



Traitement des eaux usées à l'échelle individuelle par FPV en milieu tropical : retour d'expérience en Guyane

Marie-Chloé Rosse, Camille Lebret, Gérald Lacombe, Pascal Molle

Juin 2022

- **Auteurs**

Pascal Molle : Directeur de recherche, UR REVERSAAL (INRAE), pascal.molle@inrae.fr

Marie-Chloé Rosse : Ingénieure de recherche, UR REVERSAAL (INRAE), marie-chloe.rosse@inrae.fr

Gérald Lacombe : Ingénieur assainissement (Etiage Guyane), g.lacombe@etiageguyane.fr

Camille Lebret : Ingénieure assainissement (Etiage Guyane), c.lebret@etiageguyane.fr

- **Remerciements**

Les auteurs remercient pour leur aimable contribution les personnes qui suivent :

- L'ensemble des particuliers privés dont l'anonymat reste préservé,
- Pour le suivi *in situ* des Filtres Plantés : Gérald Lacombe ; Camille Lebret,
- Pour leurs relectures et contributions au guide : Gérald Lacombe, Camille Lebret, Pascal Molle et Marie-Chloé Rosse

Les auteurs tiennent également à remercier l'Office Français de la Biodiversité, ainsi que l'Office de l'Eau de la Guyane pour leurs soutiens financier.

- **Citations**

Lacombe G., Molle P, 2022. Traitement des eaux usées à l'échelle individuelle par FPV en milieu tropical, Retour d'expérience en Guyane, 51 pages.

Droits d'usage : accès public

Niveau géographique : national

Couverture géographique : DOM

Niveau de lecture : Expert

**Traitement des eaux usées à
l'échelle individuelle par FPV
en milieu tropical : retour
d'expérience en Guyane**

Table des matières

I. Introduction	5
I.1 L'assainissement non collectif dans les Départements d'Outre-Mer	5
I.2 Les Filtres Plantés de Végétaux dans les Départements d'Outre-Mer.....	6
II. Présentation des FPV individuels	9
II.1 Caractéristiques des parcelles	10
II.2 Descriptif des pilotes étudiés	10
II.2.1 Configurations et principes de fonctionnement.....	10
II.2.2 Caractéristiques générales des FPV	12
II.2.3 Caractéristiques dimensionnelles	13
II.2.4 Caractéristiques techniques du massif filtrant	16
III. Suivis expérimentaux	18
III.1 Méthodologie des mesures	18
III.1.1 Rappel du programme de mesures	18
III.1.2 Protocole de mesures	18
III.1.3 Mesure des paramètres physico-chimiques	20
III.2 Gestion des données	22
III.2.1 Définition des objectifs de traitement	22
III.2.2 Traitement des données.....	24
IV. Résultats	26
IV.1 Caractérisation des effluents bruts.....	26
IV.2 Caractérisation des charges appliquées.....	27
IV.2.1 Charges hydrauliques	27
IV.2.2 Charges organiques.....	28
IV.3 Performances des filières.....	29
IV.3.1 Concentrations en sortie de traitement	29
IV.3.2 Performances de la filière : paramètres réglementaires	32
IV.3.3 Performances de la filière : paramètres azotés	40
IV.3.4 Classes de qualité des effluents traités	44
V. Conclusions	45
VI. Glossaire	47
VII. Sigles et Abréviations	47
VIII. Bibliographie	48
IX. Tables des illustrations	48

I. Introduction

I.1 L'assainissement non collectif dans les Départements d'Outre-Mer

Dans le contexte des Départements d'Outre-Mer (DOM), l'assainissement non collectif (ANC) concerne une partie importante de la population : de 81 % à Mayotte à 48 % à la Réunion (Lombard-Latune, 2019), contre environ 20% de la population dans l'hexagone (Boutin, 2017).

L'arrêté du **7 mars 2012** modifiant l'arrêté du **7 septembre 2009** fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique **inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅ (20 EH)**, s'applique sur l'ensemble du territoire français et ses départements et régions d'Outre-Mer.

