

Ces textes introduisent des définitions clés, essentielles pour assurer la compréhension et la mise en œuvre adéquate de ce nouveau cadre réglementaire en IAA :

- **Entreprise du secteur alimentaire** : toute entreprise telle que définie à l'article 3 du règlement (CE) n° 178/2002 précité identifiée au moyen d'un numéro SIREN (Décret n° 2024-33) ;
- **Établissement** : toute unité d'une entreprise du secteur alimentaire identifiée individuellement au moyen d'un numéro SIRET (Décret n° 2024-33) ;

- **Processus de fabrication** : toutes les étapes de la réception des ingrédients et des matières premières jusqu'à l'expédition des produits finis et coproduits (Arrêté du 8 juillet 2024) ;
- **Eaux usées** : ensemble des eaux résiduaires et autres rejets liquides générés par une entreprise du secteur alimentaire. Elles sont notamment constituées des eaux utilisées lors des opérations de préparation, de transformation et de conservation de toutes denrées et marchandises destinées à l'alimentation humaine, y compris pour le nettoyage des locaux, installations et équipements, ainsi que des eaux pluviales et des eaux-vannes de l'entreprise lorsque cette dernière n'est pas raccordée au réseau public de collecte des eaux usées (Décret n°2024-33) ;
- **Eaux brutes** : eaux acheminées vers une unité de traitement en vue de faire l'objet d'un traitement complémentaire, après un premier traitement par une station de traitement des eaux usées (Décret n°2024-33) ;
- **Traitement complémentaire** : opération de traitement spécifique appliqué aux eaux visant à leur permettre de satisfaire à des exigences de qualité pour les catégories d'usages mentionnées à l'article R. 1322-77 (Décret n°2024-33) ;
- **Eaux recyclées issues des matières premières ①** : eaux qui étaient à l'origine un constituant d'une matière première alimentaire et qui en ont été extraites au cours du processus de transformation par une entreprise du secteur alimentaire, pour être ensuite utilisées, avec ou sans traitement complémentaire, au cours des opérations de préparation, de transformation et de conservation des aliments pour les catégories d'usages mentionnées à l'article R. 1322-77 (Décret n°2024-33) ;
Par exemple, les eaux issues de la concentration de la matière laitière ou eaux de vache et les eaux extraites des betteraves sucrières ;
- **Eaux de processus recyclées ②** : eaux qui ont été utilisées au cours des opérations de préparation, de transformation et de conservation des aliments et qui sont collectées pour être réutilisées, avec ou sans traitement complémentaire, pour les catégories d'usages mentionnées à l'article R. 1322-77 (Décret n°2024-33) ;
Par exemple, les eaux récupérées lors d'une étape de rinçage final pour être réutilisées pour le premier rinçage, les rinçages intermédiaires ou les prélavages ;

1. Contexte et cadre de la REUSE

- **Eaux usées traitées recyclées** ③ : eaux usées générées par une entreprise du secteur alimentaire ayant fait l'objet, après un premier traitement dans une station de traitement des eaux usées, d'un traitement complémentaire par une unité de traitement en vue de leur utilisation pour les catégories d'usages mentionnées à l'article R. 1322-77 (Décret n° 2024-33) ;
- **Eaux réutilisées** ① ② ③ : eaux usées traitées recyclées, eaux de processus recyclées ainsi que les eaux recyclées issues de la matière première (Arrêté du 8 juillet 2024) ;
- **Contact indirect** : possibilité pour une eau utilisée à être en contact au cours du processus avec les produits transformés ou non-transformés via les surfaces des équipements ou le matériel (ex rinçage final), pouvant être source de contamination croisée par exemple par égouttage, ruissellement, écoulement, projection, etc. (Arrêté du 8 juillet 2024) ;
- **Sans contact** : absence de contact direct ou indirect avec les produits transformés ou non-transformés (Arrêté du 8 juillet 2024) ;
- **Eau propre** : eau naturelle, artificielle ou purifiée, ne contenant pas de micro-organismes, de substances nocives en quantités susceptibles d'avoir une incidence directe ou indirecte sur la qualité sanitaire des denrées alimentaires de contact direct ou indirect avec les produits transformés ou non-transformés (Arrêté du 8 juillet 2024) ;

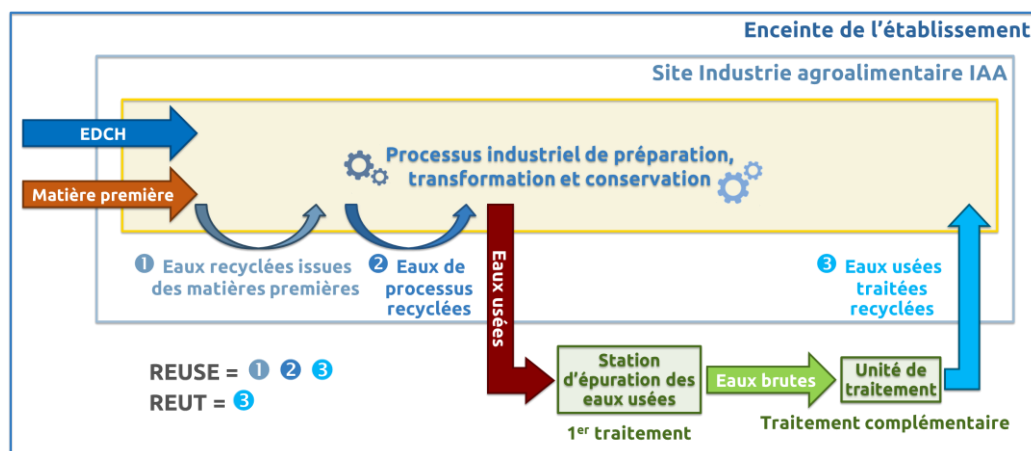


Schéma réalisé à partir de l'Instruction technique ministérielle DGAL/SDSSA/2025-173 du 8 mars 2025

Il convient de souligner que le terme « **eau ingrédient** », bien que mentionné dans l'Arrêté du 8 juillet 2024, ne fait l'objet d'aucune définition explicite. L'instruction technique ministérielle du 8 mars 2025, dans son annexe I, définit le terme « ingrédient » en reprenant la définition du règlement européen concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires (INCO) : « Un ingrédient est toute substance ou tout produit, y compris les arômes, les additifs alimentaires et les enzymes alimentaires, ou tout constituant d'un ingrédient composé, utilisé dans la fabrication ou la préparation d'une denrée alimentaire et encore présent dans le produit fini, éventuellement sous une forme modifiée ; les résidus ne sont pas considérés comme ingrédients ».

Champ d'application du cadre réglementaire IAA

Le cadre réglementaire IAA autorise, pour l'exploitant de toute entreprise du secteur alimentaire, **les usages** suivants pour les eaux réutilisées (eaux recyclées issues des matières premières, eaux de processus recyclées, eaux usées traitées recyclées) :

- La préparation, la transformation et la conservation des denrées et marchandises destinées à l'alimentation humaine ;
- Le nettoyage des locaux, des installations et des équipements.

Les eaux réutilisées peuvent être utilisées par les entreprises du secteur alimentaire selon **trois catégories d'usages** :

- **Sans contact** avec les produits primaires, les denrées alimentaires en cours de préparation ou les denrées alimentaires finales ;
- **Par contact, indirect ou direct**, avec les produits primaires, les denrées alimentaires en cours de préparation ou les denrées alimentaires finales ;

Il est à noter que contrairement aux eaux recyclées issues des matières premières et aux eaux de processus recyclées, **les eaux usées traitées recyclées ne peuvent pas être utilisées comme ingrédient** entrant dans la composition des denrées alimentaires finales.

1. Contexte et cadre de la REUSE

La réutilisation des eaux usées listées ci-dessous n'est pas possible en IAA :

- Les eaux usées issues du lavage des locaux et des instruments susceptibles d'avoir été en contact avec des matériels à risque spécifiés (MRS) ;
- Les eaux usées provenant du traitement des sous-produits animaux ;
- Les eaux usées issues d'une station d'épuration d'une entreprise du secteur alimentaire dont les boues ne répondent pas aux exigences de qualité pour un épandage sur des sols agricoles ;
- Les eaux usées issues d'une station d'épuration d'une entreprise du secteur alimentaire dont les eaux brutes (avant traitement complémentaire REUT) ne respectent pas les valeurs limites d'émissions prescrites dans le cadre de la réglementation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement ;
- Les eaux issues d'une station d'épuration des eaux usées d'une entreprise n'appartenant pas au secteur alimentaire ;
- Les eaux présentant une concentration en un agent chimique pouvant aboutir à une toxicité aigüe par contact ou ingestion ;
- Les saumures et concentrats produits par les dispositifs de traitement des eaux.

Le cadre réglementaire IAA ne concerne pas :

- Les activités liées aux étapes en amont ou annexes des opérations de préparation, transformation transport et de conservation des denrées alimentaires (activités extérieures aux locaux de production, lavage des containers de transport...) ;
- La production primaire (agriculture, pêche, élevage de bétail...) ;
- Les activités liées à l'alimentation animale ;
- Les eaux techniques (les eaux pour le refroidissement des machines, pour la lutte contre l'incendie, la production de vapeur, la production de froid et d'autres fins semblables) ;
- Les autres usages domestiques à l'exception du lavage des sols intérieurs et du nettoyage des surfaces extérieures ;
- Les eaux pluviales « brutes » (si elles ne vont pas à la station d'épuration de l'entreprise du secteur alimentaire).

Prescription techniques réglementaires pour l'utilisation des eaux réutilisées et procédures administratives associées

L'Arrêté du 8 juillet 2024 précise, dans son annexe 2, **les exigences minimales** en termes de **qualité** d'eau à atteindre, **en fonction** :

- **Du type d'eau réutilisée** : eaux recyclées issues des matières premières, eaux de processus recyclées, eaux usées traitées recyclées ;
- **De la catégorie d'usage** de l'eau réutilisée : sans contact, contact indirect, contact direct avec les produits primaires et les denrées alimentaires ;
- **Des éventuelles étapes de maîtrise** ultérieures du processus de recyclage des eaux (collecte, traitement, stockage, distribution et utilisation).

Ces exigences minimales portent sur des paramètres microbiologiques et physico-chimiques auxquelles les eaux réutilisées doivent satisfaire pour garantir la protection de la santé des collaborateurs, du consommateur et de l'environnement. Ces exigences minimales sont indiquées en annexe A (Exigences de qualité des eaux réutilisées en IAA) de ce livre enrichi.

L'exploitant du secteur alimentaire doit s'assurer de la qualité des eaux réutilisées au moyen **des programmes de surveillance et de vérification périodique** établis selon les principes **HACCP** dans le cadre de cette démarche.

