

# Evaluation des performances de désinfection de rejets d'eaux usées domestiques d'un bateau-logement par phytoépuration flottante

Réunion de restitution

17 janvier 2023

## I. Contexte

- Pourquoi cette étude & Périmètre
- Solution pilote évaluée : Phytoépuration flottante + UV (par Aquatiris et Uvoji), financée par :



## II. Méthodologie d'évaluation des performances de désinfection de la phytoépuration flottante

- Une méthodologie validée, innovante et exigeante
- Niveaux de performance attendus
- Déroulé des tests

## III. Résultats & Conclusions

- Des rejets traités compatibles avec un usage Baignade
- Autres avantages & Points de vigilance

# CONTEXTE

# Pourquoi cette étude?

Pour des solutions d'assainissement alternatives au raccordement au réseau collectif d'eaux usées, motivées par :

- 1. Sécurité des bateaux situés à l'étiage en contre-bas du réseau souvent en surcharge en période de pluie**
  - Risque de couler => surcoût démesuré pour sécuriser
- 2. Absence de réseau à quai => Coûts d'investissement élevés**
  - Tvx Quai : 56k€/bateau en moy. sur le périmètre « Loi olympique » pour installer le réseau sur les quais (stade AVP avant inflation)
- 3. Limites techniques au raccordement**
  - Risque de gel dans le point bas du flexible de refoulement
  - Risque de crue

# Contexte & Périmètre de cette étude

## I. Etude ADHF-F (2020-2022), financée par l'AESN, VNF et HAROPA Ports-de-Paris

### 1. Caractériser l'impact microbiologique in situ des rejets d'eaux usées brutes d'un groupe de 5 bateaux-logements

- Mesures in situ sur 1 épisode de rejets coordonnés avec traçage des rejets + Mesures haute fréquence amont & aval sur 1 mois
- Principaux résultats: nécessité de traiter les eaux noires mais eaux grises insuffisamment contaminées pour mesurer l'impact microbio
  - Stockage en cuve à bord => Rejet de volumes plus impactants
  - Toilettes sèches = une solution low-tech compatible Baignade

### 2. Caractériser les performances de désinfection de 3 solutions d'assainissement à la source

- Méthodologie co-construite avec ARS / DRIEA / DRIEE / AESN
- MicroSTEPS à bord : ça peut marcher, mais difficultés d'installation sur des bateaux existants aux contraintes spécifiques  
=> a requis SAV + adaptations sur-mesure post 1<sup>ère</sup> installation au vu des 1ers résultats insuffisants  
+ Gestion des boues produites ?
- Phytoépuration flottante : tests en cours
- Validation des résultats AlertLab / méthodologies COFRAC

## II. Etude complémentaire Port-Marly (2022-2023)

1. **Ciblée Phytoépuration flottante:** Procédé classiquement utilisé en assainissement non collectif (ANC). Abattement microbiologique d'un facteur 10 à plus de 1000 selon le RAE, et d'un facteur 1000 pour E.Coli et E.Intestinaux selon la société Aquatiris conceptrice de la solution. L'installation intègre de plus un module de désinfection UV (Led) installé par Uvoji



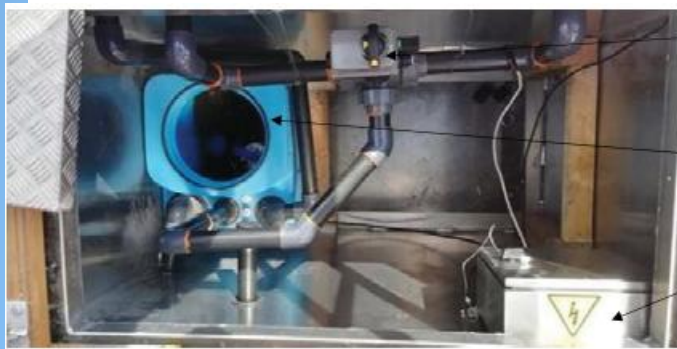
2. **Ciblée Rejets microbiologiques (E.coli et entérocoques intestinaux) compatibles « Usages sensibles à l'aval »**

