

Etude de solutions techniques d'assainissement à la source pour les bateaux-logement

Volet 1 : Etude bibliographique

Affaire N° 19A059

Suivie par : Olivier SAISON (Chef de projet)



Bateaux logements : SEPIA Conseils

Version	Date	Rédigé / relu par	Commentaires
2.2	24/03/20	Olivier SAISON / ADHF-F	Prise en compte des retours DRIEE, DRIEA et HAROPA Port de Paris et compléments
2.1	14/10/19	Olivier SAISON	Rapport d'étape correspondant au volet 1 (sans annexes)

SEPIA Conseils imprime sur papier recyclé avec une technologie à encre solide générant 90% de déchets en moins.

Table des matières

Etude de solutions techniques d'assainissement à la source pour les bateaux-logement	1
Liste des tableaux	4
1 Contexte et objectifs de l'étude	5
1.1 2005 : L'ADHF-F, déjà soucieuse de maîtriser l'impact des bateaux-logements, lance une 1 ^{ère} étude	5
1.2 2016 : L'objectif « Baignade en Seine » relance le sujet du traitement des rejets des « bateaux stationnaires »	7
1.3 2019 : L'ADHF-F souhaite préciser les enjeux sécuritaires, techniques, économiques et environnementaux en faveur d'une ouverture aux solutions d'assainissement à la source compatibles avec l'objectif « Baignade »	8
1.4 Demain : Une société en recherche de solutions de transition, plus durables et résilientes	10
2 Etat de l'art sur la contamination bactériologique des eaux noires et des eaux grises : Niveaux de désinfection attendus et limite des connaissances	12
2.1 Deux principaux critères pour réglementer la baignade : Escherichia Coli (EC) et Entérocoques Intestinaux (EI)	12
2.2 Niveaux de contamination des eaux usées (EU)	13
2.3 Niveaux de contamination des eaux grises (EG)	14
2.4 Niveaux de contamination des urines	16
2.5 Facteurs d'abattement bactériologique attendus et limite des connaissances	16
2.6 Zoom sur l'abattement naturel en rivière des micro-organismes	18
3 Le système d'assainissement francilien : Etat de l'art sur les performances de « désinfection »	19
3.1 Abattement bactérien constaté sur les stations d'épuration du SIAAP	19
3.2 Abattement supplémentaire spécifique	19
3.2.1 Abattement supplémentaire par traitement UV	19
3.2.2 Abattement supplémentaire à l'acide (peracétique ou performique)	20
4 Evaluation des performances d'abattement microbiologique espérées avec des solutions d'assainissement à la source alternatives	21
4.1 Inventaire des solutions d'assainissement à la source a priori aptes pour être expérimentées et homologuées	21

4.2	<i>La station d'épuration compacte embarquée</i>	22
4.2.1	Nautiflore [®]	22
4.2.2	Entéron [®]	23
4.2.3	Biomicrobics [®]	23
4.3	<i>La phyto-épuration flottante avec Aquatiris[®]</i>	23
4.4	<i>Les toilettes sèches à litière bio-maîtrisée</i>	24
4.5	<i>Les toilettes sèches avec séparation des urines</i>	24
5	Stockage des eaux usées à bord et collecte mobile	25
6	Une opportunité de créer une filière de valorisation des urines	25
7	Evaluation et comparatif des coûts/bénéfices environnementaux	28
8	Evaluation et comparatif technico-économique	30
9	Conclusions	33

Liste des tableaux

Tableau 1	: Seuils de classement de qualité des eaux de baignade selon la directive 2006/7/CE (en UFC/100mL eau)	. 12
Tableau 2	: Seuils de gestion des eaux de baignade (cf. note afsset, 2007) pour la qualification de prélèvements uniques réalisés au cours de la saison balnéaire selon la circulaire de la DGS de 2013 (en UFC/100mL).....	13
Tableau 3	: Ordres de grandeur des concentrations en EC et EI dans les eaux usées	13
Tableau 4	: Etat de l'art sur la contamination microbiologique des eaux grises brutes (Source : Avis de l'ANSES ⁹).....	15
Tableau 5	: Résultats de contamination microbiologique des eaux grises (notées EM dans cette étude pour eaux ménagères) brutes issus de l'étude du RAE/PEABP ¹⁰	15
Tableau 6	: Niveaux d'abattement bactérien attendus pour un rejet de qualité « Baignade »	17
Tableau 7	: Facteur d'abattement bactérien constaté sur les stations d'épuration du SIAAP par temps sec.....	19
Tableau 8	: Caractéristiques des familles de solution de traitement à la source	21
Tableau 9	: Comparatif des coûts et bénéfices environnementaux entre le raccordement à quai VS différentes solutions de traitement à la source	29
Tableau 10	: Comparatif des coûts d'investissement entre le raccordement à quai VS différentes solutions de traitement à la source	32

1 Contexte et objectifs de l'étude

1.1 2005 : L'ADHF-F, déjà soucieuse de maîtriser l'impact des bateaux-logements, lance une 1^{ère} étude

Consciente des problématiques liées à la qualité des cours d'eau, et de la Seine en particulier, l'ADHF-F commande en 2005 une étude¹ pour caractériser l'impact sur le milieu aquatique des rejets domestiques issus des « bateaux-logement », alors évalué au regard des objectifs de qualité fixés par la directive cadre sur l'eau. Cette étude conclue sur :

- La constitution d'un groupe de travail pour étudier le volet réglementaire adapté au cas des bateaux-logements ;
- Le besoin d'une étude de définition des systèmes autonomes techniquement faisables et financièrement acceptables, 1^{ère} étape vers une reconnaissance officielle (homologation) de tels systèmes d'assainissement ;

Quand bien même les flux de pollution (paramètres classiques) rejetés par les bateaux-logements – estimés sur une hypothèse maximisante¹ de consommation d'eau des bateliers – constituent un « bruit de fond » au regard des flux traités rejetés par les stations d'épuration franciliennes du SIAAP : Marne aval, Seine Amont, Seine Centre et Seine aval.

Dès 2006, l'ADHF-F adopte une charte de l'Habitat Fluvial, dont l'article 5 intitulé « Respect de l'environnement » stipule que « [...] chaque propriétaire de bateaux a la responsabilité :

- *[...], d'appliquer, dès qu'une législation [...] sera en place, sur les règlements concernant les rejets d'eaux noires et d'eaux grises,*
- *de ne pas rejeter directement en rivière tous produits qui seraient susceptibles de mettre en danger son équilibre, en pratiquant individuellement, et dans une démarche de réduction à la source, un bon usage des différents produits ménagers ou autre, employés dans la vie courante à bord. »*

L'ADHF-F a également le souci de l'égalité de traitement, et a vocation à proposer des évolutions réglementaires tenant compte de l'hétérogénéité des situations : certains bateliers ont très peu de

¹ SEPIA Conseils, 2007, Etude des rejets domestiques issus des bateaux-logements : état des lieux et diagnostic proposition de solutions

moyens d'investissement, certains navigent et d'autres pas, et il existe beaucoup d'architectures / dimensions / d'aménagement différents selon les bateaux, certains sont classés, etc.