La réglementation IAA comporte également **des exigences en termes de réseaux** de circulation des eaux réutilisées :

- Les eaux recyclées issues des matières premières et les eaux de processus recyclées peuvent circuler dans le même réseau de distribution que le réseau de distribution des eaux destinées à la consommation humaine ou de circuler dans un réseau connecté à ce dernier (Décret n°2024-769) ;
- Les eaux usées traitées recyclées ne répondant pas aux limites de qualité fixées pour une eau destinée à la consommation humaine doivent circuler dans un réseau séparé dûment signalé. L'interconnexion du réseau de distribution de ces eaux avec le réseau public d'eau destinée à la consommation humaine et avec le réseau intérieur de distribution de l'eau destinée à la consommation humaine pour les usages alimentaires ou liés à l'hygiène corporelle du personnel de l'établissement est interdite (Décret n°2024-33).

1. Contexte et cadre de la REUSE

Les modalités administratives préalables à l'utilisation des eaux réutilisées dans un établissement d'une entreprise du secteur alimentaire sont décrites dans la réglementation IAA, où deux régimes administratifs distincts sont définis selon le type d'eau réutilisée :

- **Déclaration** préfectorale pour la réutilisation des eaux recyclées issues des matières premières et les eaux de processus recyclées (article R. 1322-84 du Code de la Santé Publique) ;
- **Autorisation** préfectorale pour tout projet de production et d'utilisation d'eaux usées traitées recyclées (article R. 1322-78 du Code de la Santé Publique).

Type d'eau réutilisée	Modalités administratives
Eaux recyclées issues des matières premières Eaux de processus recyclées	• Déclaration préfectorale avec mise à jour du plan de maîtrise sanitaire • Exigences minimales de qualité de ces eaux (cf. annexe 2 de l'Arrêté du 8 juillet 2024 • Fréquences d'analyse et plan de surveillance à définir par l'exploitant dans son plan HACCP (surveillance au moyen d'un programme de tests et d'analyses effectués régulièrement sur des points de surveillance déterminées en fonction des dangers identifiés)
Eaux usées traitées recyclées	• Dépôt d'un dossier de demande d'autorisation préfectorale pour la production et l'utilisation d'eaux usées traitées recyclées, préalablement au lancement de l'activité : mise à jour du plan de maîtrise sanitaire + Cerfa • Composition du dossier de demande d'autorisation précisée dans l'annexe 1 de l'Arrêté du 8 juillet 2024 • Si demande d'autorisation validée → délivrance d'un arrêté préfectoral

Ainsi, les évolutions réglementaires de la REUSE en IAA ouvrent la voie à des projets de réutilisation à grande échelle, tout en imposant des garanties sanitaires strictes et un investissement dans les technologies de traitement et de contrôle. Elles permettent également l'harmonisation des exigences industrielles, dans l'esprit du Pacte vert et du Plan d'action économie circulaire de la Commission européenne.



2. Projet LIFE ZEUS : vers le zéro rejet liquide

2.1 Présentation globale du projet et synergies

2.1.1 Contexte et ambition

Le projet LIFE ZEUS, inscrit dans le programme LIFE de l'Union européenne, répond à un enjeu majeur : concilier performance industrielle et gestion durable de l'eau dans l'industrie agroalimentaire. Il vise à démontrer qu'il est possible de réduire fortement les rejets liquides tout en maintenant la qualité des produits et la compétitivité des entreprises.

Cette ambition s'inscrit dans un contexte de :

- **Raréfaction** de la ressource en eau, amplifiée par le changement climatique et la pression croissante sur les usages ;
- **Durcissement** réglementaire, imposant une maîtrise accrue des rejets et des consommations ;
- **Attentes sociétales** renforcées, incitant les entreprises à adopter des pratiques plus responsables et transparentes.

Le projet ne se limite pas à un simple démonstrateur technique : il propose une approche intégrée visant à optimiser la gestion de l'eau dans le site pilote et à produire un modèle répliquable et durable, utile à l'ensemble du secteur.

La méthodologie adoptée suit une logique claire :

1. **Cartographie** et diagnostic hydrique pour identifier les flux et les points d'amélioration ;
2. **Études** de faisabilité technique, économique et réglementaire afin de sélectionner les meilleures options ;
3. **Mise en œuvre** progressive des solutions, avec tests, réglages et formation des équipes ;
4. **Suivi, évaluation et diffusion** des résultats, pour ajuster les procédés et partager les enseignements à l'échelle du secteur.

2.1.2 Synergies et gouvernance

Le succès du projet repose sur la complémentarité des acteurs :

- **Site industriel** pilote couvrant une diversité de procédés et testant les solutions en conditions réelles ;
- **Centres techniques, établissements de référence et laboratoires** apportant une expertise, du conseil et un accompagnement des acteurs ;

- **Équipementier et bureaux d'études** garants de la conception et de l'intégration technologique ;
- **Collectivité et institutions publiques** facilitant les démarches et soutenant le projet sur les volets réglementaire et financier.

Cette diversité alimente une dynamique de co-innovation :

- **Mutualisation** des expertises accélérant la mise au point des solutions ;
- **Partage** rapide des retours d'expérience favorisant la reproductibilité et la diffusion ;
- **Gouvernance** claire via un comité de pilotage assurant le suivi et la communication.

Le projet montre comment la coopération entre acteurs publics, industriels et scientifiques accélère la transition vers une gestion circulaire et durable de l'eau dans l'agroalimentaire.

2.2 Objectifs techniques et environnementaux

Le projet LIFE ZEUS s'est fixé des objectifs ambitieux mais réalistes, alignés sur les politiques de gestion de l'eau :

- **Réduire** la consommation d'eau par l'optimisation des processus de 60 % par la substitution de l'eau potable par des eaux recyclées sûres ;
- **Limiter** les rejets liquides de plus de 90 % grâce aux technologies avancées (filtration membranaire, régénération des saumures, désinfection UV) et à des boucles internes de recyclage ;
- **Valoriser** les sous-produits (concentrats, boues) dans des filières agronomiques ou énergétiques ;
- **Minimiser** l'impact énergétique afin d'éviter tout transfert de pollution entre ressources.

Le suivi repose sur **des indicateurs clés** : consommation d'eau par tonne de produit, volume de rejets évité, qualité des eaux recyclées, consommation énergétique, retour sur investissement et coûts d'exploitation.

L'un des atouts du projet est **d'intégrer l'économie et l'environnement** dès la conception en allant au-delà d'une simple démonstration technique pour proposer **un modèle reproductible et durable**, adapté aux contraintes industrielles.

2. Projet LIFE ZEUS : vers le zéro rejet liquide

2.3 Rôle des partenaires et synergies au service de la REUSE

2.3.1 MONIN

L'entreprise MONIN produit une large gamme de sirops haut de gamme de grande qualité destinés aux professionnels. L'usine de Bourges, le site pilote du projet LIFE ZEUS, est le site principal du groupe, qui produit 30 millions de litres de sirop chaque année. Dans la continuité des efforts déployés ces dernières années pour réduire la consommation d'eau, le projet s'inscrit pleinement dans la politique de responsabilité sociale des entreprises (RSE) visant à atteindre le zéro rejet liquide grâce à la réutilisation des eaux de processus. MONIN offre un grand potentiel de reproductibilité avec son objectif d'atteindre le zéro rejet liquide dans ses 8 usines.

2.3.2 CHEMDOC WATER TECHNOLOGIES

Entreprise à Missions depuis 2024, CHEMDOC WATER TECHNOLOGIES est un acteur clé dans la conception et la fabrication d'équipements pour la filtration, la purification et la déminéralisation des eaux industrielles, ainsi qu'au traitement de l'eau potable et au recyclage. Pionnier du recyclage depuis 2014, l'entreprise réalise chaque année une dizaine de projets pour l'industrie ou les collectivités, avec des débits allant de 5 à 100 m³/h.

Dans le cadre du projet LIFE ZEUS, CHEMDOC WATER TECHNOLOGIES assure le rôle de bénéficiaire coordinateur. Ses missions couvrent la gestion globale du projet, le développement et l'installation de la solution technique, ainsi que son transfert et sa reproductibilité. L'entreprise s'engage également à disséminer cette technologie au sein de l'industrie agroalimentaire, en alignement avec sa vision : « Construire aujourd'hui l'eau de demain ». Son objectif : concevoir des installations qui consomment moins d'eau, moins d'énergie et moins de produits chimiques, tout en garantissant une performance optimale.

2.3.3 INSA Toulouse

L'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse est une école d'ingénieurs pluridisciplinaire et internationale spécialisée dans le domaine du génie biochimique et des procédés. Les experts de l'INSA travaillent sur la purification et le recyclage de l'eau, le traitement des eaux usées, la filtration membranaire et la valorisation des résidus organiques par méthanisation.

Dans le cadre du projet LIFE ZEUS, les équipes du Centre Régional de l'Innovation et du Transfert de Technologie (CRITT) Bio-Industries et du CRITT Procédés et Environnement ont développé une méthodologie de répliquabilité pour aider à la mise en place de la REUSE au sein d'autres industries agroalimentaires. Cette méthodologie intègre une caractérisation fine de l'effluent, la création d'une base de données et d'un modèle prédictif du comportement de l'effluent à la filtration membranaire, une pré-évaluation environnementale.

2.3.4 OiEau

L'Office International de l'Eau est une association à but non lucratif, reconnue d'utilité publique et agréée « Protection de l'environnement » qui propose des solutions personnalisées, efficaces et pérennes en matière de gestion des ressources en eau, des services d'eau et d'assainissement. Son objectif : répondre à l'ensemble des enjeux liés aux usages de l'eau et aux impacts du changement climatique, en France et dans le monde. Pour y parvenir, l'OiEau s'appuie sur une approche pluridisciplinaire, mobilisant des compétences techniques, opérationnelles, institutionnelles, juridiques et stratégiques. Ces savoir-faire s'articulent autour de quatre domaines d'expertise complémentaires :

- Appui technique et institutionnel – coopération ;
- Formation professionnelle et ingénierie pédagogique ;
- Valorisation des connaissances et systèmes d'information sur l'eau ;
- Animation et développement des réseaux d'acteurs.

Dans le cadre du projet LIFE ZEUS, l'OiEau a joué un rôle essentiel en définissant les paramètres de qualité de l'eau et des coproduits, en développant un outil de monitoring et de visualisation des données d'exploitation et analytiques, et en assurant la formation des équipes de MONIN. L'OiEau a également contribué à la rédaction du livre enrichi et à la dissémination des résultats, renforçant ainsi l'impact et la reproductibilité du projet.



3. Démarche REUSE en pratique

3.1 Cartographie des flux d'eau (entrée/sortie)

La première étape de toute démarche de réutilisation d'eau (REUSE) est **la connaissance précise de l'ensemble des flux d'eau** au sein de l'usine : les flux d'eau entrants (répartition des flux d'eau pour chaque poste consommateur) et les flux d'eau sortants (postes générateurs d'effluents). **Un bilan hydrique complet** permet de savoir où, quand et comment l'eau est utilisée, puis rejetée.

