

Panorama des procédés de désinfection dans les stations de traitement des eaux usées inférieures à 10 000 EH

Yann PASTEL, Sophie BESNAULT, Rémi LOMBARD-LATUNE, Stéphanie PROST-BOUCLE

2025

► **Auteurs**

Yann PASTEL (INRAE REVERSAAL)

Sophie BESNAULT (INRAE REVERSAAL)

Rémi LOMBARD-LATUNE (INRAE REVERSAAL)

Stéphanie PROST-BOUCLE (INRAE REVERSAAL)

► **Contributeurs**

Membres de l'atelier de travail « Procédés nouveaux » du groupe Epnac :

Christophe AUGER (SATEA 49)

Hugues Barbier (SATESE 54)

Christophe Bonnet (SATESE 48)

Marc Boucher (ATD 24)

Baptiste Bouhier (SEA 29)

Pascal Bourdoncle (SATESE 82)

Michel Cornic (SEA 29)

Hosni Dridi (AE SN)

Delphine Lachassagne (SYDED du Lot)

Pascal Molle (INRAE)

Jean-Michel Monnet (DDT 26)

Eric Moussard (SATESE 30)

Lucas Pelus (OE Martinique)

Joseph Pronost (OiEau)

Yann Seyrig (SEA 29)

Fabienne Tanchaud (Parc National de Port-Cros)

Laurent Thaunat (AELB)

► **Remerciements**

Les auteurs remercient les Conseils Départementaux, via leurs services d'assistance technique aux exploitants de stations de traitement des eaux usées (SATESE), les Directions départementales des territoires (DDT), les collectivités territoriales, les groupements de collectivités, les syndicats mixtes ainsi que les exploitants privés qui ont répondu à l'enquête nationale, fourni des données pour cette étude et réalisé des bilans.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	3
LISTE DES TABLEAUX	4
1 INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
2 BIBLIOGRAPHIE : ENJEUX DE LA DESINFECTION DES EAUX USEES	8
2.1 Microorganismes dans les eaux usées.....	8
2.2 Risque sanitaire.....	8
2.3 Paramètres indicateurs et élimination des microorganismes	8
3 MATERIELS ET METHODES	10
3.1 Enquête nationale.....	10
3.2 Données d'autosurveillance et exigences réglementaires	10
4 PANORAMA DE LA DESINFECTION DES EAUX USEES EN FRANCE	11
4.1 Procédés de désinfection.....	11
4.2 Activités humaines en aval du rejet justifiant la désinfection des eaux usées.....	13
4.3 Utilisation au cours de l'année	16
4.4 Fonctionnement.....	18
4.4.1 Désinfection par lampes UV.....	19
4.4.2 Lagunage.....	20
4.4.3 Chloration.....	21
4.4.4 Systèmes membranaires	21
4.4.5 Filtration sur lit filtrant.....	21
5 CONFORMITE ET ESTIMATION DE PERFORMANCE BASEES SUR LES DONNEES D'AUTOSURVEILLANCE 23	
5.1 Conformité	23
5.2 Abattement de la charge microbiologique	24
6 PROBLEMATIQUES MISES EN EVIDENCE ET RECOMMANDATIONS	26
6.1 Moyens et compétences locales des petites et moyennes collectivités	26
6.2 Choix techniques et conception des systèmes	26
7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES	28
BIBLIOGRAPHIE	29
ANNEXE 1 : LISTE DES QUESTIONS DE L'ENQUETE NATIONALE REALISEE DANS LE CADRE DE L'ETUDE EPNAC	30

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Représentation schématique du classement des micro-organismes en fonction de leur résistance aux traitements de désinfection tertiaire des eaux résiduaires (chloration, UV) (adapté de Pierzo, 2000).	9
Figure 2 : Comparaison des abattements maximum pour les quatre groupes de microorganismes, en fonction du procédé de traitement (Guillaume-Ruty et al., 2024).....	10
Figure 3 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de systèmes de désinfection ou soumises à une exigence de désinfection, en fonction du procédé de désinfection installé.	12
Figure 4 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, sur le territoire français et en fonction du procédé de désinfection installé	13
Figure 5 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, en fonction des raisons justifiant la désinfection. Total supérieur à 100 % car la désinfection au niveau d'une station peut être mise en place pour plusieurs raisons.	14
Figure 6 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, sur le territoire français et en fonction des raisons justifiant la désinfection.	15
Figure 7 : Carte représentant la répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection sur le territoire français ; les zones conchylicoles françaises et les départements avec un ou plusieurs sites avec une qualité insuffisante des eaux de baignade en 2022 (Données de rapportage de la saison balnéaire, 2022).	16
Figure 8 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, sur le territoire français et en fonction de l'utilisation de la désinfection au cours de l'année.....	17
Figure 9 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, en fonction de leur état de fonctionnement et des problématiques majeures.....	18
Figure 10 : Répartition, par procédé de désinfection, des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, en fonction du niveau de fonctionnement et des problématiques majeures rencontrées.....	18
Figure 11 : Réacteur UV, installé au sol	19
Figure 13 : Entretien des lampes UV d'un réacteur	19
Figure 12 : Nettoyage d'un réacteur UV, encrassé par des algues	19
Figure 14 : Réacteur UV exposé au soleil.....	19
Figure 15 : Réacteur UV installé dans un regard, sous le niveau du sol	20
Figure 16 : Filtre à sable lent, installé en 2001 avec problème de colmatage et fuites vers le milieu récepteur	21
Figure 17 : Répartition des résultats d'analyses microbiologiques en fonction de leur conformité réglementaire et des procédés de désinfection équipant les stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH).....	23
Figure 18 : Répartition des résultats d'analyses microbiologiques des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, en fonction des départements français ayant fourni des données.	24
Figure 19 : Répartition statistique des valeurs d'abattement en charge microbiologique des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), pour le paramètre Escherichia coli, en fonction du procédé de désinfection installé.....	25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Avantages et contraintes majeures observés pour les différents procédés de désinfection....	5
Tableau 2 : Caractérisation des microorganismes présents dans les eaux résiduaires urbaines (Guillaume et al., 2020)	8

SYNTHESE

Certaines stations de traitements des eaux usées sont équipées de systèmes de désinfection pour réduire les risques sanitaires liés aux usages sensibles en aval des rejets d'eaux usées traitées. Un des systèmes utilisés consiste à désinfecter avec des lampes UV. Or, des problèmes de performance ou d'exploitation ont été observés sur certains systèmes de désinfection par lampes UV. C'est pourquoi, l'atelier « Procédés nouveaux » du groupe Epnac a réalisé une étude des performances de la désinfection des eaux usées traitées dans les petites et moyennes collectivités françaises. Ce rapport présente les résultats de la première phase de l'étude qui visait à dresser un panorama des stations françaises équipées de systèmes de désinfection. Nous nous sommes focalisés sur les stations de capacité nominale inférieure ou égale à 10 000 équivalent-habitants (EH), en France hexagonale et dans les territoires d'Outre-mer, qui sont le sujet d'étude du groupe Epnac.

Le groupe Epnac a réalisé en 2023 une enquête nationale afin de recueillir des informations auprès des principaux acteurs locaux impliqués dans la gestion et le suivi des stations équipées de systèmes de désinfection. Ces acteurs incluent les Conseils Départementaux, via leurs services d'assistance technique aux exploitants de stations d'épuration (SATESE), les Directions départementales des territoires (DDT), les collectivités territoriales, les groupements de collectivités, les syndicats mixtes ainsi que les exploitants privés. L'enquête a permis de collecter des informations sur les procédés de désinfection installés, leur mode d'exploitation, les raisons justifiant la désinfection, les dispositifs de suivi en place, ainsi que les problématiques opérationnelles affectant les performances des systèmes.

Nous avons identifié 311 stations d'épuration de 10 000 EH ou moins équipées de systèmes de désinfection et/ou soumises à une obligation réglementaire de désinfection. Ces installations représentent 1,4 % du parc national de stations et sont réparties sur 50 départements. Les procédés de désinfection les plus largement utilisés sont les lampes UV, qui représentent près de 50 % des systèmes en place, suivies par le lagunage pour un quart des installations. Les procédés d'oxydation (principalement chloration) et de filtration (membranes ou filtres à sable) couvrent le quart restant des dispositifs recensés. Les principaux objectifs de la désinfection identifiés sont liés à la protection des activités humaines en aval des rejets de la station : baignade, sports nautiques, conchyliculture et pêche. Dans une moindre mesure, certains dispositifs sont également déployés pour la réutilisation des eaux usées traitées (REUT) ou la protection des captages d'eau potable.

L'analyse des données collectées a mis en évidence plusieurs contraintes d'exploitation et problématiques impactant la performance des systèmes. La désinfection par lampe UV, bien que largement répandue, apparaît comme particulièrement problématique du fait d'un encrassement récurrent et de phénomènes de surchauffe des lampes en lien avec les faibles débits inhérents aux petites stations. Les procédés de désinfection sont parfois inadaptés aux spécificités locales. Cette situation entraîne une charge de travail supplémentaire liée à l'entretien et la maintenance des installations pour certains exploitants de petites collectivités disposant de moyens limités.

Le tableau ci-après récapitule les avantages et les contraintes majeures observés pour les différents procédés de désinfection.

Tableau 1 : Avantages et contraintes majeures observés pour les différents procédés de désinfection

Procédés de désinfection	Avantages	Contraintes majeures
Lampes UV	- Espace nécessaire limité - Asservissement au débit possible - Aucun sous-produit indésirable issu de la désinfection	- Encrassement par MES et développement d'algues : entretien régulier nécessaire - Performances dépendantes du taux de MES - Risque de surchauffe/défaut avec de faibles débits - Réacteurs UV sensibles à l'exposition au soleil (surchauffe, mise en défaut) - Influence du chlorure ferrique sur les performances et coloration des quartz - Formation technique nécessaire : nettoyage et changement des lampes - Approvisionnement en pièces détachées parfois compliqué

Lagunage	• Maintenance et entretien limité et de faible technicité • Formation du personnel limitée • Ne nécessite pas d'alimentation électrique • Aucun sous-produit indésirable issu de la désinfection • Lieu favorable au développement de la biodiversité	• Baisse conséquente des performances en cas de développement d'algues/lentilles en surface • Performances dépendantes de la météo (baisse du rayonnement UV et du temps de séjour) • Recontamination liée à la faune (déjections) • Actions correctives limitées en cas de performances insuffisantes • Espace foncier nécessaire important
Chloration	• Maintenance et entretien limités • Installation au fil de l'eau, non limitante pour l'écoulement • Effet rémanent du chlore • Espace nécessaire limité	• Rejet de sous-produits potentiellement nocifs pour l'environnement et la santé • Performances dépendantes de la température, du pH, du taux de MES et d'azote (NH₄ en particulier) • Difficulté/inefficacité de la régulation de l'injection de chlore avec les fortes variations de débit • Manipulation et stockage de produits chimiques
Membranes	• Aucun sous-produit indésirable issu de la désinfection • Qualité stable, liée au seuil de coupure de la membrane • Espace nécessaire limité	• Maintenance lourde liée à la gestion de l'encrassement des membrane (lavages chimiques réguliers), en lien avec le taux de MES • Contrôle régulier de l'intégrité de la membrane et solution alternative de désinfection à mettre en place (UV, chloration) • Intolérance aux surcharges hydrauliques : by-pass en cas de débit supérieur au débit nominal, mise en place de bassin de régulation nécessaire en amont de la station • Consommation électrique élevée • Gestion des concentrats • Coûts • Technicité
Filtre à sable lent enterré	• Aucun sous-produit indésirable issu de la désinfection • Ne nécessite pas d'alimentation électrique	• Encrassement fréquent : colmatage des filtres • Impact des variations de débit sur les performances • Période requise pour le mûrissement, permettant le développement d'un biofilm bactérien • Espace nécessaire important (deux files en parallèle sont nécessaires pour réaliser une alternance d'alimentation)

Les données d'autosurveillance collectées indiquent une bonne conformité des rejets, avec un taux de conformité moyen global de 83 %. L'évaluation des performances effectives des systèmes (mesure de l'abattement de la charge microbiologique) n'est faite que dans un nombre limité de stations.

Bien que les technologies disponibles puissent permettre d'atteindre les niveaux de désinfection requis, leur efficacité peut être compromise par les contraintes liées à l'exploitation des systèmes installés qui impactent leurs performances dans le temps.

La mise en place de la désinfection des eaux usées implique une gestion supplémentaire qui impacte significativement les acteurs en charge de l'exploitation et du suivi réglementaire des stations des petites et moyennes collectivités. Ainsi, la réalisation d'études d'impact et la considération des alternatives possibles, en amont de la prise de décision, semble primordiale. Compte tenu des enjeux sanitaires croissants associés aux usages humains des milieux récepteurs et de l'importance que pourrait prendre la désinfection dans les années à venir, notamment pour la REUT, il apparaît essentiel de proposer des directives pour orienter les choix techniques et en appui à l'exploitation des installations de désinfection des eaux usées.