1.2 2016 : L'objectif « Baignade en Seine » relance le sujet du traitement des rejets des « bateaux stationnaires »

En 2016, suite au double objectif d'accueillir les Jeux Olympiques en 2024 à Paris et de reconquérir une qualité Baignade en Seine en vue d'aménager durablement des sites de baignade l'été, le groupement de commande « HAROPA Ports-de-Paris / VNF / Ville de Paris / Syndicat des Eaux de la Presqu'île de Genevilliers » commandite une étude visant à élaborer un plan d'actions pour atteindre cet objectif (*SEPIA Conseils & Philippe Marc, 2017, Inventaire des bateaux stationnaires situés en Seine en amont de la prise d'eau de Suresnes et préconisations de solutions d'assainissement*). Cette étude conclue :

- Sur le volet juridique, réglementaire et institutionnel :
 - Le terme « bateaux » recouvre une diversité d'objets juridiques susceptibles de rejeter en cours d'eau ; la sous-catégorie « Bateau-logement » peut être rattachée à « Bateau de plaisance à usage privé » ou « Etablissement flottant à usage privé »,
 - Plusieurs réglementations s'appliquent sur les rejets, hétérogènes selon l'objet juridique « bateau » considéré,
 - Il n'existe pas de prescriptions réglementaires portant sur des systèmes d'assainissement intégrant l'exigence de qualité Baignade,
 - Il n'existe pas de service institutionnel en France en charge de l'homologation de tels systèmes,
 - A l'échelon local, il n'existe pas toujours de Service Public d'Assainissement Non Collectif (SPANC) qui serait en charge du contrôle de tels systèmes (ex. Ville de Paris) ;
- Sur le volet technique :
 - Les solutions techniques de traitement embarqué sont quasi-inexistantes sur les cours d'eau français. Ils ne font pas l'objet d'encadrement et leurs performances d'abattement de la bactériologie posent question. Le marché n'est pas structuré. Une diversité de solutions innovantes semble émerger,
 - Dans ce contexte, traiter les rejets de tous les « bateaux-stationnaires » à grande échelle d'ici 2023 sur le périmètre à enjeu Baignade conduit à privilégier la solution du raccordement des bateaux au réseau d'assainissement collectif, parfois existant ou le plus souvent programmé, ou bien la mise en place d'une solution de stockage-collecte mobile par bateau/camion vidangeur. Vouloir traiter l'ensemble des effluents (eaux noires + eaux grises) conduit à privilégier la solution du raccordement ;

- Expérimenter les solutions de traitement à la source prometteuses (ex. toilettes sèches ou dispositifs flottants de phytoremédiation), en vue d'une part de répondre aux situations où il ne serait pas faisable de déployer l'une ou l'autre des solutions évoquées ci-dessus, et d'autre part viser une reconnaissance officielle qui autoriserait leur déploiement à plus grande échelle. Compte-tenu de la diversité de cette famille de solutions et de leurs niveaux de maturité, elles n'ont pas été étudiées de façon aussi détaillée que les solutions « Raccordement à quai » et « Stockage-Collecte mobile » ;
 - Toutes les solutions posent la question de l'accompagnement et du contrôle du bon fonctionnement technique, chacune de manière spécifique.
- Sur le volet économique :
- Les deux solutions de « Raccordement à quai » et « Stockage-Collecte mobile » étudiées en détail affichent des coûts d'assainissement particulièrement importants au regard de la charge de pollution à traiter ; La part « Investissement » est plus importante pour la 1^{ère} solution, la part « Exploitation » plus importante pour la 2^{nde} ;
 - Les coûts afférents aux solutions de traitement à la source dépendent de la solution considérée ; ces solutions n'ont pas été étudiées en détail compte-tenu du niveau de maturité de ces solutions en rapport avec l'échéance 2023.

1.3 2019 : L'ADHF-F souhaite préciser les enjeux sécuritaires, techniques, économiques et environnementaux en faveur d'une ouverture aux solutions d'assainissement à la source compatibles avec l'objectif « Baignade »

Jusqu'à aujourd'hui, aucune solution de traitement des eaux usées de bateau n'a été approuvée. Depuis 2018, la loi olympique oblige les bateliers à se raccorder au tout-à-l'égout partout où les quais seront aménagés à cet effet. L'aménagement des quais pour accueillir un réseau d'assainissement afin d'y raccorder les bateaux est pertinent technico-économiquement dans des cas bien particuliers : forte densité de bateaux (et de population sur les bateaux), réseau public d'assainissement proche, proximité des zones de baignade où les pouvoirs publics ont besoin de garanties sur la concentration bactériologique.

Cela soulève pour l'ADHF-F et les bateliers de France qu'elle représente une solution limitée dans son périmètre d'application, et qui soulève des sujets importants :

1. Sécurité : là où les égouts unitaires sont plus hauts que les bateaux, **il existe un risque de mise en charge et de coulage des bateaux** par les eaux usées en cas de surcharge

2. Coûts d'investissement :

- L'investissement pour la collectivité est très important, par exemple 53 000€ par bateau pour le port de Debilly Aval (comprenant d'autres travaux que la réalisation du réseau de collecte), et 43 500€ par bateau en moyenne²
- 20 000€³ par bateau en moyenne - et jusqu'à 50 000€ - pour les particuliers (il faut démonter les cloisons sur la longueur du bateau pour rassembler toutes les eaux au même endroit qu'il faut ensuite relever)

3. Limites de la solution :

- Bateaux navigants : Pas de raccordement possible quand le bateau navigue
- Gel : Le gel dans le point bas du flexible extérieur peut bloquer le système de refoulement des eaux usées (moins problématique pour l'eau potable sous pression)⁴
- Crue : La connexion n'est plus possible dans ce cas, parfois pendant des semaines

4. Environnement : l'ADHF-F estime a priori que les solutions alternatives de traitement à la source présentent un certain nombre d'avantages en termes d'impact environnemental

5. Equité/Efficacité globale : solution de raccordement à quai non transférable partout en France, et non transférable aux bateaux de croisière et aux bateaux de transport de marchandises transitant sur l'axe Seine. Selon l'ADHF-F, ces derniers représenteraient une pollution bactériologique comparable aux bateaux logements (équipages à bord en permanence et nombre comparable), et il paraît incohérent d'imposer une solution lourde à quelques bateaux, alors que d'autres pourraient continuer à évacuer eaux noires et eaux grises dans la rivière. Certaines des solutions que souhaite étudier l'ADHF-F pourraient être transposables aux bateaux de transport ou aux bateaux-logement pour lesquels le raccordement au tout-à-l'égout n'est pas supportable par la collectivité et/ou le gestionnaire du domaine public fluvial.

C'est pourquoi l'ADHF-F souhaite préciser les enjeux techniques, économiques et environnementaux en faveur d'une ouverture aux **solutions d'assainissement à la source** pour les bateaux-logement (abréviation BL adoptée dans ce rapport), **sur le périmètre concerné par la loi olympique et aussi**

² Source : HAROPA Ports-de-Paris, précision apportée par courriel en date du 20/12/19

³ Source : Estimation donnée par P. Esselinck, batelier et président d'Esselinck ingénierie

⁴ Source : Retours d'expérience de bateliers évoqués au cours de l'étude d'ARTELIA (CR de la réunion du 17/12/19)

partout ailleurs en France, solutions qui seraient **de plus applicables aux bateaux de commerce et aux bateaux navigants de manière générale**. Elle commande à cette fin :

- une étude bibliographique, objet du présent rapport d'étude ;
- des expérimentations de mesure in situ de contamination bactériologique par les bateaux-logement, afin de caractériser au mieux l'impact réel des rejets in situ avec ou sans solution de traitement à la source, et préciser la part provenant des eaux noires (toilettes) de celle provenant des eaux grises (évier, douches, machines à laver). Ce faisant, l'association a décidé de financer des expérimentations innovantes sans pouvoir préjuger des résultats et de leurs conclusions. Ce point a bien été explicitement évoqué entre l'ADHF-F et les entreprises en charge de l'exécution de l'étude, à savoir SEPIA Conseils et Fluidion.