Ce travail s'appuie sur **la connaissance du réseau d'eau** du site (identification des flux d'eau, localisation des compteurs et des points de prélèvements), sur **l'exploitation des relevés de consommation**, ainsi que sur **l'évaluation de la qualité** des eaux utilisées et rejetées (analyses des contrôles qualité, campagnes de mesures ponctuelles, exigences et critères de qualité des eaux pour chaque atelier et poste, identification des paramètres qualités pouvant limiter la réutilisation d'eau). L'objectif est d'obtenir une photographie détaillée des volumes entrants et utilisés pour chaque poste (lavage, processus, utilités), des volumes rejetés et des niveaux de qualité associés.

Cette cartographie distingue généralement trois catégories de flux sortants :

- **Eaux faiblement chargées**, souvent issues de lavages ou de refroidissements, présentant un fort potentiel de réutilisation après un traitement léger ;
- **Eaux de processus plus chargées**, nécessitant des traitements plus poussés avant réutilisation ;
- **Flux spécifiques ou concentrés** (saumures, effluents riches en matières organiques), souvent orientés vers un traitement séparé.

Après identification des flux et évaluation des volumes et qualité d'eau nécessaires aux différents postes consommateurs, il devient possible de simuler plusieurs scénarios de réutilisation :

- **Boucles courtes** pour réutiliser l'eau au sein d'un même atelier ;
- **Boucles intermédiaires** pour mutualiser certaines eaux de processus ;
- **Boucles longues** pour utiliser les eaux usées issues de la station d'épuration après avoir subi un traitement complémentaire ;
- **Boucles complètes** visant le zéro rejet liquide.

Ces scénarios sont évalués en termes de faisabilité technique, de coût et de gain environnemental, puis présentés à la direction générale pour arbitrage.

3.2 Hiérarchisation des usages et des qualités d'eau

La hiérarchisation des usages de l'eau est une étape clé dans la mise en place d'un schéma de réutilisation (REUSE). Chaque usage industriel n'exige pas la même qualité d'eau et, par conséquent, le même niveau de traitement. De plus, les exigences minimales de qualité définies dans l'annexe 2 de l'Arrêté du 8 juillet 2024 pour la réutilisation des eaux au sein du processus agroalimentaire sont dépendantes du type d'eau réutilisée (eaux recyclées issues des matières premières, eaux de processus recyclées, eaux usées traitées recyclées), de la catégorie d'usage (sans contact, contact indirect et contact direct) et des éventuelles étapes de maîtrise ultérieures.

La hiérarchisation des usages permet de réserver les eaux les plus propres aux usages critiques, tout en affectant des eaux recyclées de qualité inférieure aux usages moins sensibles.

Catégorisation des usages industriels selon leur criticité

1. **Usages hors cadre réglementaire IAA et hors usages domestiques** : il s'agit des « **autres usages industriels** » n'ayant pas de cadre réglementaire spécifiquement lié à la REUSE (ex. nettoyage extérieur des véhicules, lavage des quais extérieurs, eaux dédiées à la production d'utilités, tours aéroréfrigérantes, sprinklage, etc.). Selon les cas et les risques associés à ces usages, ceux-ci peuvent être encadrés par une réglementation spécifique (ex. Arrêté Ministériel du 14/12/2013 pour les tours aéroréfrigérantes TAR), par des prescriptions ministérielles (valeurs limites d'émission à respecter, surveillance des émissions...) et par des prescriptions fixées par arrêté préfectoral. Des recommandations sur les qualités d'eau requises pour certains usages peuvent également être prescrites par les fournisseurs d'équipements (ex. recommandations pour l'eau d'appoint des chaudières ou des TAR). **L'entreprise reste néanmoins garante de l'absence d'impact** sur la conformité des denrées alimentaires, la santé des collaborateurs et l'environnement.
2. **Usages sans contact** avec les denrées alimentaires : il s'agit par exemple du nettoyage de l'intérieur des locaux (sols et murs), de l'extérieur des équipements, du refroidissement des machines et des procédés. Ces usages sont les plus adaptés à l'emploi d'eaux recyclées de qualité plus basse et les exigences minimales de qualité sont relatives aux paramètres pertinents identifiés à travers **l'analyse des dangers** pour les eaux issues des matières premières et des eaux de processus recyclées et à **des paramètres microbiologiques** pour les eaux usées traitées recyclées.

3. Démarche REUSE en pratique

3. **Usages à contact indirect** avec les denrées alimentaires : il s'agit par exemple du rinçage, nettoyage, désinfection des équipements, des surfaces de travail, des convoyeurs. Le rinçage final fait partie de cette catégorie d'usage. Ces usages peuvent tolérer des niveaux de qualité intermédiaires et les exigences minimales de qualité vont d'une **qualité « eau propre »** (avec prise en compte des paramètres pertinents identifiés à travers l'analyse des dangers) à une **qualité « eau potable »** selon le type d'eau réutilisée et les éventuelles étapes de maîtrise.
4. **Usages à contact direct** avec les denrées alimentaires : il s'agit par exemple de l'eau utilisée comme « eau ingrédient », l'eau de lavage/rinçage d'une denrée, le pousse à l'eau d'une denrée, les eaux de cuisson, les eaux de blanchiment, etc. Pour ces applications, les exigences minimales de qualité vont d'une **qualité « eau propre »** (avec prise en compte des paramètres pertinents identifiés à travers l'analyse des dangers) à une **qualité « eau potable »** selon le type d'eau réutilisée et les éventuelles étapes de maîtrise.

Principe de la cascade des usages

L'un des leviers majeurs de la REUSE est d'organiser les usages selon une cascade de qualité. Une même eau peut être utilisée plusieurs fois, d'abord pour des opérations nécessitant une qualité élevée, puis pour des usages plus tolérants, avant d'être finalement rejetée ou traitée.

Cas particulier du lavage

Pour ce cas particulier, l'utilisation des eaux recyclées est **réalisée en contrecourant des produits**. Les eaux usées traitées recyclées interviennent en fin de processus, lorsque le produit transformé requiert un contact avec une eau de qualité maîtrisée. À l'inverse, les eaux de processus recyclées (ex. eaux récupérées lors du rinçage final) sont orientées vers le premier rinçage, les rinçages intermédiaires ou les prélavages ou vers les premières étapes, en contact avec le produit brut, pour des usages dits non nobles et fortement mécaniques (ex. dessablage, déterrage, calibrage ou encore convoyage). Cette organisation permet de **maximiser chaque litre d'eau** tout en garantissant la conformité sanitaire et la performance du procédé.

Évaluation de la compatibilité réglementaire et sanitaire

L'application de la cascade suppose une évaluation stricte des risques :

- **Risques sanitaires** : présence potentielle de micro-organismes pathogènes ou de contaminants chimiques ;
- **Conformité réglementaire** : respect des exigences minimales définies par l'Arrêté du 8 juillet 2024 pour les usages du secteur alimentaire ;
- **Analyse HACCP** : intégration de la réutilisation de l'eau dans le plan de maîtrise sanitaire (PMS) et mise à jour des procédures de contrôle.

Outils de décision

Des grilles d'analyse combinant la criticité des usages et la qualité disponible sont utilisées pour déterminer les appariements possibles. Ces grilles prennent en compte :

- La sensibilité de l'usage ;
- La qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau disponible ;
- Les étapes de maîtrise présentes dans le processus aval.

Cette **approche structurée** permet d'**optimiser la consommation** d'eau, de **réduire les besoins** en eau potable et de **maximiser la part d'eau réutilisée** sans compromettre la sécurité sanitaire ni la conformité réglementaire.



3. Démarche REUSE en pratique

3.3 Séparation, traitement et réutilisation des effluents

La séparation et le traitement des effluents sont au cœur de toute démarche REUSE. Le principe est simple : éviter de mélanger des eaux propres ou faiblement chargées avec des effluents plus pollués afin d'optimiser leur valorisation. **Plus un flux est homogène, plus le traitement peut être ciblé et efficace.**

Séparation des flux

Les effluents d'une IAA sont classés selon leur origine et leur charge polluante :

- Flux faiblement chargés : condensats de vapeur, eaux de refroidissement, eaux de rinçage peu souillées ;
- Flux moyennement chargés : lavages intermédiaires d'équipements ou de sols ;
- Flux concentrés : saumures, purges de chaudières, effluents riches en matières organiques.

Cette séparation peut nécessiter des réseaux distincts, afin d'éviter la dilution d'effluents valorisables.

Traitements adaptés

En fonction de la qualité visée, plusieurs technologies peuvent être mobilisées :

- **Procédés physiques et physico-chimiques** pour séparer les particules, les matières en suspension, les colloïdes, les hydrocarbures, les graisses et les huiles en émulsion (ex. filtres à manches et à cartouches, filtres papier, tambour oléophile, tamis, coagulation-floculation, séparation de type décantation ou flottation, filtration sur média). Ces procédés s'appliquent le **plus souvent dans le cas de boucles courtes** pour le recyclage des eaux de processus. Dans le cas du recyclage des eaux usées traitées, la filtration sur média filtrant, les tamis de finition et la clarifloculation peuvent être utilisés en traitement complémentaire d'une station d'épuration existante pour permettre un meilleur abattement des matières en suspension résiduelles.
- **Procédés biologiques** pour le traitement de la fraction dissoute biodégradable des effluents industriels agroalimentaires notamment (ex. boues activées, bioréacteurs à membrane).

- **Procédés membranaires** pour séparer les polluants organiques et les minéraux de l'eau sous l'effet de la pression transmembranaire. Les membranes sont caractérisées par leur seuil de coupure ou leur perméabilité. Ces seuils de coupure sont décroissants dans l'ordre microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse.

Type de membrane	Composés retenus
Microfiltration (MF)	Particules en suspension (microparticules organiques, sables, MES), turbidité, émulsions d'huile, graisses, parasites, bactéries, levures et cellules
Ultrafiltration (UF)	• Tous les composés retenus avec la MF • Protéines, polymères, polysaccharides, colloïdes, silices colloïdales, pigments, microparticules organiques et virus
Nanofiltration (NF)	• Tous les composés retenus avec l'UF • Sulfates, phosphates, nitrates, cations divalents, anions divalents, carbone organique dissous, sucres à longues chaînes et dimères (saccharose, lactose, maltose), antibiotiques, pesticides
Osmose inverse (OI)	• Tous les composés retenus avec la NF • Sels monovalents et ions métalliques, ammonium, acides aminés, sucres simples (glucose, fructose)

- **Procédés d'adsorption sur charbon actif** pour piéger le chlore avant osmose inverse et/ou pour une finition de la chaîne de traitement avant désinfection (ex. traitement des micropolluants, de la matière organique soluble non biodégradable, décoloration).
- **Procédés d'échange d'ions sur résines** pour traiter la pollution soluble (ex. ions, métaux). Ce procédé s'applique généralement sur des eaux relativement propres et peu souillées pour de l'adoucissement, de la décarbonatation en vu d'usages de type eaux d'appoints des utilités et eaux de nettoyage, mais également pour de la dénitrification et le traitement des métaux par élimination sélective (ex. industries de traitement de surface).
- **Procédés de désinfection physique ou chimique** (ex. UV, chlore, ozone, peroxyde), couplée à de l'instrumentation en ligne, pour sécuriser les usages sensibles et garantir la qualité bactériologique de l'eau à réutiliser notamment en cas de stockage. Cette technologie de finition s'applique sur des eaux propres et dépolluées de la majorité des polluants organiques.