Une seconde phase de cette étude se concentrera sur l'analyse des performances des différents procédés de désinfection, grâce à des campagnes de mesures, notamment sur différents indicateurs microbiologiques qui ne sont habituellement pas mesurés (virus, protozoaires).

1 INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'étude de la désinfection dans les petites stations de traitement des eaux usées (STEU) a été initiée par le groupe Epnac en 2023 suite à de nombreux problèmes constatés sur certains sites. Il s'agissait notamment de problèmes sur les systèmes de désinfection par lampes UV (performance limitée par les MES ou dysfonctionnements liés aux variations de charges hydrauliques).

Compte tenu des enjeux sanitaires croissants associés aux usages humains des milieux récepteurs et de l'importance que pourrait prendre la désinfection dans les années à venir (réutilisation des eaux usées traitées - REUT, révision de la Directive Eaux Résiduaires Urbaines – DERU 2...), une enquête nationale a été réalisée en 2023 par le groupe Epnac afin de recueillir des informations auprès des principaux acteurs locaux impliqués dans la gestion et le suivi des stations équipées de dispositifs de désinfection. Ces acteurs incluent les Conseils Départementaux, via leurs services d'assistance technique aux exploitants de stations d'épuration (SATESE), les Directions départementales des territoires (DDT), les collectivités territoriales, les groupements de collectivités, les syndicats mixtes ainsi que les exploitants privés. L'enquête a permis de collecter des données variées, notamment sur les procédés de désinfection installés, leur mode d'exploitation, les raisons justifiant la désinfection, les dispositifs de suivi en place, ainsi que les problématiques opérationnelles affectant les performances des systèmes. En complément, des données issues de l'autosurveillance, les arrêtés préfectoraux encadrant le fonctionnement des stations et des entretiens avec les acteurs locaux, ont été intégrés à l'analyse.

Ce rapport dresse un panorama des STEU d'une capacité inférieure ou égale à 10 000 équivalent-habitants (EH) équipées de systèmes de désinfection ou soumises à une exigence de désinfection, en France hexagonale et ses territoires d'Outre-mer : procédé de désinfection, activité justifiant la désinfection, utilisation au cours de l'année, fonctionnement... Il propose des recommandations préliminaires pour une amélioration de la gestion de la désinfection des eaux usées dans les petites et moyennes collectivités.



Un autre rapport dédié à l'étude du cadre réglementaire de la désinfection est également publié sur le site Epnac (Etude des prescriptions réglementaires des stations de traitement des eaux usées inférieures à 10 000 EH pour la désinfection, Pastel et al., 2025). Il dresse un état des lieux du contenu des arrêtés préfectoraux et établit le constat des disparités locales et nationales, tant sur les exigences demandées que sur les suivis d'autosurveillance réalisés. Des éléments d'aide à une standardisation de la réglementation et des protocoles d'évaluation des performances sont discutés et proposés.



Un troisième rapport permettra d'évaluer les performances des procédés de désinfection les plus répandus. Il présentera les résultats de campagnes de mesures réalisées en 2024 sur 32 stations, pour divers indicateurs microbiologiques (bactéries, virus, protozoaires). Il proposera aussi des recommandations générales pour appuyer les acteurs locaux dans la mise en place de la désinfection dans les stations des petites et moyennes collectivités.

2 BIBLIOGRAPHIE : ENJEUX DE LA DESINFECTION DES EAUX USEES

2.1 Microorganismes dans les eaux usées

Les eaux résiduaires urbaines sont une source de pollution microbiologique issue principalement des matières fécales. Le *Tableau 1* présente les quatre types de microorganismes présents dans les eaux usées, en fonction de plusieurs caractéristiques telles que leur taille, les doses minimales infectieuses et les quantités habituellement retrouvées dans les eaux usées.

Tableau 2 : Caractérisation des microorganismes présents dans les eaux résiduaires urbaines (Guillaume et al., 2020)

Paramètre	Virus	Bactéries	Protozoaires	Helminthes
Taille (µm)	0,01 - 0,35	0,2 - 10	3 - 30 (Kystes de protozoaires : 2 - 15)	> 10 ³ (Œufs d'helminthes : 40)
Dose Minimale Infectieuse (UFC/100 ml ou pour helminthes œufs/100ml)	10 - 10 ²	10 ² - 10 ⁷	10 - 10 ²	1 - 10
Concentration usuelle dans les eaux usées domestiques brutes (UFC/100ml ou pour helminthes œufs/100ml)	10 ³ - 10 ⁴	10 ⁵ - 10 ⁸	10 - 10 ⁵	1 - 10 ³

2.2 Risque sanitaire

Certains microorganismes véhiculés par les eaux usées sont potentiellement pathogènes. Il peut y avoir un risque sanitaire lorsque des activités humaines sensibles dépendent du milieu récepteur situé en aval du rejet d'une station de traitement des eaux usées. Ce risque est aussi présent par temps de pluie, lors de l'évacuation du trop-plein du réseau de collecte directement vers le milieu récepteur au niveau des déversoirs d'orages.

Selon l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), dans une note « relative à la détermination des valeurs guides pour les paramètres microbiologiques dans les rejets des systèmes d'assainissement à l'amont d'usages sensibles » (ANSES, 2012), les usages sensibles sont :

- La conchyliculture en milieu estuarien ou marin
- La pêche à pied
- La baignade en mer ou en eau douce
- Les prises d'eau destinées à l'alimentation en eau potable
- La pisciculture

À cette liste, peuvent s'ajouter :

- Les pompages pour l'irrigation agricole (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France - Section des eaux, 1995)
- La REUT.

2.3 Paramètres indicateurs et élimination des microorganismes

La notion de « *germes témoins* » est apparue au début du 19^e siècle pour « *apprécier le risque d'origine microbiologique lié aux eaux d'alimentation* » (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France - Section des eaux, 1995). Elle a été introduite afin de faire face à deux contraintes liées à l'analyse microbiologique de l'eau : la multitude d'agents pathogènes et la présence irrégulière des pathogènes dans l'eau. Ces contraintes entraînent l'obligation de réaliser de nombreuses analyses (onéreuses) pour assurer un suivi régulier des installations.

Partant du principe que la majorité des germes pathogènes identifiés dans les eaux sont de provenance fécale, des « *germes témoins de contamination fécale* » (non pathogènes mais spécifiques à ce milieu) ont été identifiés et sélectionnés comme indicateurs (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France -

Section des eaux, 1995). Leur détection permet donc d'évaluer un risque sanitaire. Cependant, « *les germes retenus habituellement comme témoin d'efficacité (coliformes et streptocoques fécaux) ne peuvent pas être utilisés comme indicateurs universels de décontamination. [...] Leur élimination ne peut en aucun cas être garante de l'élimination proportionnelle de pathogènes plus résistants. Il ne saurait donc exister dans ce domaine d'indicateur unique d'efficacité* » (Vial et al., 1980). Mais aujourd'hui encore, les paramètres indicateurs usuellement utilisés aujourd'hui pour le contrôle de la qualité microbiologique des rejets de station dans le milieu récepteur sont *Escherichia coli* et entérocoques, soit uniquement des indicateurs bactériens. Ils rendent compte de manière très imprécise de l'efficacité sur les autres groupes de microorganismes comme les virus ou les protozoaires.

L'élimination des microorganismes dans les stations de traitement des eaux usées peut s'opérer par différents processus physiques, chimiques ou biologiques. Comme présenté en *Figure 1*, la résistance des microorganismes aux traitements par oxydation ou irradiation UV varie en fonction du groupe auxquels ils appartiennent (bactéries, virus, protozoaire), de la famille, mais aussi de leur forme (kystes et œufs par exemple sont des formes de résistances, moins sensibles aux traitements que la forme active du microorganisme considéré). A l'inverse, des procédés de traitement basés sur une séparation en fonction de la densité ou de la taille (décantation, filtration) seront beaucoup plus efficaces sur les gros microorganismes, comme les helminthes et les protozoaires (y compris leurs formes de conservation, kystes et œufs), que pour ceux de petite taille comme les bactéries et les virus (voir tableau 2).

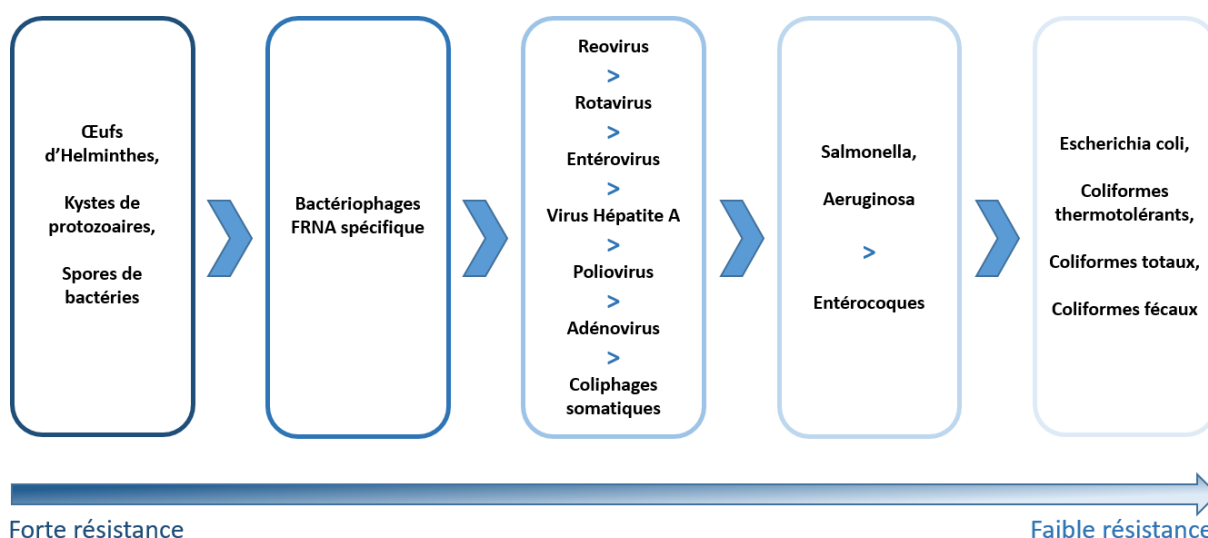


Figure 1 : Représentation schématique du classement des micro-organismes en fonction de leur résistance aux traitements de désinfection tertiaire des eaux résiduaires (chloration, UV) (adapté de Pierzo, 2000).

En *Figure 2*, un graphique présente les abattements maximums pour différents microorganismes en fonction du procédé de traitement considéré (Guillaume-Ruty et al., 2024).

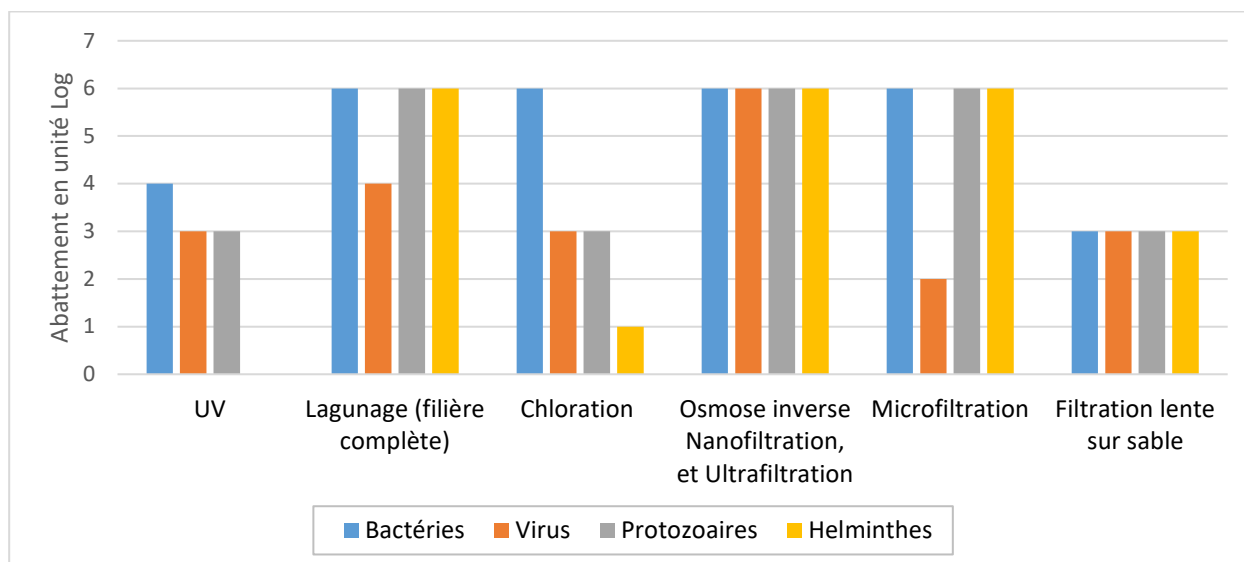


Figure 2 : Comparaison des abatements maximum pour les quatre groupes de microorganismes, en fonction du procédé de traitement (Guillaume-Ruty et al., 2024)

3 MATERIELS ET METHODES

L'étude se base principalement sur la collecte de données à l'échelle nationale auprès d'acteurs locaux en charge de l'assainissement au sein des territoires. Les interlocuteurs principaux sont les Conseils Départementaux qui, à travers leurs Services d'Assistance Technique aux Exploitants de Stations d'Épuration (SATESE), ont accès aux données relatives à l'exploitation des stations et sont en contact avec les collectivités et les exploitants. Des Directions Départementales des Territoires (DDT), collectivités, communauté de communes, syndicats mixtes et exploitants privés ont aussi été sollicités, notamment lorsque les informations n'étaient pas disponibles au niveau des SATESE.