# Contexte & Périmètre de cette étude

## Principe de fonctionnement de la phytoépuration en images (Source: Document Aquatiris Phytoflottante – Port Marly 2020)



Regard Sortie Eaux Traitées (côté Seine)  
Poste de relevage Eaux Traitées  
Regard Entrée Eaux Brutes (côté Péniche)



Electrovanne  
Poste de relevage Eaux Brutes  
Coffret électrique.



Filtres Led UV      Filtration 100 µm      Trop Plein Sécurité      Vannage Filtre UV



Sortie Eaux Traitées sans Filtration UV  
Trop-plein Sécurité si colmatage  
Sortie Eaux Traitées avec Filtration UV

---

# METHODOLOGIE

# Un protocole de tests co-construit 1/3

**07/01/2020** : En présence de l'ADHF-F, SEPIA-Conseils, Fluidion, DRIEA, DRIEAT, ARS, AESN, Bureau du transport fluvial excusé, **réunion de co-construction des protocoles d'évaluation** des performances pour des systèmes de traitement à la source adaptés à des bateaux-logements

⇒ **Protocole de tests validé**

## 1. Contextes de fonctionnement testés

Mini-stations d'épuration	Phyto-épuration flottante
Normal	Normal
Retour de we	Retour de we
Retour de congé	Après temps sec estival prolongé
Surcharge	Après pluie d'été
	Surcharge

# Un protocole de tests coconstruit 2/3

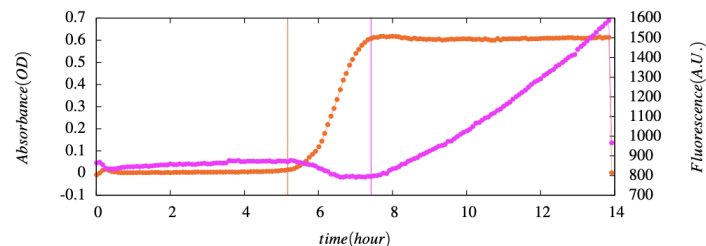
**2. Durée de chaque test :** 6 prélèvements au cours d'un cycle complet d'activité de 24h par contexte de fonctionnement testé

**3. Mesures :** EC et EI par la méthode AlertLab<sup>®</sup>, en entrée et en sortie, par des bénévoles formés à la méthode par Fluidion

## 4. Métrologie :



Alert Lab: microbiologie rapide sur terrain, avec confirmation de laboratoire en duplicata



Total coliforms



E. coli



IDEXX Quantitray: Analyse NPP de laboratoire, accréditée Cofrac, multiples dilutions

## 5. Fiabilité des résultats analytiques garantie par :

- ⇒ Présence de Fluidion pour le démarrage de chaque test
- ⇒ Contre-analyses AlertLab<sup>©</sup> au labo Fluidion (1 par contexte testé)
- ⇒ Contre-analyses Quantitray<sup>©</sup>, certifiées AFNOR, au labo Fluidion (1 par contexte testé)
- ⇒ Contre-analyses par 2 laboratoires indépendants accrédités COFRAC missionnés par SEPIA Conseils: Eurofins et SGS (2 contextes pour chaque solution testée)

# Niveaux de performance attendus

NATURE EFFLUENT	Concentrations typiques (UFC/100mL)	Concentrations objectif* pour la baignade (UFC/100mL)	Facteur d'abattement bactérien attendu
Eaux usées brutes (EC)	$10^6 - 10^7$	$10^3$ (900)	>10 000 (4 log <sub>10</sub> )
Eaux usées brutes (EI)	$10^6$	$10^2$ (330)	10 000 (4 log <sub>10</sub> )
Eaux grises (EC)	0 – $10^6$	$10^3$ (900)	Sans objet - >1 000 (3 log <sub>10</sub> )
Eaux grises (EI)	0 – $10^4$	$10^2$ (330)	Sans objet - 100 (2 log <sub>10</sub> )