3. Démarche REUSE en pratique

Boucles de réutilisation

Les eaux traitées sont stockées dans des réservoirs tampons avant d'être redistribuées vers des usages spécifiques :

- Pour **les eaux recyclées issues des matières premières et les eaux de processus recyclées**, le Décret n°2024-769 autorise ces eaux à circuler dans le même réseau de distribution que les eaux destinées à la consommation humaine ou dans un réseau connecté à ce dernier ;
- Pour **les eaux usées traitées recyclées**, le Décret n°2024-33 :
 - ✓ **Impose** une circulation séparée du réseau de distribution des EDCH en cas de non-conformité aux limites de qualité « eau potable » ;
 - ✓ **Interdit** L'interconnexion du réseau de distribution de ces eaux avec le réseau public d'eau de « ville » EDCH et avec le réseau intérieur de distribution d'eau potable pour des usages alimentaires ou liés à l'hygiène corporelle du personnel de l'établissement.

Dans le cas du projet LIFE ZEUS, le choix s'est porté sur des réseaux séparés permettant ainsi de **garantir que l'eau recyclée ne se mélange pas avec l'eau potable** et que chaque qualité d'eau est utilisée pour l'usage qui lui correspond.

Surveillance et exploitation

Le succès d'un schéma REUSE repose sur la mise en place de systèmes de monitoring en continu : capteurs de température, turbidité, conductivité, COT-mètre en ligne, capteurs microbiologiques rapides et alarmes en cas de dérive. Des protocoles de maintenance rigoureux et une formation du personnel sont également nécessaires pour garantir la pérennité des installations.

Cette approche permet de transformer un passif (l'effluent) en ressource, tout en réduisant la consommation globale d'eau et la charge polluante rejetée au milieu naturel.

3.4 Conditions de succès d'un schéma REUSE

La réussite d'un projet REUSE repose sur plusieurs facteurs clés :

- **Le dimensionnement** correct des équipements et des réseaux ;
- **La formation des équipes** pour garantir une exploitation sans risque ;
- **La sécurisation réglementaire** via une déclaration ou une autorisation préalable ;
- **L'acceptation interne** (direction, opérateurs) et externe (clients, autorités) de l'approche.

L'intégration de la REUSE ne se limite pas à un choix technique, mais constitue une véritable évolution organisationnelle, structurelle et culturelle.



4. Technologies utilisées et innovations du projet LIFE ZEUS

4.1 Procédés de filtration : PF/MF/NF/OI basse pression

Les procédés membranaires constituent le cœur technique des schémas de réutilisation. Ils permettent d'obtenir une eau de qualité contrôlée, adaptée à des usages exigeants, tout en réduisant l'empreinte hydrique globale des sites industriels. Le processus du projet LIFE ZEUS est composé de plusieurs étapes de traitement des effluents : préfiltration, microfiltration, nanofiltration et osmose inverse basse pression.

Préfiltration (PF)

La préfiltration est l'étape initiale visant à éliminer les particules grossières. Elle protège les étapes en aval contre l'encrassement prématuré et s'avère simple et peu énergivore. Dans le projet LIFE ZEUS, la préfiltration est constituée de filtres à cartouches.

Microfiltration (MF)

La microfiltration (pores de taille comprise entre 0,1 et 10 µm) élimine les matières en suspension et une partie significative des micro-organismes. Elle est utilisée notamment pour sécuriser des eaux de processus ou des eaux destinées à des lavages intermédiaires. Sa mise en œuvre nécessite un suivi du colmatage et des nettoyages périodiques.

Nanofiltration (NF)

La nanofiltration permet de réduire la teneur en sucres, sels, pesticides, résidus organiques ou composés colorants. Elle est particulièrement adaptée aux eaux destinées à des usages plus sensibles, comme certaines étapes de nettoyage en contact indirect avec les produits alimentaires.

Osmose inverse basse pression (OI)

L'osmose inverse basse pression est un procédé clé pour obtenir une eau purifiée. Elle présente des performances élevées en termes de rétention des sucres simples, sels, composés organiques et micro-organismes. L'innovation du projet LIFE ZEUS repose sur l'utilisation de membranes basse pression, permettant de réduire la consommation énergétique de 20 à 30 % par rapport aux OI classiques.

Couplage et intégration

Ces procédés sont souvent combinés dans un schéma en cascade : PF → MF → NF → OI, avec une désinfection en sortie. Le choix de la filière dépend de la qualité de l'eau brute et des exigences d'usage. Des systèmes de monitoring en ligne assurent le suivi en temps réel des paramètres critiques (pression, conductivité, turbidité, température, cytométrie).

4.2 Désinfection par UV et dioxyde de chlore

4.2. Les UV

La désinfection par rayons ultraviolets (UV) constitue une solution efficace pour sécuriser les boucles d'eau recyclée. Cette technologie détruit l'ADN des micro-organismes (bactéries, virus, protozoaires), empêchant leur reproduction.

Les avantages sont multiples :

- **Absence de produits chimiques ajoutés**, donc pas de sous-produits indésirables ;
- **Simplicité d'intégration** dans des réseaux existants ;
- **Maintenance réduite**, se limitant au nettoyage et au remplacement périodique des lampes.

Dans le projet LIFE ZEUS, des **unités UV** ont été installées sur **les boucles sensibles** (alimentation des circuits de lavage en contact indirect alimentaire) et sur **la boucle de recirculation** des réservoirs tampons. Les résultats montrent une réduction microbiologique fiable et rapide, sans altérer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau traitée.

4.2.2 Le dioxyde de chlore (ClO₂)

Pour compléter l'action des UV, l'injection ClO₂ sous forme de solution stabilisée possible à mettre en œuvre. Le ClO₂ apporte une protection chimique rémanente indispensable au maintien de la qualité de l'eau durant son stockage et sa distribution. Cette technologie présente des avantages spécifiques pour les filières de REUT :

Action anti-biofilm radicale : le ClO₂ pénètre et déstructure les biofilms sur les parois des réservoirs et des canalisations,

Stabilité du résiduel : La solution stabilisée conserve son efficacité sur une large plage de pH garantissant une désinfection durable,

Sécurité et simplicité : Les solutions prêtes à l'emploi limite les risques liés à la génération de gaz in situ et simplifie la maintenance des postes de dosage.

Quand l'injection est pilotée en aval du traitement UV. Cette synergie permet une double barrière sanitaire : les UV assurent l'abattement microbiologique immédiat alors que le ClO₂ sécurise l'eau contre toute recontamination aéroportée ou bactérienne lors du stockage final. Ce couplage garantit une eau de réutilisation conforme aux exigences tout en protégeant l'intégrité des réseaux.

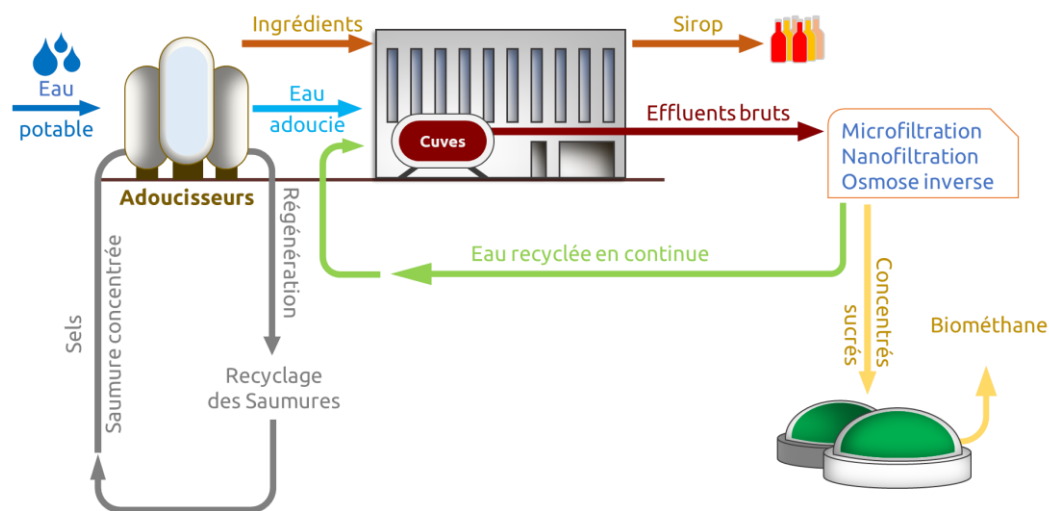
Retrouvez la visite virtuelle du démonstrateur LIFE ZEUS sur le site internet

4. Technologies utilisées et innovations du projet LIFE ZEUS

4.3 Gestion des concentrats et voies de valorisation

Dans les projets REUSE, la gestion des **concentrats** issus des procédés membranaires, notamment la nanofiltration et l'osmose inverse, constitue **des enjeux** technique, réglementaire et économique **majeurs**. Ces effluents, riches en matières organiques et minérales, représentent une **fraction réduite mais fortement chargée** du flux d'eau initialement traité (10 à 30 % du volume traité).

Ces concentrats sont souvent le **facteur limitant** à disposer de plus de ressource en eau à partir d'un même flux. En effet, plus le taux de recyclage augmente, plus le concentrat se charge, au point que son rejet puisse ne plus respecter les contraintes réglementaires. Dans ces situations, il est généralement privilégié d'**ajuster le taux de recyclage** pour rester conforme à la réglementation ou de recourir à des solutions alternatives (recherche de voies de valorisation adaptées ou mise en place d'un traitement complémentaire des concentrats). Le choix entre ces options repose sur un **équilibre** entre **performance** environnementale, **conformité** réglementaire et **viabilité** économique, le traitement des concentrats pouvant générer des coûts CAPEX/OPEX significatifs.



Dans le cadre du projet LIFE ZEUS, plusieurs pistes ont été explorées :

- **Valorisation agronomique** : sous certaines conditions de composition, les concentrats peuvent être utilisés comme fertilisants liquides, après validation réglementaire.
- **Méthanisation** : pour les concentrats organiques, la valorisation énergétique permet de produire du biogaz et de réduire l'impact global du site.
- **Traitements complémentaires** : concentration supplémentaire par évaporation ou traitement chimique, afin de réduire le volume final et faciliter l'élimination.

4.4 Régénération des saumures d'adoucisseurs

Les adoucisseurs d'eau, largement utilisés dans l'agroalimentaire, rejettent des saumures concentrées en sels lors de leur régénération. Ces rejets augmentent la charge saline globale et peuvent poser des problèmes réglementaires et environnementaux.

Le projet LIFE ZEUS a expérimenté la solution de régénération avancée des saumures, ReGecyle de CHEMDOC WATER TECHNOLOGIES. L'objectif est triple :

- **Réduire la salinité des rejets** en récupérant une partie des sels pour réutilisation ;
- **Réduire la consommation globale de sel et d'eau** des adoucisseurs ;
- **Réduire la charge en sel dans les traitements de REUSE** et ainsi augmenter le potentiel de traitement des technologies membranaires de type nanofiltration et osmose inverse.