Les départements sollicités ont initialement été identifiés dans la base de données sur les eaux résiduaires urbaines du Ministère de la Transition Ecologique (BDD ERU). Cette base de données publique rassemble les informations de fonctionnement de toutes les stations présentes sur le territoire français dont, entre autres, la capacité nominale et la présence d'un système de désinfection (Portail sur l'assainissement collectif, 2021).

3.1 Enquête nationale

Fin 2023, une enquête nationale a été initiée par le groupe Epnac sous forme d'un questionnaire en ligne (voir l'Annexe 1) soumis aux acteurs départementaux concernés. Elle a permis de rassembler des informations sur la capacité nominale des stations concernées par la désinfection, les procédés de traitement et de désinfection installés, les raisons justifiant la désinfection, le niveau de suivi analytique réalisé, l'exploitation des systèmes de désinfection et les problèmes majeurs rencontrés sur les systèmes.

L'enquête a été complétée par des entretiens avec des acteurs locaux en charge de l'exploitation ou du suivi de certaines stations étudiées afin de collecter des informations qualitatives sur les performances, la réglementation appliquée, les problèmes rencontrés, les améliorations possibles et le niveau de collaboration entre acteurs locaux impliqués dans la gestion et le suivi des stations.

3.2 Données d'autosurveillance et exigences réglementaires

L'étude s'est concentrée sur l'analyse des données relatives au suivi réglementaire des paramètres microbiologiques, c'est-à-dire la conformité des concentrations des rejets au milieu récepteur, et dans une moindre mesure sur l'efficacité du système de désinfection. Les acteurs locaux ont aussi été sollicités pour le partage de données supplémentaires d'autosurveillance des stations concernées (performances globales de traitement de la station sur la période 2021-2023) afin de remettre les données liées à la désinfection dans le contexte global de fonctionnement de chaque station étudiée.

Les arrêtés préfectoraux de chacune des stations concernées par un traitement de désinfection ont été demandés aux acteurs ayant répondu à l'enquête afin d'identifier les exigences de traitement et de suivi des stations équipées de désinfection.

4 PANORAMA DE LA DESINFECTION DES EAUX USEES EN FRANCE

La BDD ERU rassemble les 22 612 stations répertoriées sur le territoire français par le Ministère de la Transition Ecologique en 2021. Parmi ces stations, 382 sont listées comme étant équipées d'un système de désinfection. En considérant seulement les stations d'une capacité nominale inférieure ou égale à 10 000 EH (c'est-à-dire 94 % des stations en France en 2021), 225 stations sont indiquées comme étant équipées de systèmes de désinfection. La BDD ERU ne fournit pas d'autre information concernant le système de désinfection.

L'enquête nationale réalisée dans cette étude a permis d'identifier 61 stations supplémentaires. Le panorama de la REUT, issu d'une étude publiée par Epnac en 2022 (Lombard Latune & Bruyere, 2023), a permis d'en intégrer 27 de plus. Au total, **311 stations équipées de désinfection ont été identifiées**, correspondant à 1,4 % du parc de stations de traitement des eaux usées en France. Elles se répartissent sur 50 départements français. La collecte de données auprès des différents acteurs locaux sollicités a permis **d'obtenir des informations précises sur 248 stations** (c'est-à-dire 79 % des 311 stations identifiées).

4.1 Procédés de désinfection

Sur les 248 stations pour lesquelles l'information a été collectée, six procédés de désinfection sont répertoriés. Leur répartition est présentée dans la *Figure 3*.

- Le procédé le plus largement répandu est la désinfection par lampes à rayons ultraviolets (UV) avec 118 stations concernées. Il est majoritairement utilisé seul ; dans un tiers des cas il est combiné à un procédé de filtration en amont permettant une réduction de la concentration en MES pour de meilleures performances du rayonnement UV et une réduction de l'encrassement des lampes. Le rôle de cette filtration peut aussi être de retenir les œufs d'Helminthes et kystes de protozoaires, peu impactés par le rayonnement UV.
- 67 stations utilisent le lagunage comme procédé de désinfection par la mise en place d'une lagune appelée « de finition » avant le rejet au milieu récepteur, après des bassins de lagunage ou d'autres procédés (boues activées ou filtres plantés).
- 22 stations utilisent des produits chimiques oxydants pour la désinfection. Dans la plupart des cas, il s'agit d'une chloration et seulement 2 de ces stations utilisent l'acide performique. L'acide performique est plus fréquemment utilisé pour la désinfection dans les stations d'une capacité supérieure à 20 000 EH, notamment car les constructeurs ne proposent pas encore de modules pour traiter de faibles volumes ($< 1\,000\text{ m}^3/\text{j}$).
- 16 stations utilisent des membranes (il s'agit principalement de bioréacteurs à membranes équipées de membranes de microfiltration et d'ultrafiltration, seules 2 stations sont équipées de membranes en traitement tertiaire) et 15 stations utilisent d'autres procédés de filtration (principalement les filtres à sable).
- Enfin, 10 stations déclarées comme sans système de désinfection sont intégrées à l'étude car elles ont une réglementation qui impose une valeur limite de rejet pour au moins un paramètre microbiologique, ce qui impose donc théoriquement une désinfection des eaux usées avant rejet.

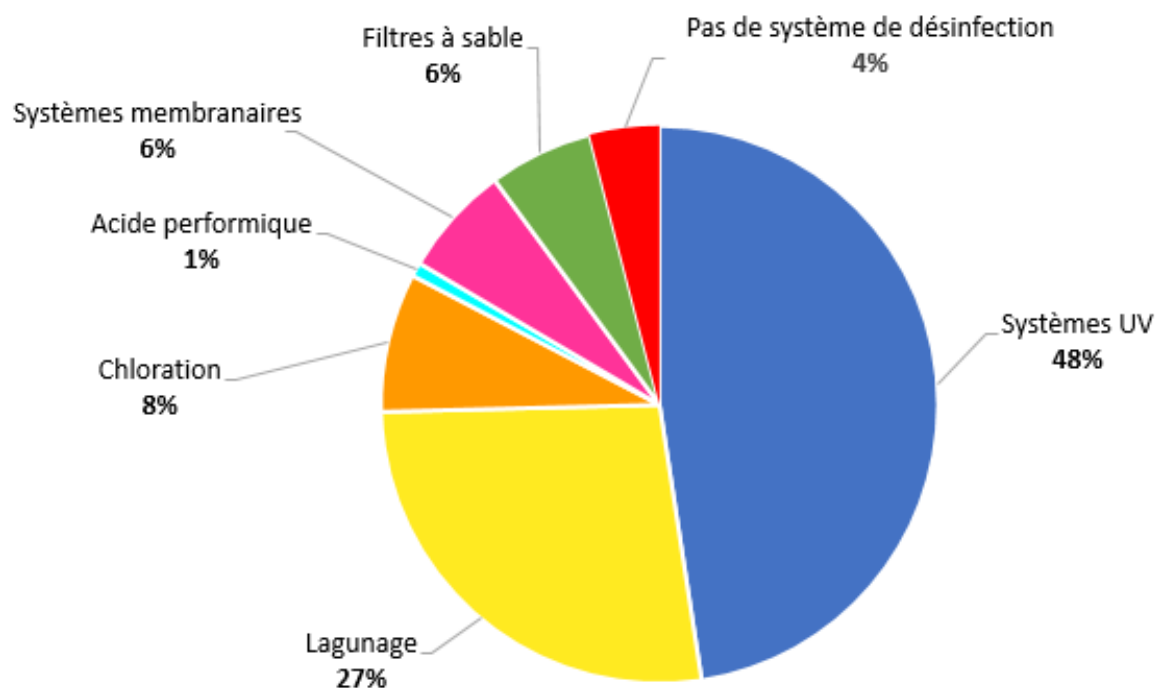


Figure 3 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de systèmes de désinfection ou soumises à une exigence de désinfection, en fonction du procédé de désinfection installé.

La répartition des stations équipées de désinfection à travers le territoire français est inégale (Figure 4) : 75 % sont réparties sur 26 départements littoraux (territoires d'outre-mer inclus) et le reste est réparti sur 24 autres départements dans les terres. La désinfection par lampes UV est le choix technologique majoritaire dans le sud de l'hexagone, la Corse (2A, 2B) et la Martinique (972). La désinfection par lagunage se concentre dans le quart nord-ouest de l'hexagone. La désinfection par chloration est présente dans seulement trois départements : Pas-de-Calais (62), Seine-Maritime (76) et Charente-Maritime (17). Les procédés de filtration (principalement filtres à sable lents) se concentrent dans le sud-est de l'hexagone, tandis que les membranes sont présentes principalement dans le Finistère (29) et les côtes de la Manche (50).

Pour certains départements la répartition est uniforme dans le choix des procédés de désinfection installés, comme l'Ille-et-Vilaine (35) qui utilise principalement le lagunage (94% des stations). Pour d'autres, elle est plus diversifiée, comme le Finistère (29) avec trois procédés différents.

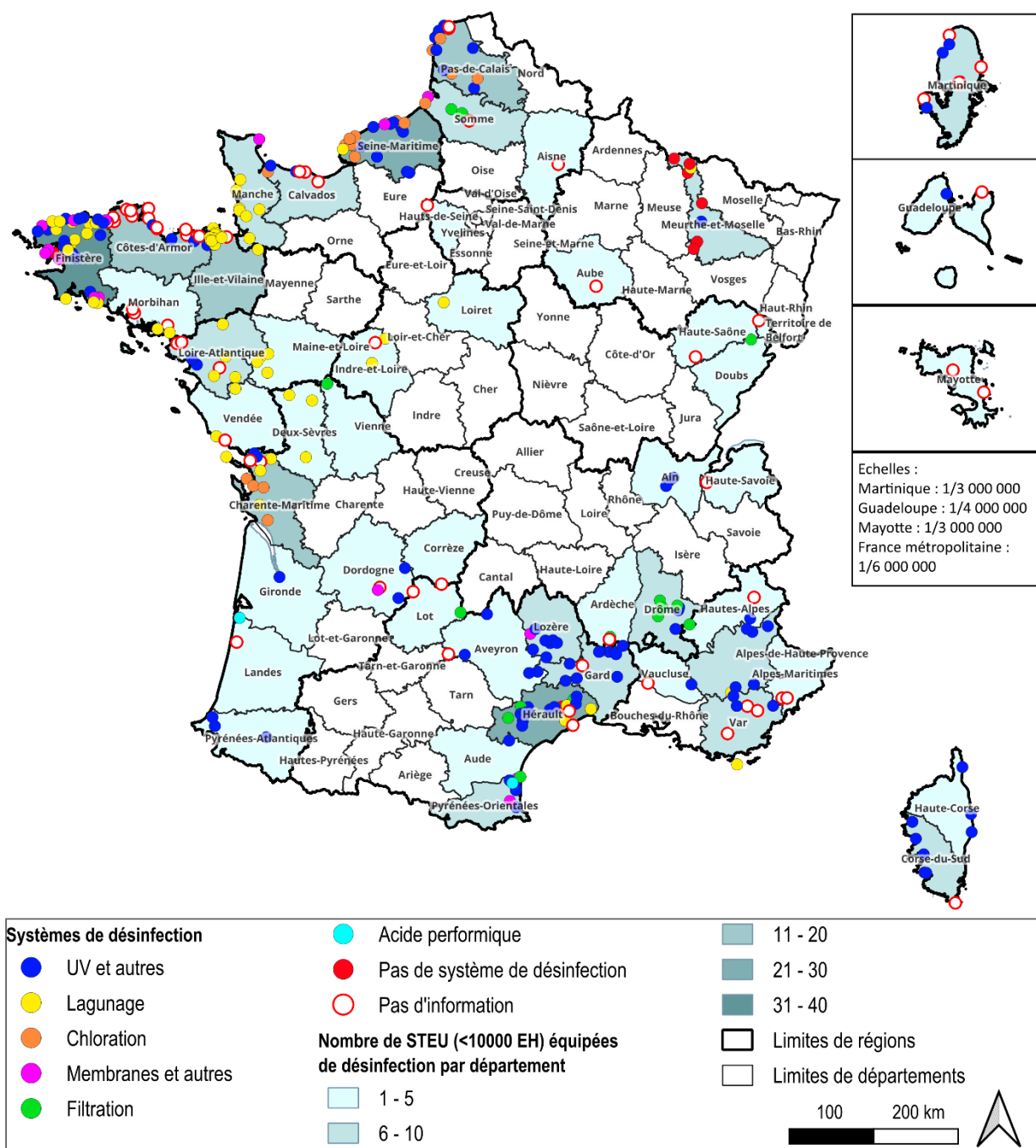


Figure 4 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, sur le territoire français et en fonction du procédé de désinfection installé

4.2 Activités humaines en aval du rejet justifiant la désinfection des eaux usées

La Figure 5 présente la répartition des différentes raisons justifiant la désinfection des eaux rejetées par les stations.