1.4 Demain : Une société en recherche de solutions de transition, plus durables et résilientes

En matière d'assainissement, les approches durables privilégiées aujourd'hui cherchent à :

- Eviter les solutions grises telles que la construction d'ouvrages, surtout en milieu urbain particulièrement contraint, pour privilégier une gestion à la source plus douce, moins gourmande en investissement, et délester les réseaux unitaires en surcharge plusieurs jours par an. Cela est particulièrement vrai pour les eaux pluviales. De plus le programme Eau & Climat 2019 de l'Agence de l'Eau Seine Normandie encourage et finance l'assainissement écologique, comme la gestion séparative des urines (section A2a), et fait référence plus loin (section A4) à l'assainissement collectif et aux toilettes sèches ;
- Minimiser les émissions de carbone associées aux investissements ET au fonctionnement des solutions, et minimiser la dépendance aux énergies fossiles et les coûts associés ;
- Réduire la consommation d'eau potable, les toilettes sèches représentant 30% d'économie ;
- **Enfin et surtout, à valoriser les déchets comme les ressources de demain, en circuit court ; c'est ce que permettent les toilettes sèches, dont certaines permettent séparément de composter les fèces et d'utiliser les urines comme produit fertilisant**, plutôt que de concentrer les moyens pour la traiter comme un déchet. Un déchet qui, même après avoir consommé de l'énergie et des réactifs pour traiter la pollution azotée, continue de rejeter une petite fraction d'azote dans les cours d'eau qui vont s'ajouter aux autres sources de rejet, et poser des problèmes environnementaux (ex. algues vertes à l'estuaire de la Seine).

Demain, l'augmentation du coût des engrais N, P, K dus aux origines fossiles de l'Azote et du Phosphore remettra en question l'économie de la production agricole mondiale. La FAO⁵ considère qu'il est temps d'arrêter de considérer les eaux usées comme des déchets pour les voir comme une opportunité pour l'agriculture, ainsi qu'en matière d'amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle. La valorisation des urines, riche en azote et phosphore, fait partie des solutions actuellement en phase de recherche de débouchés⁶. Le programme de recherche OCAP⁷, porté par plusieurs laboratoires de recherche, ainsi que le nombre croissant d'acteurs économiques et de réalisations sur le sujet, en attestent. La parole donnée à F. Esculier, directeur du programme OCAP, dans l'une des 1^{ères} émissions de la Terre au carré sur France-Inter le 2 septembre 2019, atteste de la résonance sociétale de ce type de solution.

L'urine présente également d'autres débouchés prometteurs (santé, énergie, ...) ⁸, lesquels pourraient contribuer au changement de paradigme et d'échelle nécessaire pour repenser l'assainissement de demain et minimiser les coûts de collecte.

La question de la pérennité des performances de petites solutions de traitement à la source dispersées et de natures diverses se pose⁹. Cette question se pose également et autrement pour les solutions d'assainissement centralisées telles qu'elles existent aujourd'hui et qui présentent des risques majeurs ; en témoigne la station d'épuration d'Achères (Seine Aval), traitant 60% des eaux usées de l'agglomération parisienne, classée « SEVESO Seuil haut », qui présente au jour de l'écriture de ce rapport des rejets dégradés en Seine depuis plusieurs mois suite à un incendie ayant impacté la clarifloculation, et que les travaux de réparation devraient prendre plusieurs années.

⁵ FAO, 2017, Journée mondiale de l'eau

⁶ Esculier, F. 2018. Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est

⁷ http://www.eau-seine-normandie.fr/urine_ocapi_CC_decembre_2018

⁸ Voir le reportage « Les superpouvoirs de l'urine », 2013, ARTE Production, par T. Berrod et Q. Russel

⁹ SEPIA Conseils & Philippe Marc, 2017, Inventaire des bateaux stationnaires situés en Seine en amont de la prise d'eau de Suresnes et préconisations de solutions d'assainissement

2 Etat de l'art sur la contamination bactériologique des eaux noires et des eaux grises : Niveaux de désinfection attendus et limite des connaissances

2.1 Deux principaux critères pour réglementer la baignade : Escherichia Coli (EC) et Entérocoques Intestinaux (EI)

A côté des critères de pollution visuelle, deux indicateurs sont aujourd'hui¹⁰ considérés à l'échelon européen pour autoriser la baignade : il s'agit de Escherichia Coli (EC) et Entérocoques Intestinaux (EI), deux bactéries indicatrices fécales (BIF) choisies comme représentatives du risque sanitaire encouru par les baigneurs.

Pour qu'un nouveau site de baignade soit autorisé, il faut que les concentrations en EC et EI soient statistiquement inférieures aux seuils présentés dans le Tableau 1 ci-dessous :

Paramètre	Excellente qualité	Bonne qualité	Qualité suffisante
<i>Entérocoques intestinaux</i>	200 (*)	400 (*)	330 (**)
<i>Escherichia coli</i>	500 (*)	1 000 (*)	900 (**)

* Evaluation au 95^{ème} percentile **Evaluation au 90^{ème} percentile sur la base d'au moins 16 mesures établies normalement sur 4 saisons balnéaires

Tableau 1 : Seuils de classement de qualité des eaux de baignade selon la directive 2006/7/CE (en UFC/100mL eau¹¹)

Une fois un site de baignade autorisé, la gestion du risque sanitaire repose sur des mesures ponctuelles en EC et EI durant la saison balnéaire. Des mesures qualifiées comme mauvaises selon les seuils de gestion ANSES (cf. tableau suivant) permettent de caractériser une pollution, et peuvent conduire à une fermeture temporaire de la baignade par le gestionnaire du site de baignade.

Qualification d'un prélèvement	Bon	Moyen	Mauvais
<i>Entérocoques intestinaux (EI)</i>	≤ 100	> 100 et ≤ 660	> 660
<i>Escherichia coli (EC)</i>	≤ 100	> 100 et ≤ 1800	> 1800

¹⁰ Une nouvelle réglementation devrait sortir, qui apporterait un encadrement adapté aux activités en eaux vives, et/ou un élargissement des paramètres réglementaires contrôlés, avec l'éventuelle introduction des cyanobactéries

¹¹ Les valeurs seuils définies dans la directive européenne 2006/7/CE font référence à l'unité UFC/100mL (Unités Formant Colonie dans un échantillon de 100mL)

Tableau 2 : Seuils de gestion des eaux de baignade (cf. note afsset, 2007) pour la qualification de prélèvements uniques réalisés au cours de la saison balnéaire selon la circulaire de la DGS de 2013 (en UFC/100mL)

2.2 Niveaux de contamination des eaux usées (EU)

Le Tableau 3 suivant fournit des ordres de grandeur issus de la bibliographie :

	E.coli (EC)	Entérocoques intestinaux (EI)
Equivalent habitant (EH) ¹²	10 ¹⁰ UFC/hab./jour	10 ⁹ UFC/hab./jour
Eaux usées brutes ¹³	10 ⁹ UFC/100 mL	10 ⁸ UFC/100 mL
Eaux usées brutes par temps sec ¹⁴	10 ⁶ à 10 ⁷ n/100 mL	10 ⁶ n/100 mL
Eaux usées traitées ¹⁴ (données issues de 5 stations d'épuration du SIAAP en Ile-de-France)	10 ³ à 10 ⁴ n/100 mL	10 ² à 10 ³ n/100 mL

Tableau 3 : Ordres de grandeur des concentrations en EC et EI dans les eaux usées

Il ressort que les eaux usées des stations d'épuration du SIAAP, qu'elles soient brutes ou traitées, ne sont pas conformes en l'état aux seuils exigés pour la baignade. La pluie a un effet de dilution sur les apports en BIF aux stations, jusqu'à un facteur 10 au maximum des épisodes pluvieux¹⁴. Pour rappel, les stations d'épuration n'ont pas été conçues pour cela et n'ont – en règle générale - pas d'exigence en termes d'abattement bactériologique. Dans le cas particulier d'usages sensibles d'eaux brutes dont la qualité est altérée par les rejets de stations d'épuration, il faut donc prévoir des traitements complémentaires spécifiques. Ainsi, l'installation de zones de baignade à Paris et sur le secteur Marne-Vive implique de prévoir des traitements complémentaires de désinfection des rejets aux usines du SIAAP de Valenton (expérimentation lancée à l'acide performique) et Noisy-le-Grand (remise en fonctionnement de l'unité d'ultra-violet).

Parmi les eaux usées (EU) brutes, on distingue :

- les eaux noires (ou eaux vanne) provenant des toilettes. Parmi celles-ci :

¹² Etude (2003) *Programme Seine Aval – Analyse des risques chimiques et microbiens – Sources et dynamique des coliformes fécaux dans l'estuaire de la Seine*. Par P. SERVAIS, et al.