\* Valeurs européennes correspondant aux percentiles 90 utilisés pour évaluer statistiquement sur 4 saisons balnéaires la conformité d'un site pour accueillir une baignade publique

A ne pas confondre avec les seuils de 1800 EC/100ml et de 660 EI/100ml définis par l'ANSES en France, seuils ponctuels au-delà desquels il est conseillé de fermer provisoirement un site de baignade en attendant la fin de l'épisode de pollution



Été 2020 : Inauguration de la phytoépuration flottante

2020-2021 :

- Tests sur les performances épuratoires physico-chimiques (cf. SIA?)
- Installation du module UV et essais préalables



Été 2021 : Résultats d'analyses préalables bactériologiques OK

⇒ Facteur d'abattement d'environ 200 par la phytoépuration seule

⇒ Facteur d'abattement du module UV >100



Été – Automne 2021 : Tests de performances de désinfection

Juin – Sept. 2023 : Complétion des tests en conditions estivales, nécessitant disponibilité et réactivité des équipes

... Délais pour configurer l'installation (prototype) en période de COVID + changement de propriétaire + croiser les disponibilités de chacun + contextes météo dépendants + dispo du matériel + aléas techniques ... 13

# RESULTATS ET CONCLUSIONS

### ➤ Résultats détaillés

Solution Phytoépuration (+ désinfection aux UVs Led) par 5 contextes de fonctionnement testés		Analyses AlertLab sur site		Analyses AlertLab chez Fluidion				Analyses Quantitray				Analyses Labo (A: Eurofins, B: SGS)				
Contexte	Réalité & Particularités	Horodate du test avec AlertLab	EC/100ml en sortie	EI/100ml en sortie	EC/100ml en sortie	EI/100ml en sortie	EC/100ml en entrée	EI/100ml en entrée	EC/100ml en sortie	EI/100ml en sortie	EC/100ml en entrée	EI/100ml en entrée	EC/100ml en sortie	EI/100ml en sortie	MES en sortie (mg/l)	
Normal	- <u>Occupation</u> : 1 pers. à bord avant et pendant le test	28/10/2021 11:00	5	32	14	34	1 070	794	8	86	<1 000	<1 000	<15 (A) * (B)	15 (A) * (B)	3,9 (A) * (B)	
	- <u>Météo</u> : Dernière pluie remontant au 25/10 (env. 1,5mm mesuré au Pecq) + Pluie légère sur dernier prélèvement. Entre 11 et 17°C pendant les tests	28/10/2021 14:50	52	19												
		28/10/2021 18:22	≤ 4	≤ 4												
		28/10/2021 22:18	≤ 4	≤ 4												
		29/10/2021 10:03	≤ 4	≤ 4												
	- <u>Anomalies corrigées</u> : Débit de la vanne d'alimentation du module UV optimisé le 5/10, puis essai et constat le 15/10 coffret électrique du module UV endommagé, réparé le 22/10	29/10/2021 13:36	≤ 4	≤ 4												

### ➤ Des performances excellentes

- ✓ Peu ou pas d'EC ni d'EI en sortie + Bon taux de MES
- ✓ Résultats cohérents entre les différentes méthodes de mesure