- La raison principale invoquée pour l'installation d'un système de désinfection est la **protection des zones de baignade** : 64 % des stations intégrées à l'étude sont concernées et pour la moitié d'entre elles, il s'agit de l'unique raison mentionnée.
- La seconde raison est la protection des zones de conchyliculture et de pêche, qui concerne 36 % des stations.
- La REUT représente 12 % des stations
- La protection de la ressource en eau pour la production d'eau potable est mentionnée dans 8 % des cas.
- La protection du milieu récepteur est peu mentionnée (5%).

- Enfin une partie significative des acteurs ayant participé à l'enquête déclare ne pas connaître la raison de la mise en place d'une désinfection des eaux usées traitées (10 % des stations).

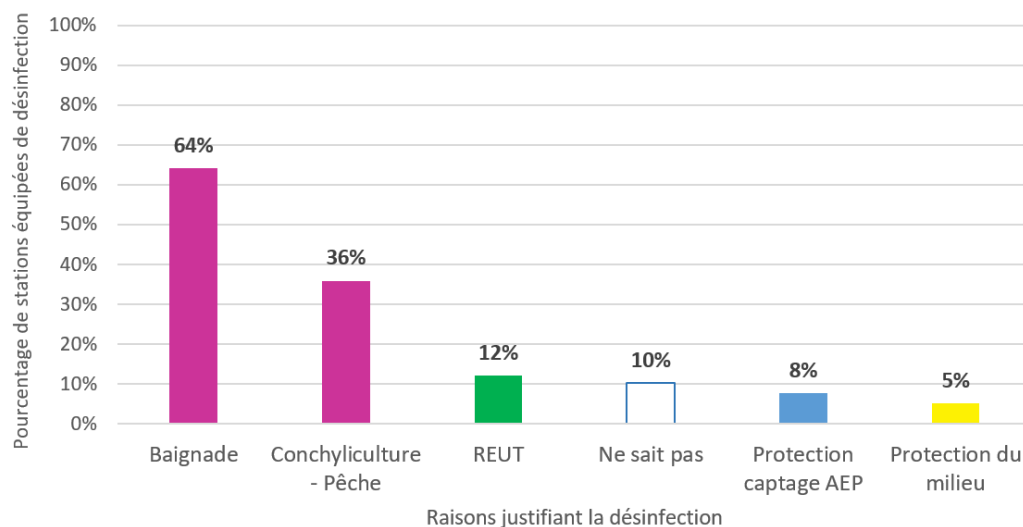


Figure 5 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, en fonction des raisons justifiant la désinfection. Total supérieur à 100 % car la désinfection au niveau d'une station peut être mise en place pour plusieurs raisons.

Comme le présente la *Figure 6*, la protection des zones de baignade et des activités conchylocoles est évidemment majoritaire sur les zones littorales. La protection des zones de baignade est aussi présente dans les terres, particulièrement dans le sud-est de la France dans des départements touristiques tels que la Drôme (26) ou le Gard (30). La REUT se concentre principalement dans la région des Pays de la Loire, le Centre-Val de Loire et la Nouvelle-Aquitaine.

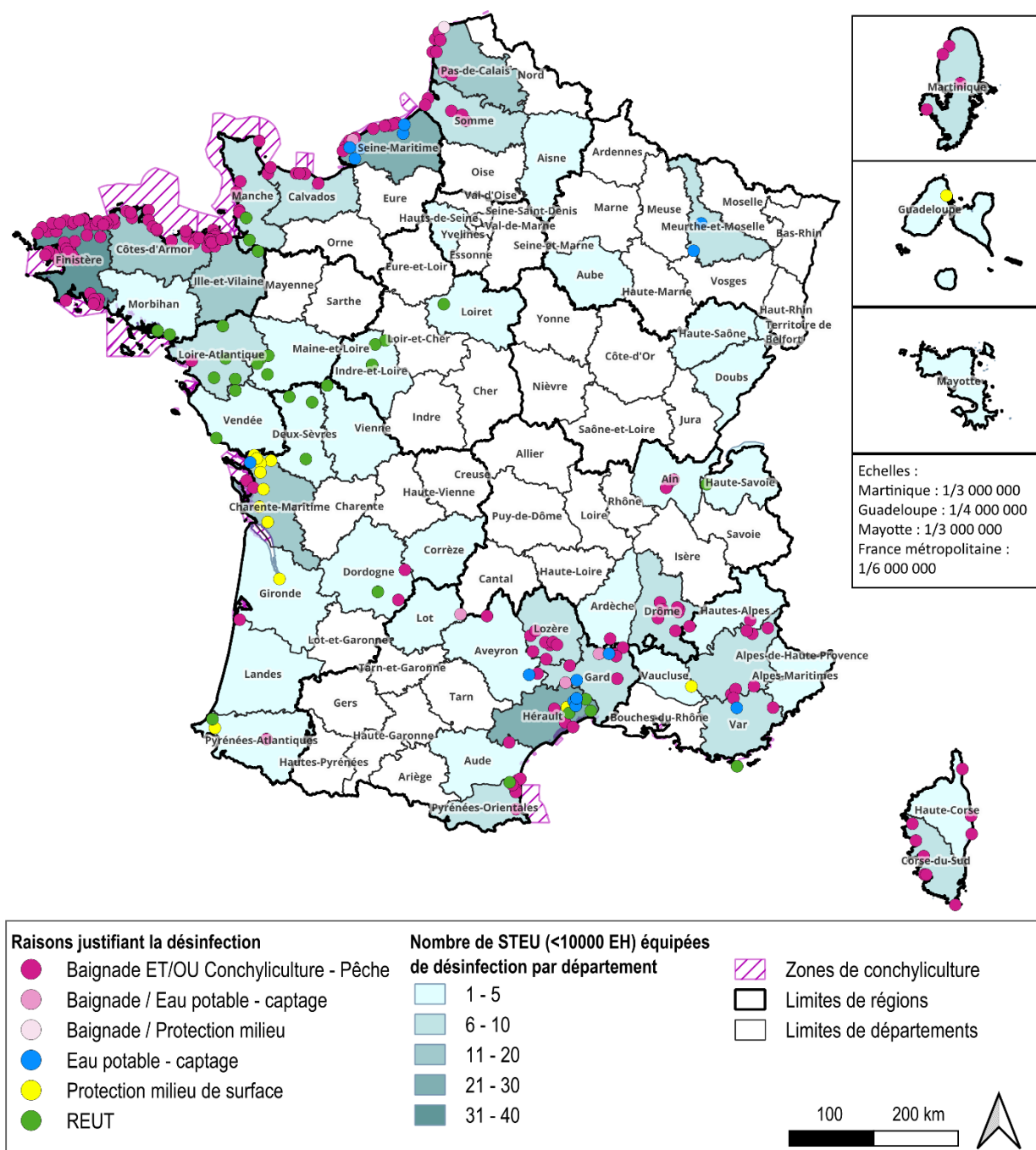


Figure 6 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, sur le territoire français et en fonction des raisons justifiant la désinfection.

Concernant la protection des zones de baignade, basée sur les données de contrôle sanitaire des eaux de baignade effectué par les ARS (agences régionales de santé), la Figure 7 représente les stations équipées de désinfection et les départements français ayant un ou plusieurs sites de baignade classés avec une eau de qualité insuffisante, en 2022, pour le paramètre *Escherichia coli* (Données de rapportage de la saison balnéaire, 2022).

Il est important de rappeler que les rejets des stations ne sont pas la source principale de contamination. « Au-delà de la contamination de l'eau par le baigneur lui-même, les sources de pollution microbiologiques sont issues notamment de mauvais raccordements d'habitations au réseau d'assainissement, de débordements des réseaux d'eaux usées, de rejets de station d'épuration d'eaux résiduaires et du ruissellement sur les sols lors des pluies importantes » (Ministère chargé de la santé / Eaux de baignade, 2019).

Cependant ces résultats justifient les mesures supplémentaires mises en place dans certains territoires, au niveau des stations pour limiter le risque sanitaire, notamment dans les départements côtiers et le sud-est de la France, dans des départements réputés pour leurs activités touristiques de baignade

(Ardèche (07), Drôme (26), Hérault (34) et Gard (30)).

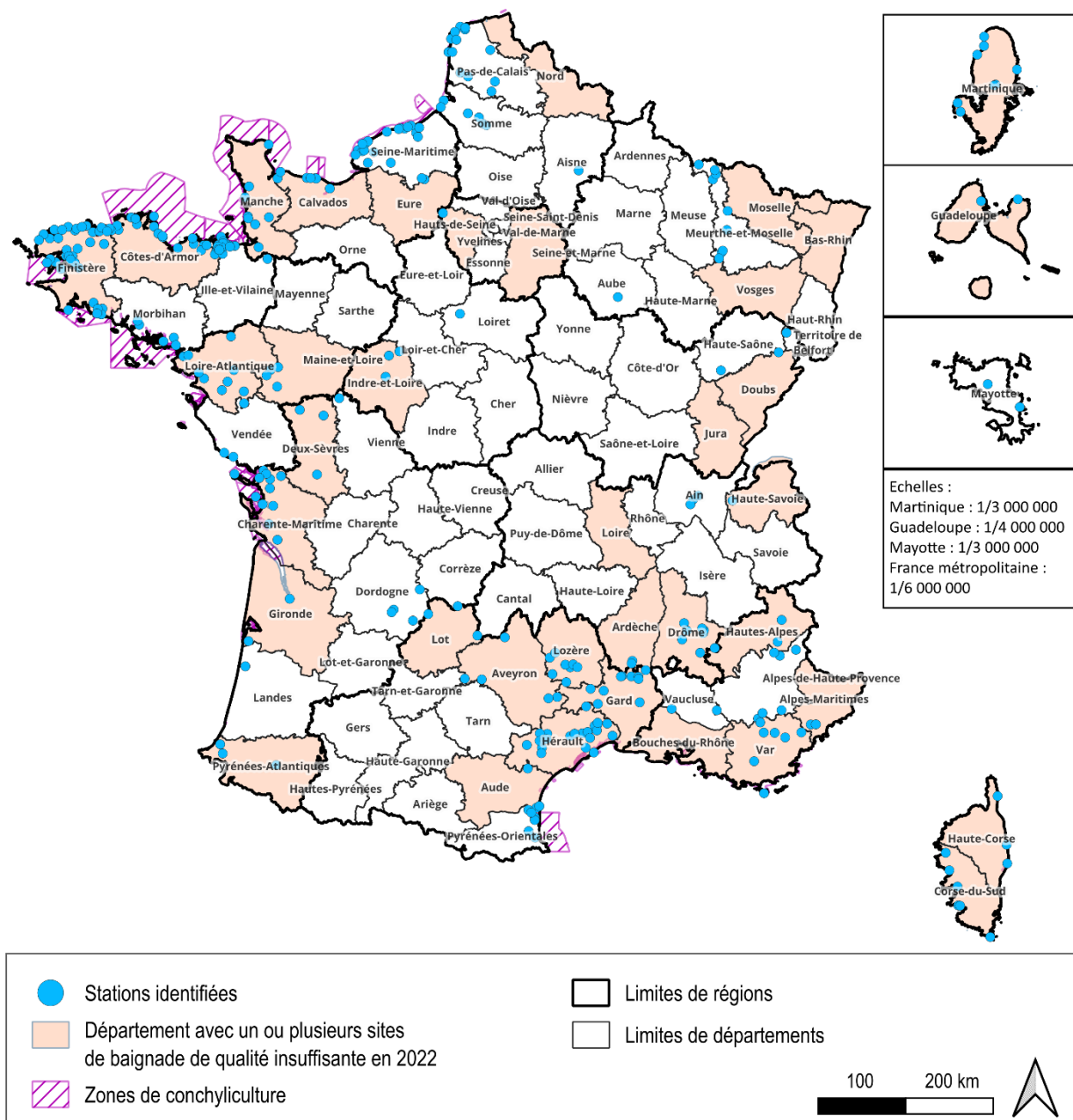


Figure 7 : Carte représentant la répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection sur le territoire français ; les zones conchylicoles françaises et les départements avec un ou plusieurs sites avec une qualité insuffisante des eaux de baignade en 2022 (Données de rapportage de la saison balnéaire, 2022).