¹³ OMS, 2006

¹⁴ TSM numéro 4, 2012, *Variabilité de la qualité microbiologique des eaux usées brutes dans une grande agglomération*. Par F. LUCAS, A. GONÇALVES, P. SERVAIS, V. ROCHER, S. MASNADA, C. THERIAL, L. LESAGE, J.M. MOUCHEL + Contribution du SIAAP à l'étude SEPIA de 2016 pour la Ville de Paris. Par V. ROCHER, et al.

- les fèces sont porteurs de germes potentiellement pathogènes, dont les EC et EI recherchés pour évaluer le risque sanitaire dans les eaux de baignade en tant que Bactéries Indicatrices de contamination Fécale (ou « BIF »),
- les urines, considérées comme exemptes de bactéries pathogènes¹⁵. En réalité, on sait depuis quelques années que l'urine n'est pas complètement stérile et contient des bactéries¹⁶. Certains spécialistes parlent même de « microbiote urinaire » pour désigner la flore microbienne présente à l'intérieur de la vessie. Cela étant, il ne s'agit pas de bactéries pathogènes (sauf infection urinaire) ;
- les eaux grises (parfois aussi appelées eaux ménagères) provenant de la cuisine, de la salle de bain et des machines à laver. Les eaux grises peuvent être contaminées en EC et EI du fait de la présence de traces de fèces ; les EC peuvent même, dans une moindre mesure, provenir du microbiote de la peau¹⁷.

2.3 Niveaux de contamination des eaux grises (EG)

« Le niveau de contamination microbiologique des EG et EGT [Eaux Grises Traitées] est peu renseigné dans la littérature scientifique » selon l'ANSES dans son avis sur la réutilisation des eaux grises publié en 2015¹⁸ ; le Tableau 4 qui suit, extrait de l'avis de l'ANSES, illustre le peu de données et la grande variabilité des résultats remontés ; au point que selon les sources considérées, les valeurs sont

Annexe 6 : Données de contamination microbiologique des eaux grises brutes (UFC/100 mL)

Micro-organisme	Chaillou et al. (2011)	Winward et al. (2008)	Ottoson et Stenström (2003)	Laine (2001)	Birks et al. (2004)	Surendran et Wheatley (1998)	Rose et al. (1991)	Christova-Boal et al. (1996)	Birks et Hills (2007)	Friedler et al. (2006)	Gilboa et Friedler (2008)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	n/a	3,2. 10 ⁴	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	3,30. 10 ³
<i>Staphylococcus aureus</i>	n/a	2,3. 10 ³	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	9,90. 10 ³
<i>Salmonella spp.</i>	n/a	ND	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	ND	n/a	n/a
<i>Campylobacter spp.</i>	n/a	ND	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	ND	n/a	n/a
Coliformes totaux	n/a	2,0. 10 ⁵	1,3. 10 ⁵	9,4. 10 ³	1,0. 10 ⁵	6,0. 10 ⁶	6,1. 10 ⁶	2,4. 10 ⁷	2,2. 10 ⁷	n/a	n/a
<i>E. coli</i>	2,07. 10 ⁶	6,3. 10 ²	1,0. 10 ⁶	1,5. 10 ³	2,4. 10 ⁶	6,0. 10 ²	7,9. 10 ⁶	3,3. 10 ³	3,9. 10 ⁵	3,4. 10 ⁵	3,80. 10 ⁴
Entérocoques	1,0. 10 ⁵	6,3. 10 ²	2,5. 10 ⁴	2,1. 10 ³	2,0. 10 ⁵	n/a	n/a	2,4. 10 ³	2,5. 10 ³	n/a	n/a
<i>Clostridium sp.</i>	n/a	1,0. 10 ³	2,0. 10 ³	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	4,60
coliphage somatique	n/a	n/a	2,0. 10 ³	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	ND
Bactériophage ARN-F	n/a	n/a	ND	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	ND
Flore totale 36 ou 37°C	4,7. 10 ³	n/a	n/a	n/a	3,0. 10 ³	n/a	n/a	n/a	6,3. 10 ⁵	2,60. 10 ⁷	1,60. 10 ⁷
<i>Giardia spp.</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1,5 kiste/L	n/a	n/a
<i>Legionella spp.</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	ND	n/a	n/a
<i>E. coli</i> O157:H7	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	ND	n/a	n/a
Entérovirus	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	ND	n/a	n/a

n/a : non recherché ; ND : non détecté D détecté

17 | Valeur moyenne | Valeur maximale

18 ANSES, 2015, Analyse des risques sanitaires liés à la réutilisation d'eaux grises pour des usages domestiques

inférieures ou supérieures aux seuils de gestion évoqués plus haut pour les EC et EI.

Tableau 4 : Etat de l'art sur la contamination microbiologique des eaux grises brutes (Source : Avis de l'ANSES¹⁸)

Les résultats de Birks et Hills (2007) soulèvent aussi la question de la corrélation entre le nombre d'EC quantifié dans les eaux grises, et la présence de souches pathogènes comme E. Coli O157 :H7, non détectée dans l'étude.

Plus récemment en 2018, le Réseau de l'Assainissement Ecologique (RAE) et le Pôle Eco-Assainissement des Baronnies Provençales publient les résultats d'une étude visant à caractériser les eaux ménagères domestiques (eaux grises) et 3 filières de traitement rustiques associées (filtre planté, tranchée plantée, pédoépuration)¹⁹ sur 18 installations en fonctionnement depuis plusieurs années. En partenariat avec le ministère de la transition écologique et solidaire, le ministère des solidarités et de la santé, l'IRSTEA, le CEREMA, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et la région Auvergne Rhône-Alpes, il ressort également que la composition bactériologique des eaux ménagères brutes (eaux grises) est très variable (cf. tableau suivant) ; de plus, les gammes de valeurs mesurées sont cohérentes avec celles remontées par l'ANSES.

Concentration (UFC/100ml)	EM seules	
	Entérocoques	Escherichia coli
Moyenne	2,6E+05	3,0E+05
Minimum	1,2E+03	5,0E+02
Maximum	8,4E+05	1,9E+06

Tableau 5 : Résultats de contamination microbiologique des eaux grises (notées EM dans cette étude pour eaux ménagères) brutes issus de l'étude du RAE/PEABP¹⁹

- ⇒ **Les mesures trouvées dans la littérature, peu nombreuses, indiquent une forte variabilité des taux d'EC et d'EI présents dans les eaux grises, inférieurs aux seuils de gestion d'un site de baignade pour les minima, supérieurs d'un facteur 100 à 1000 en moyenne**

¹⁹ RAE et PEABP, 2018, Caractérisation des Eaux Ménagères domestiques et de filières de traitement associées – Rapport d'étude de suivi in situ

2.4 Niveaux de contamination des urines

Les urines, sauf infection urinaire, sont réputées stériles ou tout du moins exemptes de microorganismes pathogènes. C'est pourquoi nous pensons qu'il n'existe pas de concentrations de référence en EC et EI dans les urines, les tests étant conçus pour détecter une possible infection.

Dans certaines cultures, et cela existe également en France, il est d'usage de consommer sa propre urine pour des raisons de santé (urothérapie).

D'un point de vue technique, la question du niveau de concentration en EC et EI dans les urines se pose théoriquement uniquement dans le cas d'installations de toilettes sèches avec collecte séparative des urines, et rejet des urines seules au cours d'eau dans l'attente de la mise en place de filières de collecte et de valorisation économiquement pertinentes (voir chap.4), ou en navigation au cours de laquelle il faudrait prévoir un bypass du système de stockage lorsque celui-ci est plein.

En pratique, l'impact sur la baignade ou la pollution azotée d'un fleuve comme la Seine de rejets directs d'urine émanant de bateaux-logements (moins de 130 à Paris intra-muros) est négligeable au regard du débit de la Seine. L'impact est également négligeable au regard des autres sources de pollution azotée par l'urine (azote résiduel rejeté par les stations d'épuration, apports dus aux mauvais raccordements sur le réseau séparatif d'eaux pluviales, urinage sauvage sur les quais l'été, urines animales).