Les résultats montrent une diminution de 50 à 60 % du sel consommé. Ce procédé innovant représente ainsi une piste prometteuse pour les industries utilisant des adoucisseurs de débit important ($> 15 \text{ m}^3/\text{h}$) avec une eau dure (titre hydrotimétrique TH $> 25^\circ\text{f}$).



5. Mise en œuvre sur site : retour d'expérience MONIN

5.1 Démonstrateur industriel à Bourges

Le choix du site pilote de l'entreprise MONIN à Bourges s'est imposé pour plusieurs raisons stratégiques. Cette usine, spécialisée dans la production de sirops et d'ingrédients pour boissons, dispose d'un procédé représentatif des enjeux hydriques de nombreuses industries alimentaires : besoins importants en eaux de processus, phases de nettoyage fréquentes et variabilité saisonnière de la production.

Avant le projet, le site consommait environ 59 000 m³ d'eau par an, principalement issue du réseau public, et rejetait des effluents dans une station d'épuration externe après un prétraitement interne. Les coûts associés à l'eau et au traitement représentaient plusieurs centaines de milliers d'euros annuels, sans compter le risque de tension en cas de restriction d'usage de la ressource.

Le site a été retenu pour sa volonté d'innovation, son implication historique dans des démarches environnementales (certification ISO 14001) et sa capacité à intégrer rapidement des technologies pilotes. Il présentait aussi un potentiel de réduction de la consommation identifié dès l'audit initial : plus de 20 % des volumes d'eau étaient destinés à des usages pouvant accepter une qualité moindre (lavages intermédiaires, circuits de refroidissement, purges de chaudières).

Le projet a consisté à installer une unité de traitement et de recyclage des eaux de processus, combinant préfiltration, microfiltration, nanofiltration, osmose inverse basse pression et désinfection UV. Des réseaux internes ont été modifiés pour séparer les circuits d'eau recyclée du réseau d'eau potable. Cette intégration a été conçue pour minimiser l'impact sur les opérations et permettre une exploitation sécurisée et flexible.

L'installation pilote a été dimensionnée pour traiter jusqu'à 50 m³/h, soit environ 60 % des besoins totaux du site.

5.2 Étapes clés de la mise en œuvre

La mise en œuvre du démonstrateur a suivi un déroulement en plusieurs phases :

1. **Phase de conception** : réalisation d'études détaillées de faisabilité technique et économique, incluant des simulations hydrauliques et des analyses HACCP pour intégrer le recyclage dans le PMS ;
2. **Phase de travaux** : adaptation des réseaux existants pour séparer les flux, installation des équipements de traitement (filtres, membranes, UV) et création de réservoirs tampons. Les travaux ont été programmés pour limiter l'arrêt de production ;
3. **Phase de mise en service du démonstrateur** : tests de performance, réglages des équipements, validation sanitaire par des séries d'analyses microbiologiques et physico-chimiques ;
4. **Formation du personnel** : sensibilisation des opérateurs à la logique des nouveaux circuits, aux points critiques de surveillance et aux interventions de maintenance courante ;
5. **Montée en puissance** : augmentation progressive des volumes traités et élargissement des usages de l'eau recyclée, en commençant par les applications à moindre criticité, puis en intégrant progressivement des usages plus sensibles.

Cette **approche progressive** a permis d'accompagner le changement culturel au sein de l'usine. Les opérateurs, initialement sceptiques vis-à-vis de la qualité des eaux recyclées, ont rapidement **gagné en confiance** grâce aux résultats analytiques et à l'absence d'incidents.

L'intégration d'un système de monitoring en continu a joué un rôle déterminant : des capteurs mesurant en permanence la turbidité, la conductivité, la température, et la charge microbiologique ont été reliés à un système d'alarme, garantissant une exploitation sécurisée.



5. Mise en œuvre sur site : retour d'expérience MONIN

5.3 Problèmes rencontrés et solutions apportées

Comme tout projet innovant, la mise en place du démonstrateur a rencontré plusieurs difficultés :

- **Variabilité des effluents** : selon les campagnes de production, la charge organique et la conductivité des eaux variaient fortement, entraînant des colmatages prématurés des membranes ;

Solution apportée : mise en place d'un prétraitement additionnel et adaptation de la fréquence des lavages chimiques (clean in place - CIP) ;

- **Intégration réseau** : la séparation stricte entre réseaux d'eau potable et d'eau recyclée a nécessité des travaux plus complexes que prévu, notamment pour éviter tout risque de retour d'eau ;

Solution apportée : installation de clapets anti-retour et création de circuits dédiés clairement identifiés ;

- **Acceptation du personnel** : la réutilisation d'eau a suscité des réticences, par crainte de dégrader la qualité des produits ;

Solution apportée : organisation de sessions de formation, diffusion des résultats analytiques et communication sur la conformité réglementaire ;

- **Surveillance analytique renforcée** : la mise en place de nombreux points de prélèvement a augmenté la charge de travail du laboratoire interne ;

Solution apportée : automatisation partielle des prélèvements et contractualisation avec un laboratoire externe pour les analyses de confirmation.

6. Suivi, monitoring et qualité

6.1 Laboratoire sur site et protocoles d'analyses

La qualité des eaux recyclées est un enjeu central de la REUSE. Sur le site MONIN, un laboratoire interne a été mobilisé pour effectuer des analyses régulières, complété par un laboratoire externe pour la confirmation des résultats.

Les paramètres suivis incluent :

- Des paramètres microbiologiques : cytométrie, bactéries coliformes, *Escherichia coli*, entérocoques intestinaux ;
- Des paramètres physico-chimiques : conductivité, pH, turbidité, dureté, titre alcalimétrique, titre alcalimétrique complet, carbone organique total, degré Brix, résidus de désinfection...

Les **protocoles** sont **intégrés** au **PMS** ainsi qu'à l'**HACCP** et validés par les autorités compétentes. Des prélèvements sont réalisés en plusieurs points : avant traitement, après microfiltration, en sortie de traitement, en stockage et aux points d'utilisation.

Les **contrôles sont adaptés au risque** pour les paramètres critiques et d'exploitation, ils doivent s'inscrire également dans un **plan de contrôle renforcé** en cas de défaillance.

La traçabilité est assurée par un **système informatique centralisé**, permettant de conserver l'historique des résultats et de générer des rapports pour les audits internes et externes.

6.2 Outils de suivi des performances

Le suivi en temps réel des performances est essentiel pour garantir la sécurité sanitaire et l'efficacité du système. Des **capteurs connectés** mesurent en continu des paramètres clés (débits, pression, conductivité, turbidité, température).

Ces données sont intégrées dans un **système de supervision** (SCADA), avec affichage en salle de contrôle et alertes automatiques en cas de dérive.

Des **tableaux de bord** synthétiques permettent de suivre les indicateurs de performance (**KPI**) : consommation d'eau par tonne de produit, volumes d'eau recyclée, taux de disponibilité des équipements, consommation énergétique et consommation de réactifs.

Ces outils facilitent la prise de décision, l'optimisation des réglages et la planification des opérations de maintenance. Ils permettent aussi d'alimenter les rapports de performance environnementale exigés par les autorités ou par la direction du groupe.

6.3 Indicateurs de performance environnementale et économique

Les indicateurs mis en place sur le site MONIN permettent d'évaluer l'impact global du projet :

- **Indicateurs environnementaux** : réduction de la consommation d'eau, diminution des rejets liquides, qualité des eaux recyclées, analyse du cycle de vie (ACV) permettant d'obtenir des indicateurs comme l'impact sur le changement climatique ;
- **Indicateurs économiques** : coûts d'exploitation du système, économies sur les achats d'eau et le traitement des effluents, retour sur investissement.

Après un an d'exploitation, les résultats montrent :

- Une réduction de 22 % des prélèvements d'eau par rapport à la situation initiale ;
- Une diminution de 100 % des volumes rejetés grâce à la réutilisation interne ;
- Une baisse des coûts d'eau et de traitement estimée à 90 000 €/an ;
- Une légère hausse des coûts énergétiques (pompage, membranes) compensée par les économies globales et la mise en place d'un échangeur thermique.

Ces performances sont suivies dans la durée afin d'évaluer leur stabilité et d'identifier les marges de progrès. Des audits réguliers permettent de s'assurer du maintien de la conformité réglementaire et de l'acceptation des parties prenantes (opérateurs, groupe MONIN, clients, autorités).



7. Résultats et impact du projet LIFE ZEUS

7.1 Réduction de la consommation d'eau

La réduction de la consommation d'eau est l'un des résultats les plus marquants du projet LIFE ZEUS. Dès la phase de diagnostic, il est apparu que 20 à 30 % de l'eau utilisée sur le site pilote MONIN de Bourges pouvait être remplacée ou optimisée sans compromettre la qualité des produits ni la sécurité sanitaire.

Optimisations à la source

La première étape a consisté à identifier les postes les plus consommateurs. Les analyses ont révélé que trois usages majeurs concentraient l'essentiel des volumes :

1. Nettoyage des équipements et des locaux : souvent réalisé avec de l'eau potable, ce poste représentait plus de 40 % de la consommation totale sur certains sites ;
2. Utilités industrielles (tours aéroréfrigérantes, chaudières, circuits de refroidissement) : environ 25 % de la consommation ;
3. Eaux utilisées pour la préparation des produits (hors eau ingrédient) : environ 20 %.

Des mesures organisationnelles ont été mises en place : ajustement des programmes de nettoyage en place (NEP), installation de buses économes, contrôle automatisé des débits, et réutilisation d'eaux de rinçage pour des prélavages.

Boucles de réutilisation interne

La mise en place de boucles de réutilisation a permis de réaffecter certaines eaux de processus, avec ou sans traitement complémentaire, à des usages moins critiques (ex. eaux de rinçage final réutilisées pour les lavages intermédiaires).

Résultats chiffrés

En moyenne, le site pilote a atteint une réduction de 60 % de la consommation d'eau, soit plusieurs dizaines de milliers de m³ économisés. Sur le site, la consommation spécifique est passée de 3,8 m³/tonne à 1,5 m³/tonne de produit.

Ces résultats sont d'autant plus remarquables qu'ils ont été obtenus sans investissement massif sur les procédés de fabrication eux-mêmes, mais par une approche systématique d'optimisation et de recyclage.

Extrapolation

Si l'ensemble des IAA françaises adoptait ces pratiques, le gain potentiel serait estimé à plusieurs millions de m³/an, soit l'équivalent de la consommation en eau d'une ville moyenne. Outre l'impact environnemental, ces économies représenteraient une réduction des coûts pouvant atteindre 5 à 10 % sur la facture eau-assainissement des sites.

7.2 Réduction des rejets et valorisation des coproduits

La réduction des rejets est l'autre pilier des résultats du projet LIFE ZEUS. Le site pilote a réussi à diminuer de 100 % en moyenne ses rejets liquides, transformant un problème environnemental en opportunité.