4.3 Utilisation au cours de l'année

Les systèmes de désinfection fonctionnent toute l'année pour 64 % des stations (Figure 8). L'activité conchylicole impose en effet une désinfection permanente sur la majeure partie des littoraux.

En revanche, 26 % fonctionnent seulement en période estivale : la baignade et les activités nautiques dans le sud-est de la France n'impliquent une désinfection qu'en été. Cette période varie d'une station à l'autre mais se situe généralement entre mai et octobre inclus. La majeure partie des stations qui met en œuvre de la REUT désinfecte les eaux traitées seulement une partie de l'année.

Enfin, pour 10 % des stations, les systèmes de désinfection sont à l'arrêt ou aucun système de désinfection n'a été installé. Par exemple, en Meurthe-et-Moselle (54), plusieurs stations ont une réglementation qui impose une valeur limite de rejet pour au moins un paramètre microbiologique mais ne sont pas équipées pour la désinfection. Plusieurs systèmes de lampes UV ont été mis à l'arrêt dans le sud-est de la France, en Guadeloupe (971) et en Martinique (972), principalement à cause des contraintes que peut représenter l'exploitation et l'entretien de ce procédé de désinfection pour une petite collectivité.

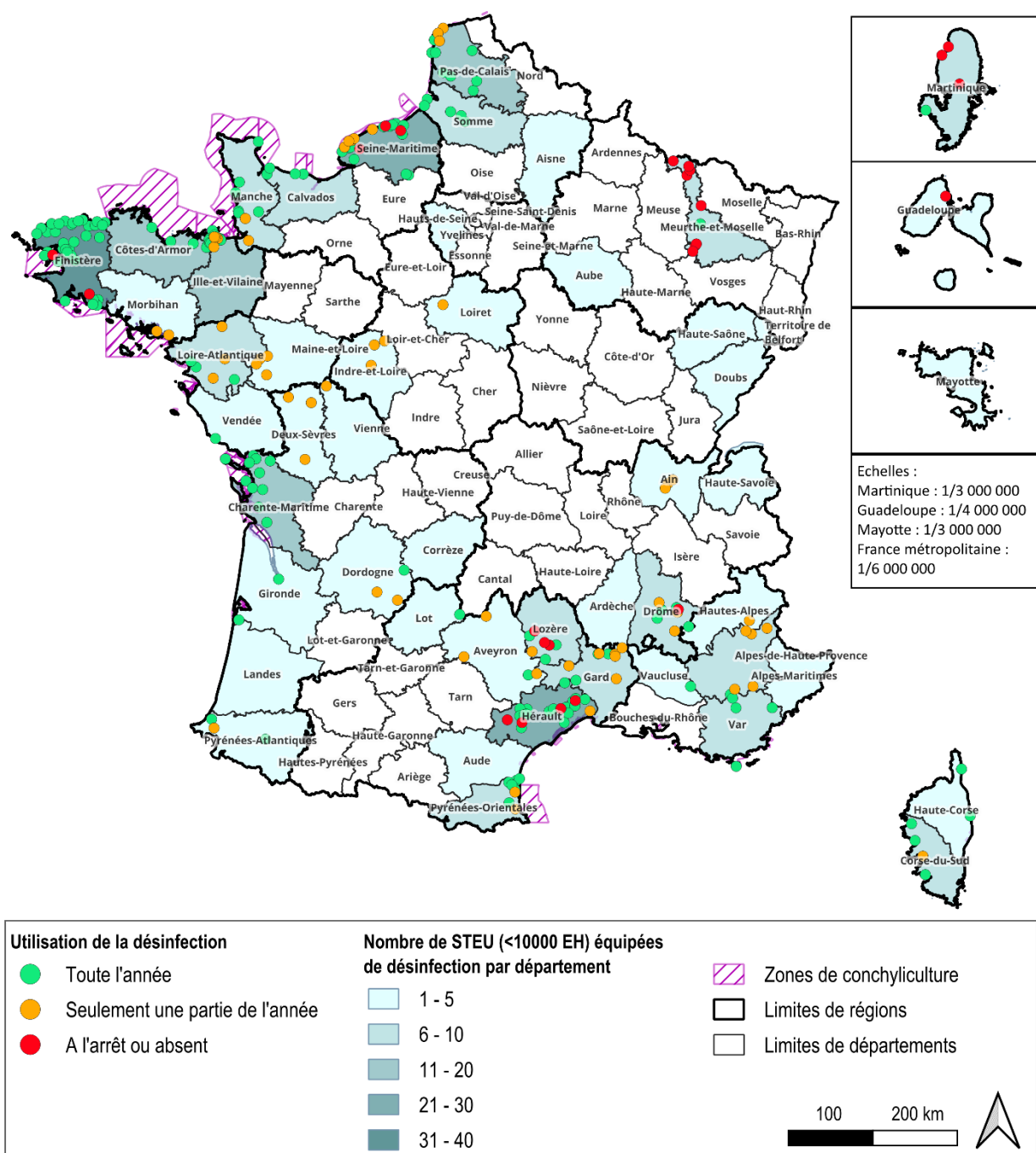


Figure 8 : Répartition des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, sur le territoire français et en fonction de l'utilisation de la désinfection au cours de l'année.

4.4 Fonctionnement

L'enquête nationale et les discussions avec plusieurs acteurs locaux en charge de l'exploitation ou du suivi de différents systèmes de désinfection ont permis de collecter des informations concernant les problèmes rencontrés pour 175 stations.

La *Figure 9* représente la répartition de ces stations selon leur état de fonctionnement et les problématiques majeures mentionnées. Le système est déclaré comme fonctionnant correctement pour seulement 53 % d'entre elles. Cela ne signifie pas nécessairement que dans les autres cas la désinfection des eaux usées n'est pas réalisée, mais que des problèmes majeurs peuvent impacter le fonctionnement du système. La majeure partie des dysfonctionnements signalés concernent des problèmes d'encrassement du système (19 % des stations). Cela entraîne une charge supplémentaire en termes d'entretien et parfois des difficultés à assurer un entretien suffisant pour un fonctionnement optimal de la désinfection.

Ils se distinguent d'autres problèmes liés à la maintenance du système de désinfection (7 % des stations), tels que le non remplacement de matériel, la défaillance de systèmes de régulation ou le manque d'accès aux pièces détachées.

9 % des dysfonctionnements mentionnés sont liés au fonctionnement de la station, majoritairement aux variations de débits et aux faibles débits inhérents aux petites stations. Enfin, 12 % correspondent aux systèmes de désinfection absents, déclarés hors service ou mis à l'arrêt.

La *Figure 10* met en évidence les différentes problématiques rencontrées par les acteurs locaux par procédé de désinfection. Les stations où les problèmes liés à l'exploitation et la maintenance sont majeurs concernent les UV, la chloration et les filtres à sable.

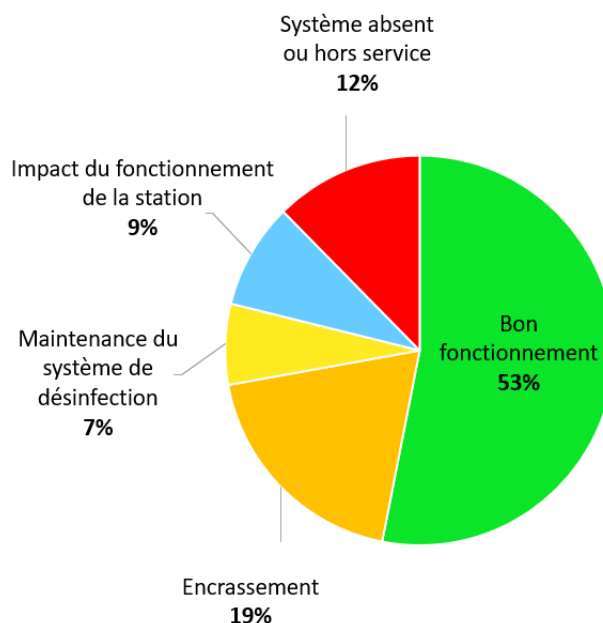


Figure 9 : Répartition des stations de traitement des eaux usées (≤ 10 000 EH), équipées de désinfection, en fonction de leur état de fonctionnement et des problématiques majeures.

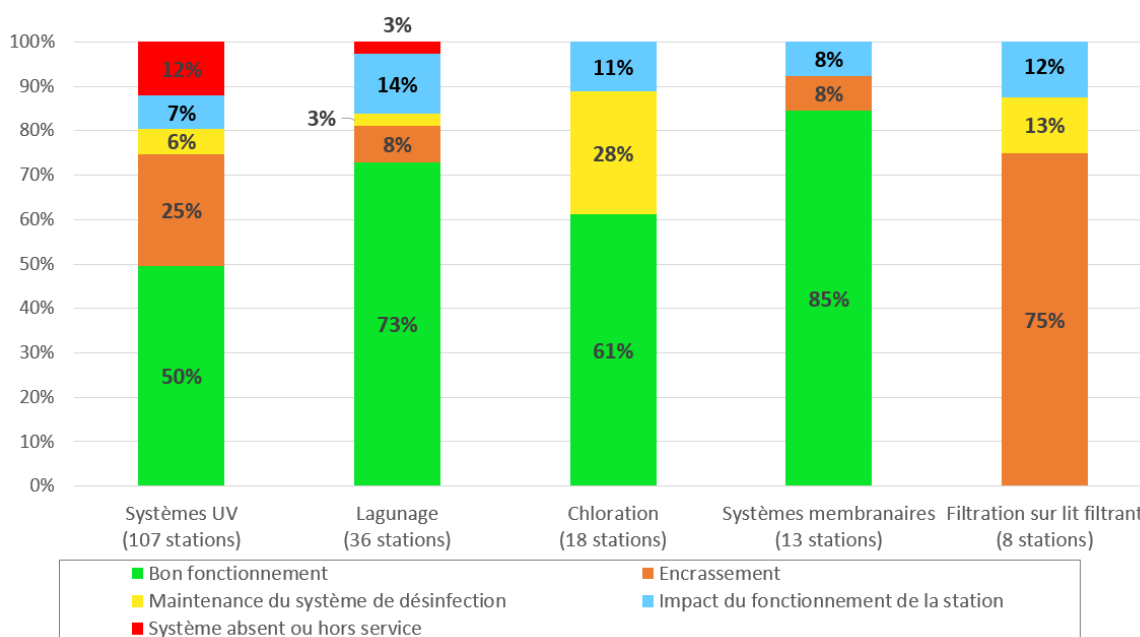


Figure 10 : Répartition, par procédé de désinfection, des stations de traitement des eaux usées (≤ 10 000 EH), équipées de désinfection, en fonction du niveau de fonctionnement et des problématiques majeures rencontrées.

4.4.1 Désinfection par lampes UV

Seulement 50 % des 107 stations équipées de désinfection UV sont déclarées comme fonctionnant correctement, alors que le procédé est le plus répandu. Une multitude de problèmes sont mentionnés.

Dans 25 % des cas, l'encrassement des lampes UV, notamment par le développement d'algues, est mentionné. Il n'empêche pas le système de fonctionner, cependant il impacte l'efficacité de la désinfection, créant un obstacle au rayonnement UV. Cette situation entraîne une charge d'entretien supplémentaire et augmente les risques de casse dans la manipulation des lampes et des tubes de verre (« quartz ») les contenant. Cette charge est plus lourde pour les systèmes avec lampes UV installées dans un réacteur (Figure 11, 12 et 13), en comparaison avec les systèmes installés en canal ouvert, qui dans les stations de petite taille, restent manipulables avec une main d'œuvre limitée.