2.5 Facteurs d'abattement bactériologique attendus et limite des connaissances

Compte-tenu de l'état de l'art présenté aux chapitres précédents, on en conclut :

- Comme l'ANSES, que le potentiel pathogène des eaux grises brutes et traitées est méconnu et mérite d'être précisé (objet du volet 2 de l'étude commanditée par l'ADHF-F) ;
- Que les facteurs d'abattement bactérien attendus pour un rejet de qualité baignable sont tels que présentés au Tableau 6 suivant. A noter que ces facteurs d'abattement théoriques ne prennent pas en compte :
 - L'effet de dilution dans le cours d'eau (cet effet sera évalué en conditions réelles dans le cadre du volet 2 expérimental de l'étude),
 - L'effet de mortalité naturelle des BIF dans le tuyau vertical d'évacuation des eaux noires, constituant un milieu tampon (effet de cloche) en eau avant libération dans l'eau de la Seine (voir chap.0 suivant),
 - L'effet de sédimentation d'une partie des bactéries attachée aux particules solides,

- L'effet d'ingestion par les poissons d'une autre partie des bactéries attachée aux particules solides,
- Au contraire les possibilités de développement de films bactériens dans le système d'évacuation des eaux usées.

Seules des mesures in situ permettraient d'évaluer l'impact réel sur le milieu des rejets des bateaux (cf. volet 2 de l'étude).

NATURE EFFLUENT	Concentrations typiques (UFC/100mL)	Concentrations objectif* pour la baignade (UFC/100mL)	Facteur d'abattement bactérien attendu sans effet de dilution	Facteur d'abattement bactérien attendu à 100m du rejet du bateau le plus proche
Eaux usées brutes (EC)	$10^6 - 10^7$	10^3 (900)	>10 000 (4 log ₁₀)	Dans l'attente des résultats d'expérimentation prévus au volet 2 de l'étude
Eaux usées brutes (EI)	10^6	10^2 (330)	10 000 (4 log ₁₀)	
Eaux grises (EC)	$6,3 \cdot 10^2 - 10^6$	10^3 (900)	Sans objet - >1 000 (3 log ₁₀)	
Eaux grises (EI)	$6,3 \cdot 10^2 - 2,5 \cdot 10^4$	10^2 (330)	2 - 100 (2 log ₁₀)	

Tableau 6 : Niveaux d'abattement bactérien attendus pour un rejet de qualité « Baignade »

* Nous considérons ici les seuils définis par la directive Baignade, car nous ne pouvons pas considérer les rejets des bateaux-logements – certes ponctuels dans le temps et l'espace - comme des pollutions court terme au sens de la directive, car ils sont récurrents et non maîtrisables par un gestionnaire de baignade.

2.6 Zoom sur l'abattement naturel en rivière des micro-organismes

Les micro-organismes pathogènes pour l'homme sont exposés en rivière à différents phénomènes (destruction par les UVs, compétition microbienne, sédimentation, etc.). Ces phénomènes ont pour effet un abattement naturel des concentrations en microorganismes pathogènes au fil de l'eau ; et cet abattement naturel est d'autant plus fort en conditions estivales, lorsque les UVs et la compétition microbienne sont maximum, et lorsque le débit est faible, et donc le temps de transfert vers l'aval plus important.

L'effet de cet abattement naturel s'observe en temps normal lors de la traversée de Paris entre le pont Tolbiac et le pont Garigliano, puis entre le pont Garigliano et Suresnes. Cet abattement naturel a aussi été observé à l'occasion de pollutions accidentelles (dysfonctionnement combiné des stations d'épuration d'Evry et de Corbeil-Essonnes)²⁰.

L'abattement naturel des Escherichia Coli (EC) est modélisé dans le module RIVE du modèle ProSe, développé par le PIREN Seine et le SIAAP.

A noter que la notion d'abattement naturel est spécifique à chaque espèce de micro-organisme pathogène, et que l'état des connaissances actuel est le plus avancé pour les EC.

²⁰ SEPIA Conseils & Jean-Marie Mouchel, 2016, Etude des plans d'action pour l'amélioration de la qualité de la Seine réalisée pour la Ville de Paris (chap.2.2 et annexes 8, 9 et 11)

3 Le système d'assainissement francilien : Etat de l'art sur les performances de « désinfection »

3.1 Abattement bactérien constaté sur les stations d'épuration du SIAAP

Les stations d'épuration n'ont pas vocation à désinfecter les eaux usées, et n'ont pas été conçues pour respecter des concentrations objectifs en EC ou EI en sortie de station. Néanmoins elles intègrent des procédés d'épuration physico-chimiques et biologiques qui contribuent à la mortalité des EC et EI (cf. chap.2.2 Tableau 3), en plus de la mortalité naturelle qui a lieu au bout d'un certain temps pour ces bactéries qui se retrouvent exposées en dehors de leur milieu de prédilection (l'intestin, à 37°C).

Facteur d'abattement bactérien constaté aux usines d'épuration du SIAAP	E.coli (EC)	Entérocoques Intestinaux (EI)
Eaux usées traitées ¹⁴ (données issues de 5 stations d'épuration du SIAAP en Ile-de-France)	1 000 (3 log)	1 000 (3 log) - 10 000 (4 log)

Tableau 7 : Facteur d'abattement bactérien constaté sur les stations d'épuration du SIAAP par temps sec

Comme évoqué plus haut, ces facteurs d'abattement, quoiqu'importants, sont insuffisants pour un rejet de qualité « Baignade ». Le niveau d'abattement est par ailleurs diminué d'un facteur 10 à 100 par temps de pluie¹⁴.

C'est pourquoi le SIAAP expérimente – en plus des traitement UV à l'usine de Noisy-le-Grand - un traitement complémentaire à l'acide performique pour compléter le traitement bactériologique à Valenton.

3.2 Abattement supplémentaire spécifique

PREAMBULE : La chloration, procédé de désinfection courant, conduit à la formation de résidus chlorés rejetés directement au milieu naturel, conduisant à un accueil défavorable par l'ARS. La chloration n'a donc pas été étudiée dans le cadre de cette étude.

3.2.1 Abattement supplémentaire par traitement UV

Les traitements UV peuvent abattre la bactériologie d'un facteur supérieur à 10 000, ce qui est théoriquement suffisant pour traiter des eaux grises, ou des eaux usées ayant déjà été préalablement traitées, en sortant une eau de qualité Baignade.

Selon le guide du Centre d'Etude Technique Maritime Et Fluvial de 2002, le traitement UV n'est pas adapté pour les petits bâtiments (en-deçà de 25 passagers), car le débit est trop faible (<4l/s) pour subir une désinfection efficace.

Depuis, des solutions UV existent pour des débits très faibles et intermittents d'eaux usées, au moyen de systèmes avec électrovanne et temps de chauffe des gaz pour gérer le fonctionnement par intermittence des lampes et les économiser²¹. Ces solutions sont à intégrer en bout de chaîne d'un système de traitement préalable rejetant des eaux claires. En effet les solutions UV travaillent en 12 ou 24V, avec une limite de puissance qui nécessite d'avoir des eaux claires pour travailler efficacement. Ce type de solution UV en bout de chaîne de traitement est déjà en œuvre sur certains bateaux pour permettre aux bateliers d'utiliser l'eau de la Seine traitée pour les utilisations domestiques à part la boisson.

A noter qu'il est prévu qu'un traitement UV soit testé à Port-Marly en sortie d'une phyto-épuration flottante.

Cette technologie nécessite un bon prétraitement pour que le traitement soit fait sur une eau claire, et une maintenance adaptée des lampes UVs. A noter que les nouvelles technologies de lampe UV à diode ne seraient pas adaptées techniquement en termes de puissance nécessaire²².