Réduction des volumes rejetés

Cette réduction est principalement due à deux actions :

1. Réutilisation des eaux de processus traitées : en réinjectant l'eau dans des circuits internes permettant de réduire le rejet en sortie du site ;
2. Séparation des flux concentrés : en isolant les eaux fortement polluées (par exemple, les saumures), il est possible de les traiter spécifiquement, évitant ainsi de reporter cette charge sur l'ensemble des eaux à traiter.

Sur le site pilote, le rejet est passé de 200 m³/jour à seulement 60 m³/jour, ce qui a permis une réduction importante des coûts d'assainissement et une meilleure résilience face aux sécheresses et/ou aux restrictions réglementaires.

Amélioration de la qualité du rejet potentiel

Dans le cas d'un rejet potentiel vers le réseau d'assainissement collectif, celui-ci présenterait une qualité nettement supérieure à celle du rejet avant la mise en place du démonstrateur étant donné qu'il s'agirait d'un perméat d'OI, les concentrats étant valorisés vers une filière de méthanisation.

Ces améliorations facilitent le respect des normes et réduisent la charge de traitement des stations d'épuration collectives.

7. Résultats et impact du projet LIFE ZEUS

Valorisation des coproduits

Le projet a innové en valorisant les coproduits générés par les traitements :

- Les concentrats de filtration sont orientés vers la méthanisation pour produire du biogaz, contribuant à l'autonomie énergétique de certaines installations ;
- Les concentrats des saumures traitées sont également envoyés vers la méthanisation en fonction de leur conductivité ;
- En plus de produire du biogaz, la méthanisation génère des digestats qui sont valorisés comme fertilisants liquides sur les sols agricoles.

7.4 Estimation des impacts environnementaux

L'estimation des impacts environnementaux du projet LIFE ZEUS a été menée à l'aide de la méthode d'analyse du cycle de vie (Annexe B de ce livre enrichi). Grâce à cette approche multicritères, il a été possible de comparer la situation avant et après la mise en place du démonstrateur, en tenant compte des différents types de dommages potentiels.

Une vingtaine d'indicateurs ont été mobilisés pour caractériser les effets du système de réutilisation des eaux (REUSE), parmi lesquels : le changement climatique, l'eutrophisation des milieux aquatiques, le risque de stress hydrique ou encore la formation de particules fines.

Pour l'estimation des impacts environnementaux, il a été considéré la réinjection des eaux traitées dans le réseau de distribution du site.

Frontières d'étude

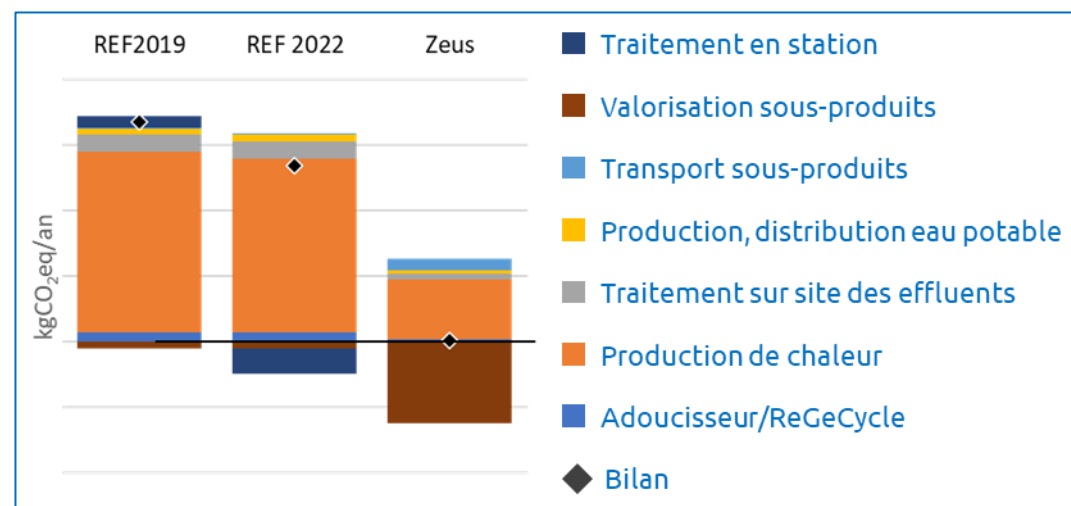
La solution de REUSE proposée dans le projet LIFE ZEUS permet de réduire fortement la consommation d'eau potable. Cette économie hydrique s'accompagne cependant d'une hausse de la demande en électricité pour alimenter les procédés membranaires. En parallèle, la solution présente un avantage énergétique notable : elle diminue les besoins en chaleur pour réchauffer l'eau destinée au réseau. Les effluents traités affichent en effet une température minimale d'environ 30 °C, alors que l'eau potable est généralement introduite entre 15 °C et 18 °C. Ce différentiel thermique permet de récupérer directement la chaleur contenue dans les eaux traitées, sans perte liée à un échangeur thermique.

Enfin, les concentrats riches en sucres issus du procédé sont valorisés en méthanisation. Ils contribuent ainsi à la production de biométhane, ensuite injecté dans le réseau de gaz, ce qui permet de réduire la dépendance aux gaz naturels d'origine fossile.

Indicateurs environnementaux majoritaires

Parmi les indicateurs mobilisés, celui lié au changement climatique occupe une place centrale, aux côtés de trois autres indicateurs majeurs : la formation de particules fines, l'eutrophisation et l'acidification des sols.

L'indicateur de changement climatique permet d'évaluer les impacts liés aux émissions de gaz à effet de serre. L'indicateur concernant la formation de particules fines est quant à lui associé aux polluants atmosphériques issus, par exemple, de la combustion d'énergies fossiles ou encore des émissions azotées dans l'air. L'acidification terrestre résulte également des émissions d'azote et de soufre qui, en se déposant dans l'atmosphère, peuvent conduire à la formation de pluies acides et à la dégradation des sols. Enfin, l'eutrophisation est liée aux apports excessifs de nutriments – principalement l'azote et le phosphore – dans les milieux aquatiques, susceptibles de perturber les écosystèmes.



Indicateur du changement climatique exprimé en kg CO₂ eq/an et comparaison avec 2 références antérieures au projet LIFE ZEUS (résultats préliminaires)

7. Résultats et impact du projet LIFE ZEUS

Réduction des impacts potentiels

La diminution des impacts environnementaux observée résulte de la combinaison de quatre leviers principaux :

- La baisse des besoins en chauffage de l'eau, habituellement assurée par une chaudière au gaz naturel ;
- La valorisation énergétique des concentrats, qui permet de substituer une partie du gaz naturel par du biométhane ;
- L'absence de traitement des effluents en station d'épuration ;
- La réduction des consommations d'eau potable.

Les deux premiers leviers contribuent à eux seuls à la quasi-totalité de la diminution des émissions liées au changement climatique. Cependant, un indicateur se distingue : l'acidification des sols. Contrairement aux autres, il ne présente pas de réduction notable. Cette situation s'explique par deux facteurs : le transport des concentrats et l'épandage des digestats sur les terres agricoles. Néanmoins, l'impact associé demeure du même ordre de grandeur que dans le scénario de référence, illustrant ainsi un équilibre entre les effets aggravants et compensateurs.



7.5 Gains énergétiques et économiques

Bilan énergétique

L'intégration des nouvelles technologies (osmose inverse basse pression, récupération de chaleur sur certaines étapes, optimisation des pompes) a permis de réduire la consommation d'énergie de 15 à 20 % par m³ d'eau produite par rapport aux technologies classiques.

Cette performance résulte d'une sélection rigoureuse des équipements et de la mise en place de systèmes de contrôle automatisés qui adaptent la production aux besoins réels.

Économie de ressources et coûts

Sur le site pilote, les économies proviennent de plusieurs leviers :

- La réduction des achats d'eau potable (jusqu'à 60 %) et des volumes à traiter en externe a permis de diminuer les coûts d'assainissement. Résultat : la facture annuelle liée à l'eau et à l'assainissement a baissé, compensant l'augmentation modérée des coûts énergétiques ;
- La valorisation des coproduits permettant de générer des revenus ou de réduire les dépenses d'élimination.

Retour sur investissement

Selon le niveau de consommation initiale, la complexité du projet et le contexte stratégique, le retour sur investissement des installations de traitement est variable : les sites ayant une consommation importante obtiennent un ROI plus faible que les sites de taille moyenne à petite.

Gains indirects

En plus des gains financiers directs, les sites industriels réalisant de la REUSE bénéficient d'avantages stratégiques qui favorisent l'acceptabilité et facilitent la répliquabilité du projet :

- Une image renforcée auprès de leurs clients, partenaires et salariés grâce à une communication environnementale positive ;
- Une anticipation réglementaire : la conformité aux normes futures est assurée ;
- Une réduction des risques liés aux restrictions d'eau ou à l'augmentation des tarifs ;
- La maîtrise d'une eau de grande qualité.

8. Reproductibilité et transfert

8.1 Facteurs clés de réussite pour d'autres sites

L'expérience LIFE ZEUS montre que plusieurs conditions sont nécessaires pour garantir le succès de projets similaires :

- L'implication de la direction dès le début, pour lever les freins internes et soutenir les investissements ;
- Une communication interne et externe, tout au long du projet, afin d'expliquer les objectifs, les bénéfices et les résultats attendus pour dissiper les éventuelles craintes (qualité, sécurité sanitaire) et impliquer toutes les parties prenantes (salariés, clients, autorités, riverains) ;
- Un diagnostic hydrique précis, pour cartographier les flux, identifier les points de consommation et déterminer les usages compatibles avec de l'eau réutilisée ;
- Un accompagnement technique et réglementaire, car les projets impliquent des procédures techniques, administratives et juridiques ;
- Une conception modulaire et évolutive des installations, permettant d'intégrer de nouvelles boucles de recyclage ou d'augmenter les capacités selon l'évolution des besoins ;
- L'intégration de la gestion des coproduits de traitement dès la conception ;
- Une robustesse des procédés avec un choix de technologies fiables et conçus pour une exploitation opérationnelle ;
- L'acceptation culturelle du personnel et l'adaptation des pratiques, obtenues par la formation et la transparence des résultats.

Ces facteurs sont reproductibles dans d'autres filières agroalimentaires, à condition de tenir compte des spécificités locales (type de production, configuration des ateliers, qualité de l'eau disponible et exigences des usages).

8.2 Éléments transférables et reproductibles dans d'autres filières agroalimentaires

Les solutions testées dans LIFE ZEUS sont particulièrement adaptées à des secteurs présentant des besoins hydriques élevés et une exigence de qualité sanitaire : laiteries, abattoirs, brasseries, sucreries.

L'adaptabilité des technologies membranaires, des systèmes de désinfection et des schémas en cascade permet une transposition relativement directe. Les adaptations portent surtout sur la nature des effluents et les contraintes spécifiques liées aux besoins.

Le marché potentiel est important : plusieurs centaines de sites en France pourraient déployer ces solutions dans les cinq prochaines années, avec un impact significatif sur la consommation nationale d'eau industrielle.