Figure 11 : Réacteur UV, installé au sol



Figure 13 : Nettoyage d'un réacteur UV, encrassé par des algues

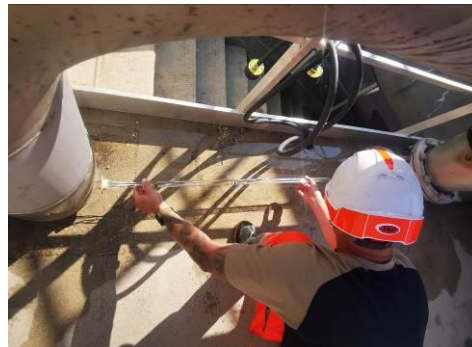


Figure 12 : Entretien des lampes UV d'un réacteur

La turbidité de l'eau réduit le passage des rayons UV, ce qui impacte les performances de désinfection et augmente la vitesse d'encrassement des quartz. Un système de filtration peut être installé en amont de la désinfection afin de réduire le taux de matières en suspension (MES) dans l'effluent, ainsi que le développement d'algues au niveau des lampes UV. 32 % des 107 systèmes UV sont équipés d'un prétraitement, cependant nombre d'entre eux rencontrent aussi un problème d'encrassement par développement d'algues sur les quartz.

Dans 6% des cas, les problèmes mentionnés sont liés à la maintenance des systèmes, notamment au non remplacement de matériel (lampes, ballasts) ou au manque d'accès aux pièces détachées. Dans 7 % des cas, les fortes variations de débit en sortie de station apparaissent comme un problème majeur. Dans les petites collectivités, les temps de séjours dans les réseaux de collecte sont courts et les débits rejetés peuvent être quasi nuls (la nuit notamment). Le manque de circulation d'eau peut entraîner une surchauffe des lampes UV ou une mise en défaut du système de désinfection.



Figure 14 : Réacteur UV exposé au soleil

La **surchauffe des lampes UV** est aussi fonction des conditions météorologiques, particulièrement pour les systèmes où les lampes sont installées dans un réacteur. Lorsque la température extérieure est élevée et que le corps métallique du réacteur n'est pas abrité des rayons du soleil, le débit d'effluent peut s'avérer insuffisant pour refroidir le système. L'unité de commande du système (« ballast ») est aussi sensible à la chaleur et doit être suffisamment ventilée. Ainsi, armoire électrique et réacteur doivent parfois être installés dans une pièce climatisée. Sachant que 26 % des systèmes UV fonctionnent exclusivement en période estivale, donc avec des risques de forte chaleur, l'installation de lampes UV doit intégrer des mesures de protection adaptées aux conditions locales.

Les discussions avec les acteurs locaux, ainsi que la consultation des rapports réalisés par les SATESE du Finistère (Conseil départemental du Finistère, 2023) et du Gard (Conseil Départemental du Gard, 2023), confirment ces observations. Ils mettent en évidence une problématique importante liée à l'installation et la conception des systèmes. Le nettoyage et le remplacement des quartz nécessitent de retirer les lampes (pièces fragiles coûtant chacune plusieurs centaines d'euros). L'accès parfois difficile (par exemple dans des regards sous le niveau du sol comme dans la figure 15) rend l'exploitation délicate, longue et potentiellement dangereuse pour l'exploitant.



Figure 15 : Réacteur UV installé dans un regard, sous le niveau du sol

L'utilisation de chlorure ferrique dans la phase de traitement amont (pour la déphosphatation physico-chimique) impacte aussi l'efficacité de la désinfection du fait de la coloration de l'eau traitée et des quartz. Dans certaines stations, l'aluminate de sodium est utilisé à la place du chlorure ferrique pour éviter cette baisse de performance de la désinfection.

Enfin, **13 stations ont un système UV à l'arrêt**. Dans certains cas, les contraintes d'exploitation et d'entretien, jugées trop lourdes ont mené à l'abandon de la désinfection. Dans d'autres cas, la réglementation des rejets concernant les paramètres microbiologiques a changé, menant à l'arrêt du système. D'autres arrêts des systèmes UV sont liés à l'incapacité temporaire d'assurer la maintenance, par exemple le remplacement de composants (lampes UV, quartz, ballasts, cartes électroniques). En effet, les lampes représentent un coût significatif et peuvent subir des problèmes d'approvisionnement (notamment en outre-mer).

La désinfection par UV apparaît de manière récurrente comme un procédé pouvant nécessiter une exploitation lourde. Les observations de l'étude interrogent sur la compatibilité de ce procédé avec des petites stations, où la présence de l'exploitant n'est pas journalière et où les moyens et compétences investis peuvent s'avérer limités. Cependant, **lorsque les moyens et les contraintes liées à l'exploitation sont pris en compte avant l'installation du système, l'usage de lampes UV est un système efficace, compatible avec une utilisation saisonnière et un espace disponible contraint.**

4.4.2 Lagunage

Parmi les 36 stations étudiées qui utilisent le lagunage de finition pour la désinfection, 73 % sont déclarées comme fonctionnant correctement. Les acteurs interrogés évoquent cependant qu'en comparaison avec des technologies plus intensives (UV, membranes), le lagunage est plus facilement considéré comme fonctionnant correctement, en l'absence de problèmes majeurs.

Pour plus de la moitié de ces stations, le traitement des eaux usées se fait par boues activées, le lagunage n'étant que le traitement tertiaire. Ce dernier a souvent été conservé après le remplacement d'un système d'épuration principal de type lagunage par un procédé intensif. Dans ce cas, le maintien de lagunes de finition a permis de différer la mise en place d'un traitement tertiaire plus coûteux en investissement et en fonctionnement pour assurer une désinfection des eaux usées. Dans le Finistère (29), un espace dédié est réservé pour la mise en place ultérieure d'un autre traitement si les résultats obtenus en désinfection avec le lagunage s'avéraient insuffisants.

Les problèmes d'encrassement mentionnés (8 % des stations) correspondent au développement de lentilles à la surface des lagunes, limitant la désinfection par rayonnement solaire. D'autres problèmes impactant les performances de la désinfection (14 % des stations) sont liés aux variations de débits et aux contraintes du procédé de lagunage. Il est en effet dépendant du rayonnement solaire (variable en fonction des saisons et des conditions météorologiques). En outre, la présence importante d'oiseaux migrateurs peut entraîner des recontaminations des eaux désinfectées par leurs déjections.

Le lagunage présente un faible niveau d'entretien régulier. Cependant, l'exploitant a une marge de manœuvre limitée en cas de performance insuffisante et peut faire face à des difficultés à mettre en place des mesures efficaces en cas de problème. Le développement de lentilles en surface, par exemple, doit

être contrôlé régulièrement afin de pouvoir réagir rapidement et permettre leur élimination avec les moyens disponibles. De plus, le lagunage requiert beaucoup d'espace foncier et n'est donc pas adapté à tous les territoires.

4.4.3 Chloration

18 stations équipées de systèmes de chloration sont intégrées dans cette étude. 61 % de ces systèmes de chloration sont déclarés comme fonctionnant correctement. Dans 28 % des cas, la désinfection est déclarée insuffisante, notamment à cause de dysfonctionnements au niveau de la régulation de l'injection de chlore. De plus, 11 % des stations présentent des problèmes de trop fortes variations de débit qui impactent aussi les performances de désinfection. La chloration est un procédé qui doit être asservi au débit. Cependant, sur la base de discussions avec le Conseil Départemental de Seine-Maritime (76) (9 systèmes de chloration actifs), en fonction du système d'injection et/ou du point d'injection, il peut être difficile d'ajuster correctement la désinfection aux variations de débit.

L'efficacité de la désinfection dépend aussi de la qualité de l'effluent entrant car la concentration en MES et en NH_4 impacte la consommation de chlore (ces éléments étant aussi oxydés). Ce procédé est efficace pour un effluent aux caractéristiques physicochimiques stables dans le temps. Les concentrations en chlore à injecter doivent être idéalement réévaluées en cas de fortes variations de qualité de l'effluent.

Par ailleurs, la chloration présente un inconvénient majeur par la production de sous-produits, issus de la réaction du chlore avec des composés organiques, en particulier l'ammonium, et inorganiques. Certaines familles de sous-produits (trihalométhanes, acides haloacétiques et haloacétonitriles) sont considérées comme cancérogènes probables (Vandentorren et al., 2019).

4.4.4 Systèmes membranaires

Sur seulement 13 stations équipées de membranes pour la désinfection, 11 sont considérées comme fonctionnant correctement. Une station fait face à une maintenance lourde pour le nettoyage des membranes et une autre est difficile à exploiter à cause de fortes variations de débit.

Les systèmes membranaires peuvent faire face à des problèmes de colmatage en fonction de la qualité de l'effluent. Leur dimensionnement doit prendre en compte les débits de pointe car une membrane impose une limite de débit et donc un by-pass en cas de dépassement. Des by-pass peuvent également se produire avant d'atteindre ces débits de pointe de l'installation (pour lutter contre le vieillissement des membranes, la notion de crédit-temps limite volontairement les sollicitations des membranes pour augmenter leur durée de vie). Un système membranaire nécessite un bassin tampon qui permet d'« écrêter les débits de pointe pour ne pas surdimensionner la surface de membrane à installer » (Racault et al., 2011).

De plus, il est considéré comme nécessaire par certains acteurs de disposer d'une solution de désinfection alternative en cas de déchirure de la membrane. Enfin, l'entretien et la maintenance de ce système requièrent un bon niveau de formation.

4.4.5 Filtration sur lit filtrant

8 stations assurent la désinfection par filtration sur lit filtrant. L'une d'elle, avec une désinfection imposée, utilise des filtres plantés de roseaux, qui ne peuvent être considérés comme un procédé de désinfection. Les autres systèmes sont des filtres à sable lents enterrés et sont aussi majoritairement impactés par des problèmes d'encrassement, entraînant une maintenance lourde. Pour deux d'entre eux, les variations de débits impactent les performances de la désinfection. Certains filtres ont été installés il y a plusieurs dizaines d'années. L'un d'eux fuit, à cause d'une de ses parois endommagées, impliquant un risque de



Figure 16 : Filtre à sable lent, installé en 2001 avec problème de colmatage et fuites vers le milieu récepteur

contamination du milieu récepteur. Enfin, ces systèmes nécessitent un espace important et ne sont pas adaptés à tous les territoires.

Les filtres à sable sous pression, utilisés comme prétraitement, en amont d'une désinfection par lampes UV, présentent une maintenance moins contraignante pour les exploitants et plus efficace. Les rétrolavages permettent d'éviter les problèmes de colmatage observés pour les filtres à sable enterrés.

5 CONFORMITE ET ESTIMATION DE PERFORMANCE BASEES SUR LES DONNEES D'AUTOSURVEILLANCE

Concernant les paramètres microbiologiques, la majorité des réglementations des stations imposent exclusivement un suivi analytique en sortie : il s'agit de mesurer la conformité de la qualité des effluents rejetés au milieu récepteur. Seulement 7 % des stations pour lesquelles les arrêtés préfectoraux ont pu être consultés dans cette étude considèrent l'abattement de la pollution microbiologique comme critère de conformité (plus de précisions dans le rapport « Etude des prescriptions réglementaires des stations de traitement des eaux usées inférieures à 10 000 EH pour la désinfection »).

5.1 Conformité

Les données d'autosurveillance de 66 stations ont été collectées auprès des acteurs locaux sur la période 2020 à 2023. Elles fournissent 799 résultats d'analyses microbiologiques sur les rejets des stations. En considérant les exigences réglementaires de chaque site, la conformité pour chacune des stations a été évaluée.

Le taux de conformité moyen global est de 83 %. Parmi les résultats, 48 % correspondent à des stations avec une limite de rejet de 1 000 UFC/100 ml (83% de conformité) et 39 % à une limite de 100 UFC/100 ml (85% de conformité) pour *E. coli*. Le taux de conformité ne semble donc pas dépendre de la valeur de limite de rejet réglementaire.

La *Figure 17* présente la répartition des résultats d'analyses microbiologiques en fonction de leur conformité réglementaire, par procédé de désinfection, sur la période 2020-2023. Il est à noter que 45 % des données concernent la désinfection par lampes UV alors que seulement 0,5 % concernent la filtration sur sable.