3.2.2 Abattement supplémentaire à l'acide (peracétique ou performique)

De nombreux acides ont des propriétés désinfectantes. Deux d'entre eux sont utilisés comme traitement d'épuration complémentaire des eaux usées :

- L'acide peracétique pour les eaux usées des navires et le respect de la norme MARPOL (ex. système Biomicrobics) ;
- L'acide performique, actuellement testé par le SIAAP pour les rejets de l'usine Seine Amont située à Valenton.

Ces deux acides sont techniquement capables d'abattre les concentrations en micro-organismes pathogènes en proportion suffisante pour respecter les normes de baignade reposant sur les deux bactéries indicatrices fécales EC et EI.

Le stockage et la manipulation de ces acides nécessitent des précautions particulières.

²¹ Entretien avec un ancien employé de SPANC, travaillant actuellement avec les technologies Trojan UV®

²² Entretien avec un constructeur de lampes UV, Carrefour des Gestions Locales de l'Eau, 2020

4 Evaluation des performances d'abattement microbiologique espérées avec des solutions d'assainissement à la source alternatives

4.1 Inventaire des solutions d'assainissement à la source a priori aptes pour être expérimentées et homologuées

Le tableau suivant présente les familles de solution d'assainissement à la source existantes :

Solution de traitement à la source	Rejets au cours d'eau ?	Besoin d'un traitement microbio complémentaire ?	Besoin de traiter séparément les eaux grises ?	Cas d'étude
Station d'épuration embarquée compacte	OUI	Possible*	NON	Ex1 rencontré sur la Seine : Nautiflore® Ex2 et 3 à venir : Enteron® et Biomicrobics®
Phyto-épuration	OUI	Possible*	NON	Ex Aquatiris
Toilettes sèches à litière biomaitrisée (sans séparation des urines)	EG seulement	NON	Possible*	Plusieurs installations identifiées déjà en fonctionnement
Toilettes sèches avec séparation des urines	EG seulement, et possiblement urines	NON	Possible*	Ex Ecosec. Une installation identifiée

* A valider empiriquement en mesurant l'impact microbiologique sur le milieu en conditions réelles (cf. volet 2)

Tableau 8 : Caractéristiques des familles de solution de traitement à la source

Au sujet plus particulièrement des solutions de traitement des eaux grises, l'ANSES écrit dans son avis p.15 et 16 : « **Les données publiées qualitatives et surtout quantitatives sur les EGT [Eaux grises traitées] et les risques associés sont peu nombreuses.** »

Il est donc indispensable que les autorités compétentes développent une stratégie pour améliorer les connaissances en vue d'une adaptation des présentes recommandations. Cette stratégie devrait viser à recenser les installations existantes et à réaliser une campagne de mesures sur ces mêmes installations.

[...] trois questions importantes n'entrant pas dans le champ de l'expertise, et pour lesquelles les réponses ne sont pas disponibles dans la littérature sont signalées :

- ***L'efficacité des filières de traitement, et particulièrement en situation réelle,***
- *La production de sous-produits de désinfection liée à ces traitements,*
- *L'évolution de la biomasse et la prolifération de certains micro-organismes potentiellement pathogènes, au sein de ces dispositifs.*

Il est recommandé qu'un suivi épidémiologique des populations exposées et notamment des professionnels soit réalisé. »

Les chapitres suivants ont vocation à faire un état de l'art des performances **d'abattement microbiologique** espérés pour ces différentes solutions de traitement à la source, **en vue d'identifier si elles présentent une solution acceptable pour l'objectif « Baignade »**. Plus de détails sont donnés sur ces solutions en annexe au présent rapport.

Le volet 2 de l'étude aura pour objet d'évaluer expérimentalement des solutions en conditions réelles.

4.2 La station d'épuration compacte embarquée

4.2.1 Nautiflore[®]



Cette solution, identifiée dans le monde de la plaisance écologique²³ et installée depuis de nombreuses années sur au moins un bateau dans l'agglomération parisienne, présente l'avantage de combiner un procédé d'épuration classique avec une désinfection. On peut donc s'attendre à ce que cette solution convienne aux exigences

²³ <http://seme.cer.free.fr/plaisance/traitement-eaux-noires.php>

d'épuration classique ainsi qu'à l'exigence Baignade.

Cela étant, la chloration pose question des teneurs en dérivés chlorés rejetés en Seine. Et le système est destiné à traiter les eaux noires uniquement, n'acceptant pas d'importants débits de pointe qui pourraient être occasionnés par une chasse d'eau et le rejet concomitant d'une douche.



4.2.2 Entéron[®]

La solution Entéron[®] combine une station de traitement biologique compacte avec un système de désinfection UV affichant une valeur limite en bactéries dans les eaux traitées de 100 UFC/100ml.

Pas encore identifiée en France comme solution d'assainissement en eau douce, cette solution va être installée sur un bateau amarré au port des Champs-Élysées.

4.2.3 Biomicrobics[®]

La solution Biomicrobics[®], développée aux Etats-Unis et homologuée Marpol, consiste en une station de traitement biologique compacte en largeur, au contraire de la solution Enteron qui est moins haute mais nécessite plus de surface au sol. Elle intègre un système de désinfection à l'acide péracétique.

Les deux solutions, Enteron et Biomicrobics, ont été choisies pour la complémentarité de leurs géométries, supposées s'adapter aux capacités d'accueil d'un maximum de bateaux.

Pas encore identifiée en France comme solution d'assainissement en eau douce, cette solution va également être installée sur un bateau amarré au port des Champs-Élysées.

4.3 La phyto-épuration flottante avec Aquatiris[®]



La phyto-épuration est un procédé classiquement utilisé en assainissement non collectif (ANC), ayant le mérite d'une relative simplicité et robustesse. Quoique non conçues pour garantir des rejets de qualité Baignade, il existe des retours d'expérience montrant que la phyto-épuration abat une grande partie de la bactériologie, d'un facteur 10 (1 log) à plus de 1 000 (3 log) selon le RAE¹⁹, et d'un facteur

1000 (3 log) pour EC et EI selon un retour de la société Aquatiris (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

La société Aquatiris développe depuis bientôt une dizaine d'année une solution d'ANC flottante basée sur la phytoépuration visant à épurer les rejets d'un ou plusieurs bateaux. Une nouvelle installation, équipée d'un traitement UV complémentaire en sortie, fera l'objet d'expérimentations à Port Marly.

4.4 Les toilettes sèches à litière bio-maîtrisée



Les toilettes sèches de manière générale permettent la valorisation des matières fécales et des urines avec « 0 rejet » au cours d'eau des bactéries issues des matières fécales, sans problème d'odeurs.

Les toilettes sèches à litière bio-maîtrisée ont l'avantage d'être très simples, et peu coûteuses à l'achat. Sans électronique, elles ne consomment pas d'électricité et ne tombent jamais en panne. Plusieurs toilettes sèches de ce type sont installées et fonctionnent sur des bateaux-logements.

Les toilettes sèches ne traitent pas les eaux grises, et si la caractérisation de l'impact des rejets d'eaux grises en Marne en conditions réelles - évalué expérimentalement dans le volet 2 de la commande de l'ADHF-F - devait rendre compte d'une remise en question de la qualité Baignade de la Seine, alors il faudrait envisager un traitement séparé complémentaire de tout ou partie des eaux grises.

D'après les quelques sources bibliographiques recensées, les taux d'EC et d'EI des EG sont en moyenne de l'ordre de 10^5 UFC/100ml, 10 à 100 fois inférieures aux taux retrouvés dans les eaux usées (toutes eaux mélangées), 100 à 1 000 fois supérieures aux seuils de baignade. Cela étant, les rejets d'EG, représentant des volumes maximum de quelques dizaines de litre au fil de l'eau, pourraient être dilués suffisamment pour ne pas remettre en cause la qualité Baignade de la Marne/Seine.

4.5 Les toilettes sèches avec séparation des urines



Les toilettes sèches avec séparation des urines présentent un intérêt particulier pour une valorisation séparée des selles (compost) et des urines (engrais).