La reproductibilité d'un projet de réutilisation de l'eau dépend directement de trois grands piliers : le cadre réglementaire, l'adaptation technique et l'organisation interne des sites. Ces trois dimensions doivent être considérées dès la phase de conception, car leur intégration précoce conditionne le succès du déploiement et la pérennité des solutions.

8.3 Accompagnement et financement

A grande échelle, la reproductibilité nécessite un soutien institutionnel fort tel que l'aide des agences de l'eau, des dispositifs fiscaux incitatifs, de l'accompagnement technique régional et national, etc. Ces leviers facilitent l'investissement initial et accélèrent le déploiement des solutions dans d'autres filières.



L'Arrêté du 8 juillet 2024 définit les catégories d'usages autorisés, les régimes de déclaration et d'autorisation, ainsi que les exigences de qualité applicables aux eaux réutilisées pour la préparation, la transformation et la conservation de toutes denrées et marchandises destinées à l'alimentation humaine, y compris pour procéder au nettoyage des locaux, installations et équipements.

Ces exigences de qualité sont fonction :

- Du type d'eau réutilisée : eaux recyclées issues des matières premières, eaux de processus recyclées, eaux usées traitées recyclées ;
- De la catégorie d'usage de l'eau réutilisée : sans contact, contact indirect, contact direct avec les produits primaires et les denrées alimentaires ;
- Des éventuelles étapes de maîtrise ultérieures du processus de recyclage des eaux (collecte, traitement, stockage, distribution et utilisation).

B.1. Eaux recyclées issues des matières premières et des eaux de processus recyclées

Les exigences de qualité requises pour la réutilisation des eaux recyclées issues des matières premières et des eaux de processus recyclées sont précisées dans l'article 5 et l'annexe 2 de l'Arrêtée du 8 juillet 2024.

L'article 5 rappelle que ces eaux doivent être compatibles avec les prescriptions relatives à la sécurité des denrées alimentaires définies par le règlement (CE) n° 178/2002. L'exploitant est ainsi tenu d'intégrer la réutilisation de ces eaux dans son plan HACCP. Ce plan doit être revu périodiquement et révisé en tant que de besoin et notamment en cas de modification significative.

Pour la réalisation de l'analyse des dangers, l'exploitant peut prendre en compte les recommandations des guides de bonnes pratiques d'hygiène établis par chaque filière du secteur alimentaire. Cette étude des dangers doit s'appuyer sur les caractéristiques du procédé de transformation et aux étapes ultérieures afin d'identifier les paramètres pertinents pouvant avoir un impact sanitaire sur les denrées finales. Une attention particulière doit être portée sur les risques d'accumulation progressive d'agents biologiques ou chimiques, ainsi que d'apport potentiel de sous-produits lorsque les eaux de processus recyclées subissent des utilisations successives.

Enfin, sur la base de l'analyse des dangers, les eaux recyclées issues des matières premières et des eaux de processus recyclées doivent respecter, à chaque point d'utilisation, les exigences minimales de qualité fixées à l'annexe 2.

Exigences minimales de qualité des eaux recyclées issues de la matière première et eaux de processus recyclées (annexe 2)

Catégories d'usages (article 2)	Exigences minimales de qualité (article 5)
1.1 : Contact direct, sans étape de maîtrise (incluant eau ingrédient)	Paramètres bactériologiques : • Valeur limites fixées pour les paramètres réglementés pour les eaux destinées à la consommation humaine tels que définis dans l'annexe 1 de l'arrêté du 11 janvier 2007 Paramètres physico-chimiques : • Paramètres identifiés à travers l'analyse des dangers tels que définie à l'article 5
1.2 : Contact direct, avec étape de maîtrise (incluant eau ingrédient)	Eau propre, prenant en compte les paramètres identifiés à travers l'analyse des dangers tels que définie à l'article 5
2.1 : Contact indirect, sans étape de maîtrise	Paramètres bactériologiques : • Valeur limites fixées pour les paramètres réglementés pour les eaux destinées à la consommation humaine tels que définis dans l'annexe 1 de l'arrêté du 11 janvier 2007 Paramètres physico-chimiques : • Paramètres identifiés à travers l'analyse des dangers tels que définie à l'article 5
2.2 : Contact indirect, avec étape de maîtrise	Eau propre, prenant en compte les paramètres identifiés à travers l'analyse des dangers tels que définie à l'article 5
3 : Sans contact	Paramètres pertinents pour l'usage considéré tels qu'identifiés à travers l'analyse des dangers tels que définie à l'article 5

L'article 7, relatif à la maîtrise du processus de collecte, traitement, stockage, distribution et utilisation des eaux recyclées issues des matières premières et des eaux de processus recyclées, précise les obligations de l'exploitant pour garantir la compatibilité sanitaire de ces eaux. Il impose notamment la mise en place :

- D'un programme de surveillance des procédés de traitement, fondé sur l'HACCP et s'appuyant sur des analyses rapides ou des mesures en continu ;
- D'un programme de vérification périodique de l'efficacité du plan HACCP, reposant sur des prélèvements d'échantillons d'eaux et des analyses couvrant l'ensemble des paramètres jugés pertinents dans l'analyse des dangers prévue à l'article 5.

L'ensemble de ces paramètres doit être analysé à une fréquence définie par l'exploitant, permettant une maîtrise effective des risques.

Lorsque les eaux recyclées font l'objet d'un traitement de désinfection, l'exploitant doit garantir l'efficacité du traitement appliqué, tout en maintenant les concentrations en sous-produits de désinfection au niveau le plus faible possible sans compromettre la désinfection. Ces concentrations doivent être conformes aux exigences de qualité définies à l'annexe 2.

Si l'exploitant a des raisons de suspecter la présence de dangers non identifiés initialement dans l'analyse des dangers mais susceptibles de compromettre la salubrité des denrées alimentaires, il doit immédiatement mener des investigations et réaliser des analyses pour évaluer le risque, et prendre si nécessaire des mesures correctives afin de réduire ce risque à un niveau acceptable.

Enfin, l'article 7 prévoit que le nombre de paramètres contrôlés ou la fréquence des analyses doit être augmenté lorsque :

- Les paramètres à contrôler ou les fréquences d'analyses établies ne permettent pas de satisfaire les obligations imposées en vertu de l'article 5 ;
- Une vérification supplémentaire est requise dans le cas de suspicion de dangers non identifiés initialement dans l'analyse des dangers ;
- La surveillance des procédés est inadaptée pour assurer la maîtrise des risques pour la santé humaine à toutes les étapes de collecte, traitement, stockage, distribution et utilisation des ces eaux.

B.2. Eaux usées traitées recyclées

L'article 3 de l'Arrêté du 8 juillet 2024, relatif à la qualité des eaux brutes en vue de la production d'eaux usées traitées recyclées, fixe les obligations suivantes :

- L'exploitant de l'établissement de production des eaux usées traitées recyclées doit intégrer l'origine et les caractéristiques des eaux brutes dans son plan HACCP ;
- Avant tout traitement complémentaire nécessaire à leur recyclage, les eaux usées doivent être traitées dans la station de traitement interne de l'établissement afin d'atteindre les valeurs limites d'émission prévues par la réglementation ICPE ;
- S'agissant de l'activité de production et d'utilisation d'eaux usées traitées recyclées, l'exploitant doit caractériser en sortie de station de traitement des eaux usées la qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eaux usées traitées recyclées.

Les exigences de qualité requises pour la réutilisation des eaux usées traitées recyclées sont précisées dans l'article 4 et l'annexe 2 de l'Arrêté du 8 juillet 2024.

L'article 4 impose à l'exploitant d'intégrer la réutilisation des eaux usées traitées recyclées dans son plan HACCP. Ce plan doit être revu périodiquement et révisé en tant que de besoin, notamment en cas de modification du processus de traitement des eaux ou de changement des intrants.

Pour la réalisation de l'analyse des dangers, l'exploitant peut prendre en compte les recommandations des guides de bonnes pratiques d'hygiène établis par chaque filière du secteur alimentaire. L'analyse des dangers doit à minima prendre en compte les paramètres réglementés pour les eaux destinées à la consommation humaine, les critères microbiologiques dans le domaine alimentaire définis par le règlement (CE) n° 2073/2005, ainsi que les contaminants réglementés dans le domaine alimentaire définis par le règlement (UE) 2023/915. Si nécessaire, l'analyse des dangers prend également en compte tout agent biologique ou chimique d'intérêt, ainsi qu'une évaluation du risque d'apports d'allergènes par les eaux usées traitées recyclées dans la denrée alimentaire finale.

L'analyse des dangers doit également couvrir les caractéristiques du procédé de fabrication de la denrée alimentaire, les étapes de maîtrise des dangers, les risques de dégradation de la qualité des eaux brutes et des eaux usées traitées recyclées lors du stockage ou de la distribution, ainsi que les risques d'accumulation de contaminants (agents biologiques, chimiques, sous-produits) en cas d'utilisation successive des eaux usées traitées recyclées.

Sur la base de l'analyse des dangers, l'exploitant doit :

- Définir le niveau de qualité attendu des eaux usées traitées recyclées avant usage et selon les usages envisagés ;
- Démontrer la compatibilité de ces eaux avec les prescriptions relatives à la sécurité des denrées alimentaires définies par le règlement (CE) n° 178/2002 ;
- S'assurer du respect des critères fixés dans l'annexe 2 ;
- Décrire dans le plan de maîtrise sanitaire les actions à mettre en œuvre pour prévenir et maîtriser les dangers identifiés.

Si des agents spécifiques sont identifiés dans l'analyse des dangers (agents biologiques, chimiques ou physiques), l'exploitant doit définir des exigences de qualité supplémentaires pour ces agents et intégrer dans le plan de maîtrise sanitaire des actions spécifiques de maîtrise des risques associés, incluant des traitements adaptés et la réalisation d'une surveillance ciblée des procédés.

Exigences minimales de qualité des eaux usées traitées recyclées (annexe 2)

Catégories d'usages (article 2)	Exigences minimales de qualité (article 4)
1.1 : Contact direct, sans étape de maîtrise	Valeur limites fixées pour les paramètres réglementés pour les eaux destinées à la consommation humaine tels que définis par l'arrêté du 11 janvier 2007
1.2 : Contact direct, avec étape de maîtrise	Paramètres bactériologiques : - Valeur limites fixées pour les paramètres réglementés pour les eaux destinées à la consommation humaine tels que définis par l'arrêté du 11 janvier 2007 Paramètres physico-chimiques : - Paramètres identifiés à travers l'analyse des dangers tels que définie à l'article 4
2.1 : Contact indirect, sans étape de maîtrise	Valeur limites fixées pour les paramètres réglementés pour les eaux destinées à la consommation humaine tels que définis par l'arrêté du 11 janvier 2007
2.2 : Contact indirect, avec étape de maîtrise	Paramètres bactériologiques : - Valeur limites fixées pour les paramètres réglementés pour les eaux destinées à la consommation humaine tels que définis par l'arrêté du 11 janvier 2007 Paramètres physico-chimiques : - Paramètres identifiés à travers l'analyse des dangers tels que définie à l'article 4
3 : Sans contact	Paramètres bactériologiques : - Escherichia coli : absence dans 100 mL - Entérocoques : absence dans 100 mL

L'article 4 précise également que l'arrêté préfectoral d'autorisation de production ou d'utilisation d'eaux usées traitées recyclées fixe les exigences de qualité pour les autres paramètres pertinents identifiés pour caractériser les eaux brutes avant tout traitement complémentaire en vue du recyclage et pour caractériser les eaux usées traitées recyclées.