### ➤ Résultats détaillés

Solution Phytoépuration + Désinfection aux UVs Led, par Aquatiris / T.zic				Analyses AlertLab sur site			
5 contextes de fonctionnement testés	Principe du test	Réalité & Particularités	Horodate du test avec AlertLab	EC/100ml en sortie	EI/100ml en sortie	EC/100ml en entrée	EI/100ml en entrée
				<b>Retour de we</b>	Sur 24h, consécutif à une interruption des entrées pendant 2 jours pour se mettre dans les conditions d'un test "Stand-by" (ex. absence pendant un we)	- <u>Occupation</u> : Personne le we avant les tests, puis retour de l'occupant le dimanche soir - <u>Météo</u> : Temps sec. Entre 4 et 13°C pendant les tests	07/11/2021 21:32 07/11/2021 21:55 08/11/2021 02:17 08/11/2021 06:24 08/11/2021 11:07 08/11/2021 11:24 08/11/2021 19:05 08/11/2021 22:49 09/11/2021 06:27 09/11/2021 09:34

### ➤ Des performances excellentes

- ✓ Peu ou pas d'EC ni d'EI en sortie (résultats aussi confortés par les analyses labo montrant aussi un bon taux de MES en sortie)
- ? Des effluents non contaminés en entrée sur le 1<sup>er</sup> prélèvement, qui pourraient s'expliquer par l'utilisation de « grands » volumes d'eaux grises peu contaminés

### ➤ Résultats détaillés

Solution Phytoépuration + Désinfection aux UVs Led, par Aquatiris / T.zic				Analyses AlertLab sur site			
5 contextes de fonctionnement testés	Principe du test	Réalité & Particularités	Horodate du test avec AlertLab	EC/100ml en sortie	EI/100ml en sortie	EC/100ml en entrée	EI/100ml en entrée
				<b>Surcharge</b>	Sur 24h, consécutif à l'accueil d'invités (ex. 2*Nb de personnes en occupation normale, sur une durée si possible plus longue qu'une soirée)	- <u>Occupation</u> : 60aine d'invités à bord, arrivés entre 18h et 20h; départs entre 20h et 16h le lendemain - <u>Météo</u> : Temps sec avec petite pluie (env. 3mm) entre 14 et 16h. Entre 8 et 13°C pendant les tests	30/10/2021 19:57
31/10/2021 00:08	60	≤ 4	*				*
31/10/2021 04:25	5	4	*				*
31/10/2021 08:51	39	220	*				*
31/10/2021 13:26	5	424	*				*
31/10/2021 18:44	60	1 366	*	*			

### ➤ Des performances plutôt satisfaisantes

- ✓ Peu ou pas d'EC en sortie
- ? Peu ou pas d'EI en sortie pendant la soirée, mais une augmentation des concentrations le lendemain dans la matinée & en soirée: effet de la soirée et/ou d'une petite pluie tombée l'après-midi qui aurait pu réessuyer des résidus de déjections animales ?
- Dépassements du seuil des EI lors des 2 derniers prélèvements relativement limités compte-tenu du nb d'invités
- L'impact des rejets après dilution en Seine serait indétectable (à vérifier comme nous avons pu le faire quai Schacken dans la Marne)

## En conclusion, des performances de désinfection partiellement validées et encourageantes :

- ✓ **Tous contextes confondus, hors « Après la pluie » à refaire**
  - 23 rejets conformes sur 26 prélèvements (88%)
  - 3 non-conformités, dont 2 dans un contexte de surcharge très supérieure au dimensionnement de la phyto
  - 3 non-conformités du même ordre de grandeur que les seuils de baignade, dont l'impact serait non mesurable dans le milieu naturel à l'aval immédiat après dilution, comme il s'agit de rejets de petits volumes (5-10 litres) toutes les 15mn environ
- ✓ **Résultats du 1<sup>er</sup> contexte « Après la pluie » pas si mauvais, malgré un débit d'alimentation du module UV dérégulé et trop important en début de test**
- ✓ **Besoin de finaliser les tests en conditions estivales** (a priori plus favorables), et avec une mesure plus fine de la qualité des sorties ET des entrées, sur plus de 24h pour valider nos hypothèses sur la dynamique des écoulements