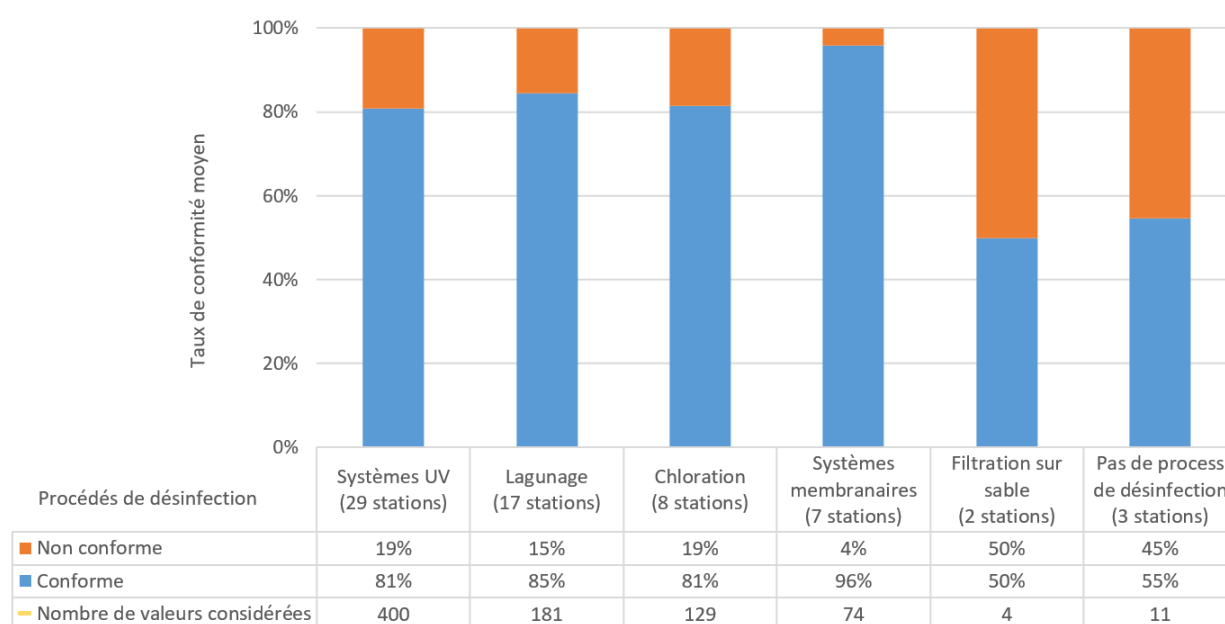


Figure 17 : Répartition des résultats d'analyses microbiologiques en fonction de leur conformité réglementaire et des procédés de désinfection équipant les stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH).

Pour les UV, le lagunage, les produits chimiques et les membranes, le taux de conformité varie entre 81 et 96 %. Ces résultats tendent à montrer que chacun de ces procédés peut assurer une désinfection efficace. Peu de données ont été obtenues pour la filtration sur sable et les stations sans désinfection qui sont non conformes pour la moitié des échantillons.

L'analyse du taux de conformité en fonction du département français, présentée dans la *Figure 18*, permet de mettre en évidence de grandes disparités entre les territoires, avec des taux de conformité moyens inférieurs à 50% dans certains départements.

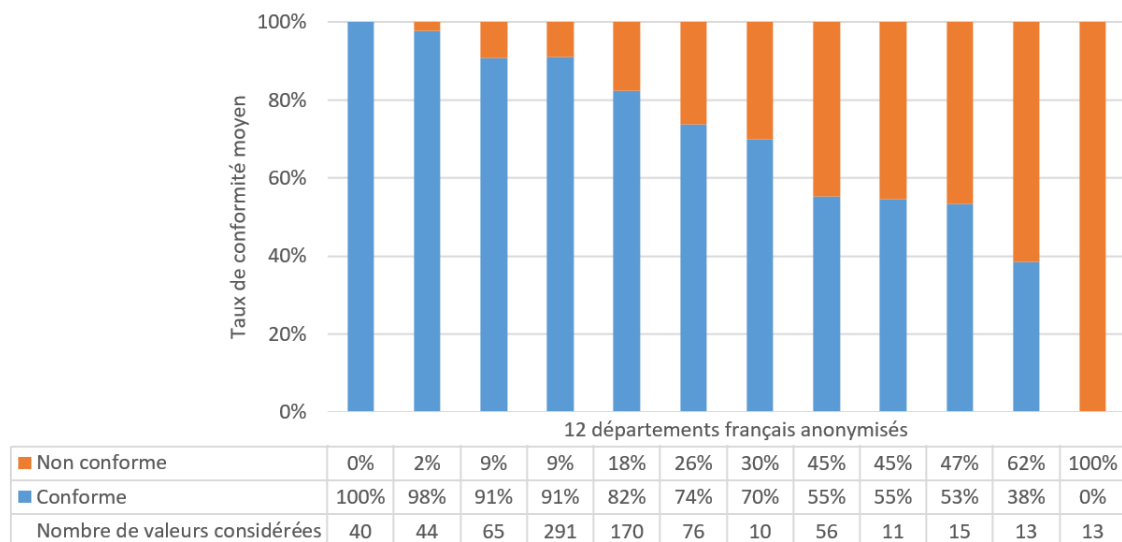
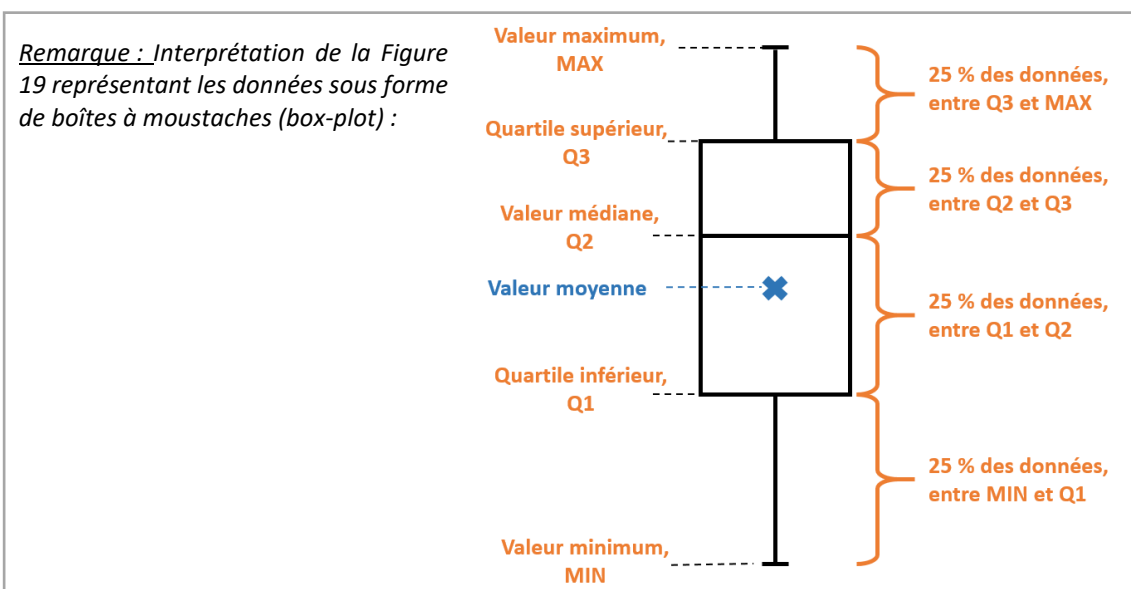


Figure 18 : Répartition des résultats d'analyses microbiologiques des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), équipées de désinfection, en fonction des départements français ayant fourni des données.

5.2 Abattement de la charge microbiologique

Parmi les données d'autosurveillance collectées, 228 bilans entrée-sortie de stations permettent le calcul d'un abattement pour le paramètre *E. coli*. Ces données concernent la performance des stations dans leur ensemble et non des systèmes de désinfection seuls. Elles sont présentées dans ce rapport, cependant l'étude des performances de la désinfection nécessite la collecte de données plus précise. Cette étude sera complétée, dans une seconde phase, par des mesures de terrain, réalisées dans 32 stations, notamment sur différents indicateurs microbiologiques qui ne sont habituellement pas mesurés (virus, protozoaires).

La Figure 19 représente la répartition statistique des abattements microbiologiques pour le paramètre *E. coli* en fonction des procédés de désinfection en place. Peu de données sont disponibles pour les entérocoques : elles ne sont pas présentées ici mais les observations sont similaires.



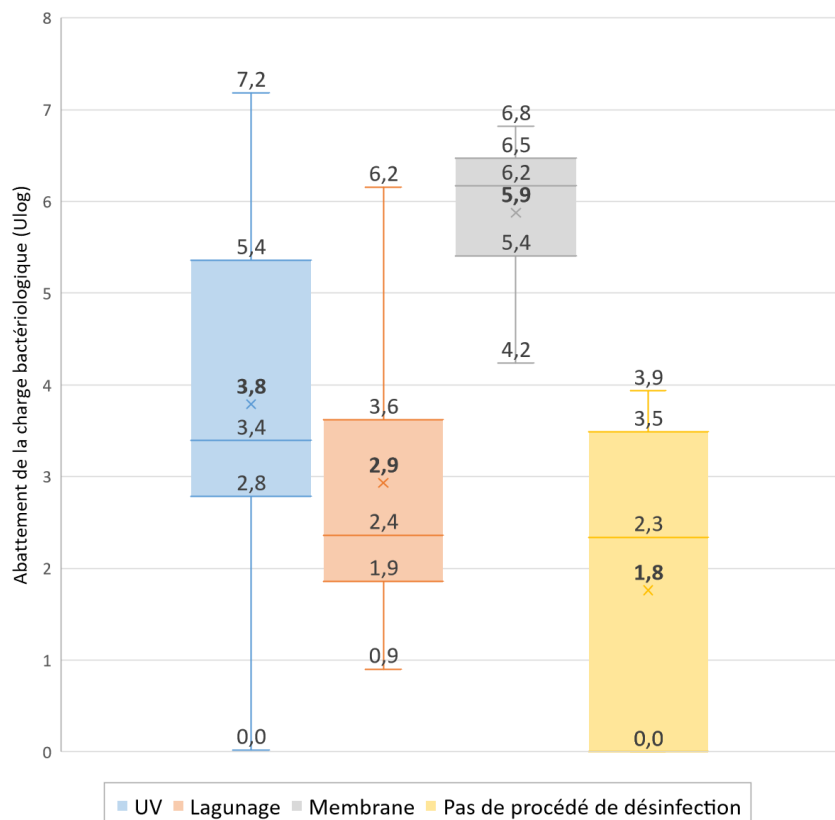


Figure 19 : Répartition statistique des valeurs d'abattement en charge microbiologique des stations de traitement des eaux usées ($\leq 10\,000$ EH), pour le paramètre *Escherichia coli*, en fonction du procédé de désinfection installé.

Les performances de désinfection des stations équipées de membranes sont globalement plus élevées et plus stables que les autres cas étudiés : l'abattement moyen en *E. coli* est de 6 log grâce à leur seuil de coupure élevé. Les stations équipées de lampes UV permettent d'abattre environ 4 log d'*E. coli* en moyenne, soit 1 log de plus que les stations équipées de lagunes. Une grande disparité des résultats est observée pour ces deux procédés, particulièrement pour les stations équipées de lampes UV.

Les stations non-équipées de systèmes de désinfection permettent tout de même d'abattre en moyenne 2 log sur le paramètre *E. coli* grâce à des mécanismes biologiques et physiques intrinsèques aux procédés de traitement des eaux usées. Il s'agit de stations en Meurthe-et-Moselle (54) dont la réglementation locale impose un abattement de 2 log pour *E. coli* et Entérocoques. Toutefois, malgré des résultats proches de la valeur réglementaire imposée, seuls 64% sont conformes. L'absence de procédé spécifique de désinfection ne permet donc pas de garantir l'atteinte des seuils réglementaires.

6 PROBLÉMATIQUES MISES EN EVIDENCE ET RECOMMANDATIONS

L'analyse des données collectées et les discussions avec les acteurs locaux mettent en évidence deux problématiques majeures rencontrées dans la gestion de la désinfection des eaux usées traitées : **le manque de moyens et de compétences locales pour exploiter et maintenir les systèmes en place et des choix techniques inadaptés.**

6.1 Moyens et compétences locales des petites et moyennes collectivités

L'exploitation des systèmes de désinfection représente une charge supplémentaire significative pour les petites stations. En fonction du procédé de désinfection mis en place, l'entretien et la maintenance impliquent du temps, des moyens financiers et humains et un niveau de technicité qui ne sont pas toujours disponibles. **L'enquête nationale révèle des dysfonctionnements directement liés à ce manque de moyens et de compétences :**

- Le personnel en charge de l'exploitation a plusieurs stations à suivre et n'est présent sur site que quelques heures par semaine. Dans certains cas, les moyens financiers disponibles pour l'entretien d'une station sont très limités. Dans ces conditions, il est difficile de faire face, par exemple, aux problèmes récurrents d'encrassement des lampes UV ou de colmatage de membranes.
- L'exploitation est parfois réalisée par des agents municipaux ou des intérimaires n'ayant pas le niveau de formation requis. Par conséquent, le personnel est amené à se former seul à l'exploitation du système de désinfection. Dans d'autres cas, l'entreprise locale contractée ne dispose pas de toutes les compétences nécessaires pour l'exploitation et la maintenance de système tels que la désinfection par UV.
- De plus, la rotation du personnel est souvent mentionnée comme trop fréquente (contrats intérimaires, fin des contrats d'exploitation en délégation à des entreprises privées...) et entraîne une perte de l'expertise.

Des problèmes similaires sont rapportés concernant les acteurs en charge du suivi réglementaire et du soutien technique aux exploitants (services publics départementaux : SATESE, ATD, DDT...). Leur capacité limitée à assurer les suivis est pointée du doigt, en particulier à cause de ressources humaines et financières insuffisantes pour mener des expertises ou des études supplémentaires, inhérentes à leur rôle d'appui aux exploitants.