De plus, comparé aux toilettes sèches à litière bio-maîtrisée, ce type de toilettes ne nécessite pas un approvisionnement

régulier en litière (ex. copeaux de bois), ce qui représente une charge en moins (coût et temps d'approvisionnement). Et, à occupation d'espace égale, ces toilettes nécessitent des vidanges moins fréquentes puisqu'il n'y a pas à ajouter le volume de litière. Ce type de toilettes a été installé sur le bateau Alma au quai Saint-Bernard.

Dans l'attente de mise en place de filières de collecte-valorisation économiquement pertinentes pour l'urine, la question se pose de leur rejet au cours d'eau puisque l'urine ne pose pas de problème de contamination bactériologique, et que les volumes en jeu ne posent pas de problème de charge azotée à l'échelle de cours d'eau comme la Marne/Seine.

5 Stockage des eaux usées à bord et collecte mobile

En plus, ou en complément des solutions de traitement à la source présentées au chapitre précédent, il existe la possibilité de collecter et stocker au sein des bateaux les eaux usées, pour qu'elles soient ensuite vidangées par un véhicule de vidange (camion ou bateau). Le service de collecte existe déjà puisque de nombreuses sociétés existent pour vidanger les fosses septiques à terre ; nous noterons plus particulièrement la volonté d'une société d'installer une barge de récupération dès le début de l'année 2020 pour faire connaître et offrir ses services, qui vont de l'installation de cuves sur-mesure et aux normes, à la vidange, en s'ouvrant à d'autres services afin d'amortir les coûts : vidange d'eaux de cale, récupération de déchets, approvisionnement, etc. Ce type de barge pourrait par exemple collecter les urines de toilettes à séparation, ou bien les litières de toilettes sèches. L'intérêt économique pour les particuliers dépendra de la demande et des économies d'échelle associées.

On pourrait imaginer que ce type de société collecte aussi régulièrement les urines de pissotières ou de toilettes sèches installées sur les quais, actuellement sous-équipés, occasionnant de l'urinage sauvage dont une partie ruisselle directement en Marne/Seine.

Ces mêmes pissotières publiques pourraient d'ailleurs servir à relever les urines des bateaux souhaitant se lancer dans la collecte sélective des urines, et servir de stockage externalisé, afin de mutualiser les coûts et augmenter ainsi les volumes de matière première pour la production de fertilisant azoté et phosphoré. Ces pissotières publiques pourraient de plus être l'occasion de communiquer auprès des usagers sur la valorisation qui sera faite de leur production, dans une logique d'économie circulaire et si possible de circuit court.

6 Une opportunité de créer une filière de valorisation des urines

Le développement d'urinoirs publics sur les quais capables de stocker les urines des bateaux-logements ayant opté pour des toilettes sèches à collecte séparative des urines, répondrait à plusieurs besoins immédiats :

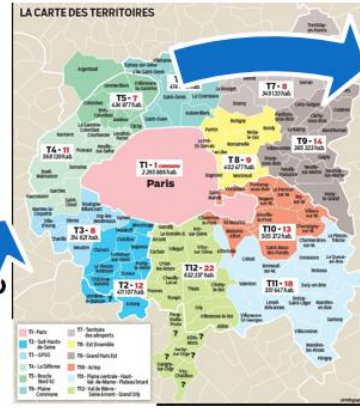
- Besoins pressants des usagers,
- Besoins de propreté des usagers et des bateliers,
- Capacité de stockage augmentée et déportée des urines collectées sur les bateaux.

La collecte centralisée de ces urines permettrait vers une unité de production d'engrais permettrait une valorisation locale, tout en servant d'excellent support de communication et de sensibilisation à l'environnement. La Figure 1 suivante illustre une proposition de filière.



Repenser l'assainissement: une question de bon sens circulaire

Acteurs clés
Ville de Paris
EPT riverains
Métropole
HAROPA F
VNF



pour multiplier les sources
- Événementiel
- Urinoirs publics
- Toilettes sèches publiques

Valorisation locale



Crédit : commons.wikimedia.org

Espaces verts



Crédit : SEPIA Conseils

Urinoirs sur les quais dans lesquels les bateaux pourraient relever les urines de leur cuve



Crédit : SEPIA Conseils

Stockage à bord des urines



Crédit : SEPIA Conseils

Agriculture urbaine
Pain Boucle d'Or



Figure 1 : Proposition de filière de valorisation de l'urine en circuit court

7 Evaluation et comparatif des coûts/bénéfices environnementaux

Comparatif des coûts/bénéfices sociétaux	Situation actuelle : rejets directs en Seine/Marne	Raccordement à quai et transfert aux usines d'épuration + Traitement microbiologique complémentaire	Station d'épuration compacte embarquée avec traitement microbiologique	Phyto-épuration flottante (+ Traitement UV ?)	Toilettes sèches (+ Traitement des EG complémentaire ?)
Pollution / Obj. DCE					
Pollution / Baignade					
Micropolluants					
Conso d'énergie et GES					
Délestage des réseaux					
Economies d'eau					
Valorisation Matières					
Biodiversité					
Déchets / Fin de vie					
Résilience (impact en cas de dysfonctionnement)					

Tableau 9 : Comparatif des coûts et bénéfices environnementaux entre le raccordement à quai VS différentes solutions de traitement à la source

Ce tableau présente entre parenthèses les éventuels besoins de traitement complémentaire additionnels pour respecter les performances d'abattement microbiologique nécessaires pour respecter les normes réglementaires de baignade.

Il présente sous forme d'émoji le résultat d'une évaluation qualitative de plusieurs critères permettant d'apprécier le caractère environnemental de chaque solution, en dehors de la performance épuratoire considérée comme un prérequis et traité par ailleurs, théoriquement au chap.4 de ce rapport, et expérimentalement dans le volet 2 de l'étude. Cette évaluation qualitative a pour principal objet de poser de manière synthétique les forces et faiblesses relatives d'une solution par rapport aux autres. Il convient d'être prudent sur la portée de cette évaluation compte-tenu que nous ne sommes pas rentrés dans une évaluation quantitative et analytique pour chaque solution, exercice supposant de porter un grand nombre d'hypothèses. A titre d'exemple, la solution de collecte et de compostage des matières fécales des toilettes sèches proposée pourrait se faire par triporteur électrique jusqu'à la plateforme de compostage de Montreuil (solution réellement proposée), ou par bateau jusqu'à une installation portuaire ou une reprise locale vers une plateforme de valorisation de proximité. Si la collecte devait se faire par contrat individuel - de manière coordonnée - par camion à motorisation thermique et être apporté à un centre situé à une centaine de kilomètres, il va de soi que le bilan en termes de gaz à effet de serre de cette solution serait pire que celle de l'assainissement collectif.

Au-delà de la question technico-économique traitée dans cette étude pour savoir s'il est nécessaire de prévoir un traitement spécifique complémentaire de ces eaux grises, il est rappelé que la réglementation n'autorise pas le rejet direct d'eaux usées sans traitement.

8 Evaluation et comparatif technico-économique

Le Tableau 10 ci-dessous présente un comparatif des coûts d'investissement et des avantages/inconvénients/performances techniques pour chaque solution.