Enfin, dans le but de garantir une maîtrise complète des risques liées à la réutilisation des eaux usées traitées recyclées :

- Les performances de la filière de traitement des eaux doivent être validées et les données issues de cette validation doivent être tenues à la disposition des services de contrôle ;
- Les taux d'abattement garantis par le traitement doivent être présentés par l'exploitant à l'autorité compétente ;

- Les produits et procédés de traitement utilisés ainsi que les matériaux et objets en contact avec l'eau doivent être conformes aux dispositions du Code de la Santé Publique (articles R. 1321-50 et R. 1321-48).

L'article 6, relatif à la maîtrise du processus de collecte, traitement, stockage, distribution et utilisation d'eaux usées traitées recyclées, précise les obligations du titulaire de l'autorisation de production et d'utilisation de ces eaux pour garantir la compatibilité sanitaire de celles-ci. Il impose notamment la mise en place :

- D'un programme de surveillance des procédés de traitement, fondé sur l'HACCP et s'appuyant sur des analyses rapides ou des mesures en continu ;
- D'un programme de vérification périodique de l'efficacité du plan HACCP, reposant sur des analyses couvrant l'ensemble des paramètres jugés pertinents dans l'analyse des dangers mentionnée aux articles 3 et 4.

L'ensemble de ces paramètres doit être analysé à une fréquence définie par l'exploitant, permettant une maîtrise effective des risques.

Lorsque les eaux usées traitées recyclées font l'objet d'un traitement de désinfection, le titulaire de l'autorisation de production et d'utilisation de ces eaux doit garantir l'efficacité du traitement appliqué, tout en maintenant les concentrations en sous-produits de désinfection au niveau le plus faible possible sans compromettre la désinfection. Ces concentrations doivent être conformes aux exigences de qualité définies à l'annexe 2.

Si l'exploitant a des raisons de suspecter la présence de dangers non identifiés initialement dans l'analyse des dangers mais susceptibles de compromettre la salubrité des denrées alimentaires, il doit immédiatement mener des investigations et réaliser des analyses pour évaluer le risque, et prendre si nécessaire des mesures correctives afin de réduire ce risque à un niveau acceptable.

Enfin, l'article 7 prévoit que le nombre de paramètres contrôlés ou la fréquence des analyses doivent être augmentés lorsque :

- Les paramètres à contrôler ou les fréquences d'analyses établies ne permettent pas de satisfaire les obligations imposées en vertu de l'article 4 ;
- Une vérification supplémentaire est requise dans le cas de suspicion de dangers non identifiés initialement dans l'analyse des dangers ;
- La surveillance des procédés est inadaptée pour assurer la maîtrise des risques pour la santé humaine à toutes les étapes de collecte, traitement, stockage, distribution et utilisation des ces eaux.

L'analyse de cycle de vie (AVC) est une méthode normalisée (ISO 14044) permettant de réaliser un bilan environnemental d'un produit, d'un service ou d'un processus sur l'ensemble de son cycle de vie, c'est-à-dire depuis l'extraction des matières premières, sa fabrication, son usage à sa fin de vie (recyclage, traitement, mise en décharge, etc.).

Contrairement au Bilan Carbone® qui se focalise uniquement sur l'indicateur « changement climatique » en terme d'impact environnemental, l'ACV propose une vision plus large en adoptant une approche multicritères (ex. gaz à effet de serre, eutrophisation, biodiversité, toxicité, etc.).

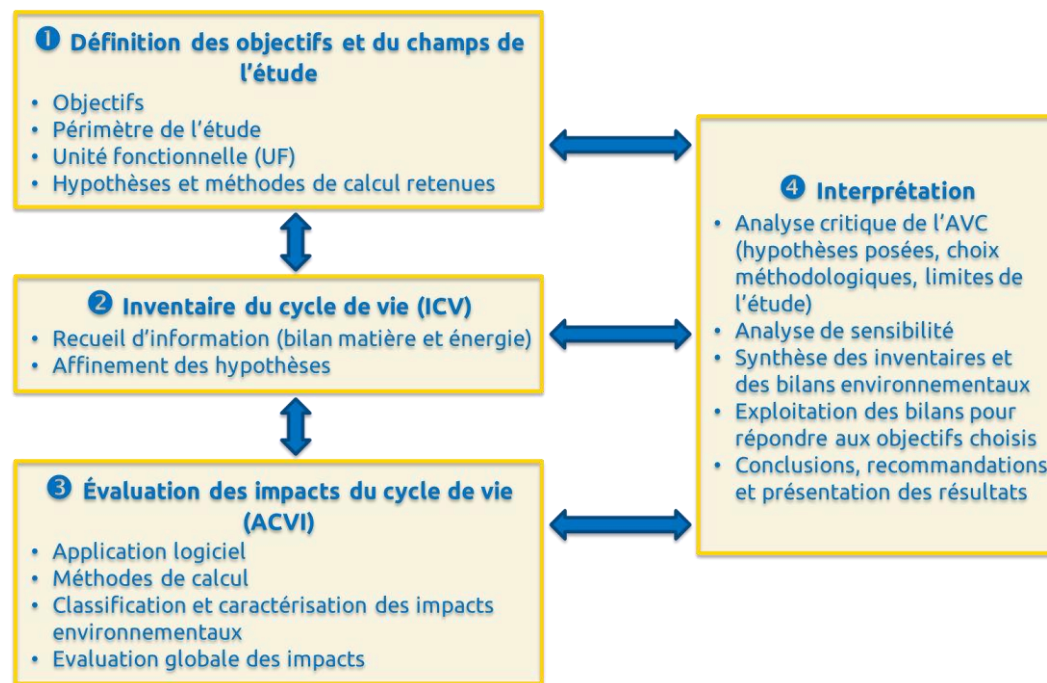
La réalisation d'une ACV comporte 4 grandes étapes :

- 1. La définition des objectifs et du champs de l'étude** qui a pour but de choisir les types d'ACV (comparative ou dans un objectif d'éco-conception, la fonction du système étudiée, et le périmètre d'étude) ;
- 2. La création de l'inventaire et son analyse.** Il s'agit de la partie la plus chronophage de la méthode qui consiste à inventorier tous les flux de matières et d'énergie à l'intérieur du périmètre et à l'extérieur, en considérant les flux de produits mais aussi les flux émis dans l'environnement (air, sol et eau) et les flux extraits de l'environnement. ;
- 3. L'évaluation des impacts.** Cette étape a pour but d'évaluer les impacts potentiels pour chacun des flux élémentaires présents dans l'inventaire. Ces impacts se déclinent en 2 catégories : les midpoints et les endpoints.

Les midpoints permettent de quantifier les impacts environnementaux sur une catégorie d'impacts dont les liens de cause à effet entre les émissions de substances et l'impact sont bien quantifiés. On retrouve par exemple les catégories d'impact tels que le changement climatique, l'eutrophisation, la raréfaction des ressources métalliques, etc. Ces impacts sont quantifiés avec des unités physiques (ex. kg CO₂ eq, kg N, etc.) qui ne permettent pas une comparaison entre catégories d'impact.

Les endpoints permettent d'agréger les différents impacts pour les comparer entre eux, l'unité des dommages est ainsi le point. Ces méthodes permettent ainsi de connaître les types d'impact majoritaires sur les dommages causés et donc ceux à analyser en priorité. Cependant, ces méthodes nécessitent une hiérarchisation des impacts les uns par rapport aux autres qui ne dépend pas que de liens biophysiques. Les résultats sont ainsi moins précis et doivent aider surtout à donner les tendances.

- 4. L'interprétation des résultats** vise à établir des conclusions au regard des objectifs définis. Il est indispensable d'évaluer la qualité des résultats au regard des incertitudes des données et des méthodes.



- **AMPG** : Arrêté Ministériel de Prescriptions Générales
- **BREF** : Best Available Techniques REference Documents
- **BREF FDM** : Best Available Techniques REference Documents for the Food, Drink and Milk industries (BREF des industries agro-alimentaires et laitières)
- **CAPEX** : Capital expenditure (dépenses d'investissement)
- **CIP** : Clean in place (nettoyage en place)
- **DCO** : Demande chimique en oxygène
- **Directive IED** : Directive sur les émissions industrielles
- **ENC** : Eaux non conventionnelles
- **HACCP** : Hazard Analysis Critical Control Points (analyse des dangers et la maîtrise des points critiques)
- **IAA** : Industrie agroalimentaire
- **ISO** : International Organization for Standardization (Organisation internationale de normalisation)
- **KPI** : Key Performance Indicators (indicateurs clés performance)
- **MES** : Matières en suspension
- **MF** : Microfiltration
- **MRS** : Matériels à risque spécifiés
- **MTD** : Meilleures techniques disponibles
- **NEP** : Nettoyage en place
- **NF** : Nanofiltration
- **NTU** : Nephelometric Turbidity Unit (unité de turbidité néphélométrique)
- **OI** : Osmose inverse
- **PF** : Préfiltration
- **PME** : Petite et moyenne entreprise
- **PMS** : Plan de maîtrise sanitaire. Ensemble de procédures garantissant la sécurité sanitaire des denrées alimentaires, incluant désormais la gestion des eaux réutilisées
- **REUSE** : Réutilisation des eaux. Au sein d'une IAA, le terme REUSE englobe les eaux recyclées issues des matières premières, les eaux de processus recyclées et les eaux usées traitées recyclées
- **REUT** : Recyclage des Eaux Usées Traitées
- **SCADA** : Supervision Control and Data Acquisition. Système de contrôle et d'acquisition de données utilisé pour superviser en temps réel la qualité et le fonctionnement des installations.
- **STEP** : Station d'épuration
- **TAR** : Tour aéroréfrigérante
- **UF** : Ultrafiltration
- **UV** : Ultraviolet
- **ZLD** : Zero Liquid Discharge (ou ZRD zéro rejet liquide). Modèle d'exploitation industrielle ne rejetant aucun effluent liquide dans l'environnement, grâce à la réutilisation et à la valorisation intégrale des flux



Le projet ZEUS (LIFE20 ENV/FR/000186) a reçu le financement du programme LIFE de l'Union Européenne



ZEUS

Zero liquid discharge
water reuse



MONIN[®]



CHEMDOC
Water Technologies



INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
TOULOUSE



OiEau
Office International
de l'Eau



Livre enrichi disponible sur la Base
de Connaissance Eau & Biodiversité



BASE DE CONNAISSANCE
EAU & BIODIVERSITÉ