De plus, les coûts d'exploitation des systèmes sont très variables d'un site à un autre. Ils intègrent les coûts humains (temps passé et niveau de compétence requis) et matériels (maintenance, consommation d'énergie, suivis analytiques...). **Il existe, dans certains cas, une inadéquation entre le choix d'un procédé de désinfection et les moyens humains et financiers investis, menant à des dysfonctionnements voire la mise à l'arrêt du système.** Les moyens opérationnels à mobiliser doivent intégrer les aspects financiers, les ressources humaines disponibles, ainsi que les compétences.

Enfin, le manque de consultation des acteurs locaux afin de prendre en compte leur expertise de terrain est un problème mis en exergue lors des discussions. SATESE, EPCI et exploitants sont une source d'informations primordiale à ne pas négliger lors de la prise de décisions concernant les choix techniques et la mise en place de la réglementation associée. Le personnel intervenant sur les stations déclare subir des décisions prises à l'échelle départementale (voire nationale) parfois inadaptées aux réalités de terrain.

6.2 Choix techniques et conception des systèmes

Les discussions avec les acteurs locaux mettent en évidence un manque d'étude d'impact pour évaluer le risque sanitaire réel lié la charge microbiologique issue d'une station, en amont d'une décision d'installation d'un système de désinfection. Selon eux, en fonction des volumes rejetés et du milieu récepteur, **la mise en place de systèmes de désinfection coûteux et contraignants en termes d'exploitation ne serait pas systématiquement pertinente.** En effet, d'autres sources de pollution microbiologique peuvent impacter le milieu récepteur (élevages, déversoirs d'orages en tête de station, industries, systèmes individuels non raccordés, mauvais branchements sur des réseaux séparatifs, activités nautiques...), questionnant l'intérêt réel de la désinfection au niveau d'une station.

Comme le préconise l'étude réalisée par la DDTM de la Seine-Maritime (Direction départementale des

territoires et de la mer de la Seine-Maritime, 2021), une étude spécifique sur la nécessité d'installer un système de désinfection devrait systématiquement être réalisée avant l'installation d'un système de désinfection dans une station existante (par exemple, une étude d'impacts). Une attention doit être apportée quant à l'impact des réseaux de collecte sur la charge microbiologique apportée dans le milieu récepteur, notamment à travers les déversoirs d'orage ou en tête de station.

Le choix du procédé semble parfois inadapté au fonctionnement de stations de faible capacité, générant des difficultés d'exploitation sur certaines stations. Les fortes variations de débits et les débits parfois très faibles entraînent une surchauffe des lampes UV ou une injection de produit chimique difficile à réguler. Le choix d'une technologie doit dépendre du niveau de traitement nécessaire à une protection sanitaire efficace, en fonction de la taille de la station, du milieu récepteur et des activités humaines en aval du rejet. De plus, les contraintes géographiques locales telles que la topographie, l'espace disponible et le climat doivent être considérées.

Au-delà du choix d'une technologie, des défauts de conception et d'installation sont mentionnés par certains acteurs, particulièrement pour les UV :

- L'installation des réacteurs UV au sol ou dans des regards enterrés peut rendre les interventions de maintenance difficiles, ce qui augmente le temps d'intervention, le risque de casse et la mise en défaut du système ;
- Cette technologie est sensible à l'exposition au soleil pour les climats les plus chauds : une couverture contre les rayonnements solaires voire l'installation dans un local climatisé est parfois indispensable (territoires d'outre-mer et climat méditerranéen).

Les performances, avantages, contraintes et limites des différents procédés doivent être mis en perspective avec les réalités locales et contraintes multiples liées à la gestion d'une station dans les petites et moyennes collectivités. La conception d'une nouvelle station, ou la modification d'une station existante, doivent permettre une exploitation respectant la réglementation en adéquation avec les moyens et compétences disponibles localement.

Par ailleurs, des solutions alternatives à une désinfection systématique, telles que l'infiltration, devraient être étudiées lorsque les conditions le permettent.

7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude des performances de la désinfection des eaux usées traitées dans les petites et moyennes collectivités françaises a été priorisée par plusieurs acteurs publics de la gestion de l'assainissement, à cause d'un manque d'information disponible et de la récurrence de problèmes d'exploitation et de performance.

La consultation de différents acteurs sur le territoire français a permis d'identifier 311 stations, de capacité nominale inférieure ou égale à 10 000 EH, équipées de systèmes de désinfection ou ayant une réglementation imposant la désinfection. La collecte d'informations sur une majorité de ces installations met en évidence deux procédés de désinfection représentant trois quart des systèmes installés : la désinfection par lampe UV, la plus largement répandue, et le lagunage. Les autres procédés existants (oxydation chimique, membranes ou filtration sur sable) se répartissent sur le quart restant.

La désinfection des eaux usées traitées permet de protéger les activités humaines en aval du rejet, principalement la baignade et autres activités nautiques, ainsi que la conchyliculture et la pêche. Dans une moindre mesure, la désinfection est mise en place dans le cadre de la REUT ou permet la protection des systèmes de captage d'eau potable. La mise en service de la désinfection au cours de l'année dépend de ces usages humains. La plupart des installations fonctionnent toute l'année, notamment dans les départements littoraux où l'activité conchylicole est présente. D'autres stations désinfectent seulement en période estivale pour la protection des zones de baignade pendant la saison touristique, ainsi que pour une majorité de stations pour lesquelles la REUT est mise en place.

L'analyse des données et les discussions avec les acteurs locaux ont permis de mettre en évidence plusieurs problématiques majeures et contraintes d'exploitation impactant la performance des systèmes de désinfection des plus petites stations françaises. Les choix techniques faits lors de la conception de certains systèmes et les moyens mis à disposition des acteurs en charge de l'exploitation et du suivi réglementaire, ne sont pas toujours adaptés.

La désinfection par lampe UV, équipant une station sur deux, apparaît comme le procédé le plus problématique, faisant face à des problèmes d'encrassement et de surchauffe. De plus, l'entretien et la maintenance ne sont pas facilités par une installation sur site parfois inadaptée, représentant une charge supplémentaire significative pour les exploitants. Dans une moindre mesure, les autres procédés font aussi face à des problèmes d'encrassement, de variation de débit et de moyens mis en place parfois insuffisants, impactant les performances de désinfection.

L'analyse des données d'autosurveillance, concernant seulement la contamination bactériologique, montre une bonne conformité moyenne des rejets. Cependant, ces performances ne présagent pas forcément de la qualité des effluents concernant les virus et les protozoaires. Ce point est clairement une lacune qui pourrait avoir des conséquences sanitaires. Il faut toutefois considérer le coût du suivi des indicateurs viraux et parasitaires, supérieur à celui des indicateurs bactériens. Technologiquement, les différents procédés utilisés en France peuvent assurer une désinfection conforme aux exigences réglementaires, mais ce sont les contraintes liées à l'exploitation des systèmes installés qui impactent les performances dans le temps.

En considérant le risque sanitaire lié aux usages humains des milieux récepteurs et l'importance que pourrait prendre la désinfection des eaux usées dans les années à venir, notamment pour la REUT, il semble important d'investir des efforts pour l'amélioration de sa gestion au sein des territoires. Les données quantitatives et qualitatives analysées dans cette étude permettent de proposer des axes d'amélioration à envisager pour la gestion de la désinfection au niveau des petites stations de traitement des eaux usées.

Les performances des systèmes installés, à travers la mesure de l'abattement de la charge microbiologique, ne sont évaluées que dans un faible nombre de stations. L'étude présentée dans ce rapport sera complétée, dans une seconde phase, par l'évaluation des performances des procédés de désinfection les plus répandus, basée sur des mesures de terrain, réalisées dans 32 stations. Les résultats des campagnes de mesures à venir apporteront plus d'éléments d'analyse sur la performance des différents procédés de désinfection en termes d'abattement de la charge en microorganismes, notamment sur différents indicateurs microbiologiques qui ne sont habituellement pas mesurés (virus, protozoaires).

BIBLIOGRAPHIE

ANSES. (2012). *Avis de l'Anses Saisine n° 2010-SA-0246*. <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2010sa0246.pdf>

Conseil départemental du Finistère. (2023). *Synthèse des préconisations pour l'installation et l'exploitation d'une unité de désinfection par rayonnements ultra-violets*.

Conseil Départemental du Gard. (2023). *SYNTHESE DEPARTEMENTALE - TRAITEMENT BACTERIOLOGIQUE 2022—GARD*.

Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France - Section des eaux. (1995). *Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines*.

Direction départementale des territoires et de la mer de la Seine-Maritime. (2021). *Guide méthodologique pour définir la nécessité et les modalités d'une désinfection*.

Données de rapportage de la saison balnéaire. (2022). <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-de-rapportage-de-la-saison-balneaire-1/>

Guillaume-Ruty S. & Lombard-Latune R. (2020). *ETUDE DES PROCEDES D'ABATTEMENT DES GERMES PATHOGENES DANS LES EFFLUENTS EN VUE DE LEUR REUTILISATION ET VALORISATION* [Rapport de stage].

Guillaume-Ruty S., Meunier A., Azaïs A., & Lombard-Latune R. (2024). Réutilisation des eaux usées traitées : Gestion des risques et efficacité d'élimination des procédés de traitement au regard des prochaines exigences réglementaires françaises. *Techniques Sciences Méthodes, TSM 10/ 2024*, 81-96. <https://doi.org/10.36904/20241081>

Lombard Latune, R., & Bruyere, M. (2023, juillet). *Panorama de la réutilisation des eaux usées traitées en France en 2022*. Epnac. <https://www.epnac.fr/reut>

Meunier A., Guillaume Ruty S., Besnault S., Boissel M., Lombard Latune R. (2025). *Abattement des microorganismes par les différents procédés de traitements des produits et sous-produits de l'assainissement*. INRAE. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36735.06565>

Ministère chargé de la santé / Eaux de baignade. (2019, août 27). [baignades.sante.gouv.fr. https://baignades.sante.gouv.fr/baignades/editorial/fr/controle/non_conformite.html](https://baignades.sante.gouv.fr/baignades/editorial/fr/controle/non_conformite.html)

Pastel Y., Besnault S., Lombard-Latune R., Prost-Boucle S. (2025). *Etude des prescriptions réglementaires des stations de traitement des eaux usées inférieures à 10 000 EH pour la désinfection*. Epnac. <https://www.epnac.fr/filieres-de-traitement/traitements-complementaires>

Pierzo V., Delattre J.-M. (2000). *Etat de l'Art sur l'Efficacité des Traitements Tertiaires de Désinfection des Eaux Résiduaires*. Institut Pasteur de Lille. Rapport de l'Agence de l'Eau Artois Picardie. 105p. [https://consultation.eau-artois-picardie.fr/OAI_Docs/aegis/1640/B_10328_\(2.48Mo\).pdf](https://consultation.eau-artois-picardie.fr/OAI_Docs/aegis/1640/B_10328_(2.48Mo).pdf)

Portail sur l'assainissement collectif. (2021). <https://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>

Racault Y., Husson A., & Stricker A. E. (2011). *Procédés Bioréacteurs à Membrane : Retours d'expérience d'installations françaises traitant des eaux usées urbaines*. 30. <https://hal.inrae.fr/hal-02595845>

Vandentorren S., Dor F. & Bonvallot N. (2019). *Evaluation des risques sanitaires des sous-produits de chloration de l'eau potable*. Institut de veille sanitaire. <https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/149927/2145644>

Vial J., Seux R., & Boutin P. (1980). *Désinfection des eaux usées par le chlore*. 399, 11-21. <https://archives-publications.inrae.fr/pub00050300.pdf>

ANNEXE 1 : LISTE DES QUESTIONS DE L'ENQUETE NATIONALE REALISEE DANS LE CADRE DE L'ETUDE EPNAC

Les questions posées lors de l'enquête en ligne étaient les suivantes :

1. Nom de la STEU (basé sur la liste BDD ERU, mais possibilité d'en ajouter)
2. Département français
3. Quelle est la capacité de la station en EH ? (Approximative si vous n'avez pas l'information exacte)
4. Quel est le procédé principal de traitement de la STEU ?
5. Pourquoi y a-t-il un système de désinfection sur la station ?
6. Quel est le système de désinfection en place sur la station ?
7. Y a-t-il un prétraitement avant désinfection ?
8. Y a-t-il un suivi analytique des performances de la désinfection ?
9. Le système de désinfection est-il utilisé ?
10. Quels sont les problèmes rencontrés avec le système de désinfection ?
11. Si présence d'un système UV, quel est le fournisseur du système UV ?
12. Si présence d'un système UV, quels sont les problèmes rencontrés avec le système UV ?
13. Avez-vous des commentaires ?
14. Contact