Comparatif technico-économique	Raccordement à quai et transfert aux usines d'épuration	Station d'épuration compacte embarquée	Phyto-épuration	Toilettes sèches
Investissement initial de base (sans besoin de traitement complémentaire pour les EG) (estimatif en €/HT/BL)	<p><u>Env. 50-60 k€/BL²⁴</u></p> <p>Coûts privés</p> <p>Branchement privé en dehors des ports (ex. Suresnes) : +15k€/BL²⁵</p> <p>Coûts non privés</p> <p>Aménagement des quais : 45k€/BL²⁵ en moy.</p>	<p><u>10-20 k€/BL</u></p> <p>Coûts privés seulement</p> <p>Station compacte : 8-20 k€ selon la solution²⁶</p> <p>+ Coût main d'œuvre installation : qqs k€</p>	<p><u>5-20 k€/BL</u></p> <p>Coûts privés seulement</p> <p>Phyto-épuration flottante : 15-20 k€²⁶ env.</p> <p>Phyto-épuration à terre : 5-15k€²⁷</p>	<p><u>1-5 k€/BL</u></p> <p>Coûts privés seulement</p> <p>Toilettes / cuves : 5k€²⁶ env. tout compris</p> <p>Toilettes sèches à litière biomâtrisée : <1k€</p>

²⁴ Hors coût d'investissement pour 1/ l'étanchéification des cuves de relevage, 2/ les équipements de télécontrôle des relevages, et 3/ un traitement complémentaire d'abattement de la microbiologie en sortie des stations d'épuration du SIAAP (acide performique à Seine Amont, unité UV déjà existante à Marne Aval)

²⁵ Source : Etude SEPIA Conseils pour HAROPA Ports-de-Paris, VNF, la Ville de Paris et le SEPG (2017), confirmée par HAROPA Ports-de-Paris (2020)

²⁶ Source : Entretien SEPIA Conseils auprès des fournisseurs

²⁷ Source : Retours d'expérience de SEPIA Conseils

Comparatif technico-économique	Raccordement à quai et transfert aux usines d'épuration	Station d'épuration compacte embarquée	Phyto-épuration	Toilettes sèches
Investissement reconfiguration du bateau	<u>20k€ env. (5 à 50k€)</u> Coûts privatifs Réaménagement et reconfiguration du bateau pour centraliser les évacuations d'eaux usées : 20k€ env. (5 à 50k€)			
Investissement complémentaire si besoin (estimatif en €HT/BL)	Sans objet puisque nécessaire dans l'investissement initial de base (pas de séparation des effluents dans le système du tout-à-l'égout)	<u>+ qqs k€/BL</u> Si traitement UV complémentaire nécessaire	<u>+ qqs k€/BL</u> Si traitement UV complémentaire nécessaire	<u>+ 25 k€/BL</u> Si traitement UV des EG nécessaire : 1. Réaménagement et reconfig. du bateau : env. 20k€ (jusqu'à 50k€) 2. Traitement UV : qqs k€ env.
Performances / Avantages	Zéro rejet direct au cours d'eau Déport des rejets vers les usines d'épuration en aval du périmètre d'étude et des enjeux associés	Traitement toutes eaux et rejet au cours d'eau annoncé conforme y.c. qualité Baignade. A préciser / Volet 2 expérimental Compatible avec la navigation	Traitement toutes eaux et rejet au cours d'eau nécessitant possiblement un traitement UV complémentaire pour la qualité Baignade. A préciser / Volet 2 expérimental	Zéro rejet direct au cours d'eau des eaux noires (avec ou sans urines) Sac de 150L pour stocker près de 6 mois de fèces pour 3 personnes + Vol. de 600L pour stocker 6 mois d'urines A préciser pour les rejets des EG avec ou sans UV / Volet 2 expérimental Compatible avec la navigation

Comparatif technico-économique	Raccordement à quai et transfert aux usines d'épuration	Station d'épuration compacte embarquée	Phyto-épuration	Toilettes sèches
Contraintes de mise en œuvre	<p>Reconfiguration parfois techniquement impossible sauf réaménagement complet</p> <p>Difficultés techniques potentiellement trop coûteuses à surmonter (exemple : difficultés liées à la nature et à la configuration des quais)</p> <p>Multiplicité des acteurs dans la mise en œuvre</p> <p>Solution inadaptée pour les quais loin du tout à l'égout, ou pour quelques bateaux à raccorder</p>	<p>Reconfiguration parfois techniquement impossible sauf réaménagement complet</p> <p>Requiert un espace intérieur important (env. 1m³, à préciser ultérieurement pour les 2 solutions à tester dans le cadre du volet 2 de l'étude) pour accueillir la station et les conditions d'accès pour son exploitation</p>	<p>Reconfiguration parfois techniquement impossible sauf réaménagement complet</p> <p>Requiert un espace en eau extérieur pour accueillir la structure flottante d'environ 5 m²</p> <p>Peut faire double emploi et servir d'écoire (pour écarter le bateau du quai)</p>	<p>Garantir l'étanchéité des cuves de stockage d'urine pour du sur-mesure dans le cas de toilettes sèches avec séparation des urines</p>
Contraintes pour les bateaux	<p>Solution contraignante pour les bateaux navigant et inadaptée en navigation ou crue</p> <p>Risque hydraulique par reflux ou par gel</p>		<p>Ne fonctionne pas en navigation</p>	
Autres avantages / Inconvénients	<p>Autorisations ABF / UNESCO requises pour certains secteurs</p>	<p>Système d'épuration biologique relativement moins consommateur d'énergie qu'un système à filtration</p>		<p>Pas d'odeur constatée (ex. de l'Alma)</p>

Tableau 10 : Comparatif des coûts d'investissement entre le raccordement à quai VS différentes solutions de traitement à la source

Cette étude ne traite pas des coûts d'entretien, de maintenance et de contrôle des solutions. Néanmoins, des éléments de coûts seront collectés au cours du volet 2 pour préciser ces aspects. Et l'ADHF-F, conscient de l'enjeu à maintenir les performances des solutions de traitement à la source, propose d'instaurer une obligation de maintenance, à l'instar de ce qui peut-être demandé pour les chaudières et les cheminées pour les particuliers, qui pourrait être posée dans la convention d'occupation temporaire du domaine public fluvial.

9 Conclusions

Pour rappel, le raccordement des bateaux aux réseaux d'assainissement paraît pertinent technico-économiquement pour un ensemble de conditions que l'on retrouve sur le bief parisien.

Cela étant, le 1^{er} volet de cette étude conclue sur les **multiples enjeux à expérimenter différentes solutions de traitement à la source** qui répondraient techniquement à l'enjeu de reconquête de la qualité Baignade en Seine et en Marne, en alternative ou en complément au raccordement au tout-à-l'égout.

En alternative au raccordement au tout-à-l'égout lorsque :

- Les coûts d'investissement ne sont pas supportables par la collectivité ou par les bateliers ;
- Le risque existe de couler les bateaux-logements par reflux des eaux usées (risque de dysfonctionnement du clapet anti-retour) ;
- Le risque existe de gel et de bouchon au point bas du flexible de raccordement obstruant l'évacuation des eaux usées ;
- Des solutions embarquées et acceptables pour la baignade (donc moins pénalisantes et efficaces n'importe où) pourraient être mis en place pour les bateaux-logements navigants.

En complément au raccordement au tout-à-l'égout pour :

- tous les linéaires de France où il n'y aura pas de maîtrise d'ouvrage pour financer les coûts d'équipement des quais, sans pour autant que cela soit suffisant car il faut encore que les bateliers investissent aussi des sommes très élevées, et qu'ils soient accompagnés techniquement et administrativement dans ces démarches. Sans quoi il est probable que des quais équipés restent inutilisés comme cela s'est vu ;
- tous les bateaux navigants (une partie des bateaux-logements, bateaux de commerce, croisiéristes), pour lesquels le raccordement n'est pas une solution mais au contraire une contrainte.

Les solutions alternatives de traitement à la source vont également dans le sens – pour la phytoépuration et les toilettes sèches (avec compostage) – des solutions douces fondées sur la nature, par opposition aux solutions grises conduisant à augmenter le linéaire de réseau enterré, alors que les systèmes de collecte sont déjà saturés par moments et responsable de pollutions récurrentes, et les systèmes de traitement centralisés également sujets à dysfonctionnement comme l'incendie sur la clarifloculation de la plus grande station d'Europe (Site SEVESO Seuil Haut)

l'a montré cet été, avec des conséquences sur la détérioration de la qualité des rejets qui s'étendront sur des années.

Certaines de ces solutions présentent de plus une opportunité de valorisation des matières fécales et des urines, et l'occasion de poser une nouvelle pierre à la construction des filières émergentes d'assainissement-fertilisation de demain.

On constate depuis quelques années que les acteurs positionnés sur ces solutions se multiplient, tout comme l'adhésion de la société, en témoigne la multiplication des toilettes sèches dans l'espace public et privé.