# Performances de désinfection 4/5

## Test « Après temps sec estival prolongé »

### ➤ Résultats détaillés

Solution Phytoépuration + Désinfection aux UVs Led, par Aquatiris / T.zic				Analyses AlertLab sur site			
5 contextes de fonctionnement testés	Principe du test	Réalité & Particularités	Horodate du test avec AlertLab	EC/100ml en sortie	EI/100ml en sortie	EC/100ml en entrée	EI/100ml en entrée
<b>Après temps sec estival prolongé (Reprise 2)</b>	Sur 24h, consécutif à une période d'occupation normale et à une période de 15 jours de temps sec	- <u>Occupation</u> : 3 pers. les 4 jrs précédent le test ainsi que le jour du test - <u>Météo</u> : 14jrs de temps sec avant le début du test. 19 et 30°C pendant les tests - <u>Modification du protocole</u> : L'entrée pour cet essai correspond à l'entrée du module UV, soit la sortie de la phytoépuration, et non l'entrée de la phytoépuration; Ce pour mesurer la performance du module UV, alors que l'entrée est bien connue par les tests réalisés précédemment	11/09/2023 11:34	≤ 2,5	36	34 500	2 288
			11/09/2023 18:38	≤ 2,5	≤ 4	45 800	925
			12/09/2023 00:28	9	4	638 000	287
			12/09/2023 07:13	≤ 2,5	4	91 100	253
			12/09/2023 11:49	≤ 2,5	≤ 4	870 000	220

### ➤ Des performances excellentes, venant confirmer les résultats précédents du test du 20&21/11/2021 réalisé hors été

- Abattement des EC par la phytoépuration seule:  $10 - 10^3$
- Abattement complémentaire des EC par le module UV:  $10^4 - 10^6$
- Sans UV, les échantillons en sortie dépassent d'un facteur 10 à  $10^4$  l'ordre de grandeur du seuil de conformité. Malgré cela, en cas de dysfonctionnement de l'UV, l'impact des rejets après dilution en Seine serait indétectable (à vérifier comme nous avons pu le faire quai Schacken dans la Marne)
- Mêmes conclusions pour les EI



### ➤ Résultats détaillés

Solution Phytoépuration + Désinfection aux UVs Led, par Aquatiris / T.zic				Analyses AlertLab sur site			
5 contextes de fonctionnement testés	Principe du test	Réalité & Particularités	Horodate du test avec AlertLab	EC/100ml en sortie	EI/100ml en sortie	EC/100ml en entrée	EI/100ml en entrée
<b>Après pluie d'été (Reprise 2)</b>	Sur 48h, consécutif à une période d'occupation normale et à une période pluvieuse	- <u>Occupation</u> : 3 pers. les 4 jrs précédent le test ainsi que le jour du test - <u>Météo</u> : Averses orageuses (12,5mm) consécutives à 15 jours de temps sec le 12/09 entre 12h et 14h (+3,8mm jusqu'à 16h). Entre 17 et 28°C pendant les tests - <u>Modification du protocole</u> : 1. L'entrée pour cet essai correspond à l'entrée du module UV, soit la sortie de la phytoépuration, et non l'entrée de la phytoépuration; Ce pour mesurer la performance du module UV, alors que l'entrée est bien connue par les tests réalisés précédemment. 2. Les essais ont été volontairement étendus sur une durée de 48h pour couvrir une plus longue période après la pluie	12/09/2023 17:11	≤ 2,5	≤ 4	9 358	816
			13/09/2023 00:39	11	4	15 200	61
			13/09/2023 06:46	≤ 2,5	4	9 358	69
			13/09/2023 11:52	≤ 2,5	≤ 4	17 800	368
			13/09/2023 18:49	≤ 2,5	≤ 4	4 925	172
			13/09/2023 23:57	99	24	6 855	69
			14/09/2023 07:07	3	32	1 110	32
			14/09/2023 13:14	3	≤ 4	91 100	480
			14/09/2023 20:40		6		626
			14/09/2023 00:33	1 690 000		50 800 000	
			15/09/2023 00:49	52	4	106 000	78
			15/09/2023 07:01	28	4	56 000	132
			15/09/2023 13:25		4		41
			15/09/2023 17:42	241 000		22 400 000	
			16/09/2023 18:26		15		2 019
			16/09/2023 19:55	591		148 000	
16/09/2023 00:26	9	32	24 800	253			

### ➤ Des performances excellentes

- Invalidation de 3 mesures (retards à la mise en analyse / réseau GSM?)
- Abattement des EC par la phytoépuration seule: 10<sup>3</sup> – 10<sup>4</sup>
- Abattement complémentaire des EC par le module UV: 10<sup>3</sup> – 10<sup>4</sup>
- Sans UV, la plupart des échantillons en sortie sont de l'ordre de grandeur du seuil de conformité (une mesure même en-dessous du seuil de gestion à 1 800 EC/100ml) => En cas de dysfonctionnement de l'UV, l'impact des rejets après dilution en Seine serait indétectable
- Mêmes conclusions pour les EI

# CONCLUSIONS GENERALES

# une solution alternative au réseau d'assainissement pour une exigence de qualité « Baignade »

- ❖ Des performances de désinfection au rendez-vous pour les contextes testés
- ❖ Une solution robuste
  - Des performances maintenues même par grosse surcharge
  - Des sources de panne limitées: pompe et module UV
  - Entretien simple: faucardage annuel
  - Besoins de curage des boues : tous les 10 ans ?
  - MAIS: Une source de dégradation des performances : le dérèglement de la vanne d'alimentation du module UV
- ❖ Une solution plutôt résiliente
  - Même en cas de panne du module UV, ce dispositif rejette par conception de petits volumes d'eaux usées traitées, même en cas de volumes importants d'eaux usées brutes entrants, induisant des effets de dilution encore plus efficaces que ceux mesurés Quai Schaken
  - Fonctionne aussi en cas de crue

# Des points de vigilance à avoir

- ❖ **Attention à la qualité de l'installation sur bateaux existants**
  - Besoin de tests et d'ajustements + de formation
  - Mettre en place un réglage précis du débit d'admission dans le module UV au moyen d'une vanne adaptée
  
- ❖ **Veiller aux pannes électriques ou de pompe**
  - De l'utilité de prévoir une alerte en cas de panne
  
- ❖ **Difficultés à réaliser des mesures de contrôle, même par des laboratoires accrédités**
  - La mise en place d'un contrôle nécessite une méthodologie adaptée, qui pourrait se baser sur les constats et la méthodologie développée dans cette étude
  
- ❖ **Solution moins évidente pour :**
  - Bateaux-logements navigant
  - Bateaux Activités traitant des volumes très importants et/ou avec des périodes de fermeture saisonnière prolongée



# Et au-delà des performances épuratoires

- ❖ Pas de risque de couler pour les bateaux
- ❖ Une solution globalement plus économique, d'autant plus si mutualisation d'une installation pour qqs bateaux
- ❖ Une solution globalement plus écologique que le réseau d'assainissement
  1. Extension du réseau enterré (solution « grise »)  
=> augmentation du coût d'entretien du patrimoine enterré - en zone inondable - pour qqs habitants
  2. Pas d'intrants (réactifs, membrane, ...) hormis un peu d'électricité
  3. Un peu moins de pollution par surverse en cas d'orage ou par contamination directe en cas d'inondation
  4. Un peu plus d'espaces verts (zones humides) à l'interface avec la Seine
- ❖ En cas de mutualisation (assainissement collectif à petite échelle), la collectivité pourrait porter l'investissement et l'exploitation de tels dispositifs
  - Facilité de déploiement / coût privatif que représenterait ce type de dispositif autrement (>20k€)
  - Facilités d'entretien et contrôle du bon fonctionnement par la collectivité