Cet arrêté présente les techniques de traitement autorisées (obligation de moyen) à l'instar de 3 articles :

- ✚ **L'article 6**, complété par l'annexe 1, décrit 4 techniques de traitement installées de longue date sur le territoire. Il s'agit :
 - de l'épandage souterrain (sur sol en place et à dimension variable, dépendante des caractéristiques de chaque sol) ;
 - de filtre à sable (garni d'un sable aux caractéristiques imposées) ;
 - du filtre à sable horizontal, peu développé ;
 - du filtre à zéolithe, uniquement pour 5 EH.

- ✚ Les articles 7 et 8 conduisent à l'autorisation de l'implantation de **dispositifs spécifiques** ayant obtenus un **agrément ministériel**. L'obtention de l'agrément nécessite une analyse par les organismes notifiés¹, soit par des essais réalisés selon un protocole défini en annexe 2 de cet arrêté, soit par des essais réalisés lors du marquage CE (EN-NF 12566-3) pour les dispositifs ayant suivis cette procédure.

A noter, cependant, que suite à un arrêté modificatif du 26/02/21, l'agrément est désormais attribué par l'organisme certificateur lui-même.

Malgré l'installation de filières traditionnelles réglementaires et de dispositifs agréés, un important taux de non-conformité est observé dans les DOM sur l'ensemble des filières, jusqu'à 90% en Guyane (Office de l'eau de Guyane (OEG), 2019). Cette non-conformité est souvent due au fait que les filières installées ne sont pas conçues au regard de spécificités locales telles que les conditions climatiques et les conditions physiques du terrain (nappe haute fréquente) et ni au regard de la disponibilité locale des matériaux (media filtrants notamment). D'autre part, un défaut d'expertise locale des installateurs et des coûts d'entretien élevés (remplacement des pièces d'usures onéreux) sont manifestes. A ces nombreux freins techniques, réglementaires et organisationnels, s'ajoutent de fortes implications financières pour les habitants, tant en terme d'installation que d'entretien, avec des coûts d'installation variant entre 5 000 et 20 000 euros par installation et des coûts de vidange de fosse ou autres dispositifs compacts supérieurs à 400 €.

A ce jour, plusieurs marques commerciales de Filtre Plantés de Végétaux (de roseaux plus précisément) sont répertoriées au Journal officiel de la République française comme dispositifs agréés pour le territoire national². Des essais par franchise commerciale de développement dans certains DOM comme la Guyane ont été effectués pour s'apercevoir rapidement de la non-adéquation ni du dimensionnement ni des végétaux au contexte local. De même, les coûts et les contraintes d'acheminement (fret transatlantique) et de stockage d'équipements soumis à agrément sont lourdes pour une entreprise désireuse de développer une filière agréée et dite « éco-responsable ». Les récents travaux menés sur la transposition des FPV au milieu tropical pour l'assainissement collectif (Lombard Latune et Molle, 2017) mettent en évidence la nécessité d'adaptation et laissent entrevoir des gains substantiels sur les aspects foncier et économique qui sont importants dans les DOM.

¹ Les Organismes Notifiés sont le CSTB et le CERIB.

² A l'heure actuelle, 9 systèmes par filtres plantés sont référencés au journal officiel de la république (4 fabricants AQUATIRIS, BlueSET, EPUR NATURE, Jean Voisin), pour des capacités de 2 à 20 EH

L'Arrêté préfectoral n°2004/ARS du 29 octobre 2010, fixant les prescriptions complémentaires applicables en Guyane autorise normalement « **dans les zones isolées** » (non accessibles par voie terrestre), la mise en œuvre de techniques d'assainissement non collectif non prévues par l'arrêté du 07 septembre 2009 sous couvert de l'autorité sanitaire concernée.

Le Décret **n°2020-412 du 08 avril 2020** relatif au droit de dérogation reconnu au préfet vient compléter cet arrêté et permettrait de combler le vide juridique par rapport aux filières d'assainissement agréées dans tous les territoires ultra-marins. En effet, d'après les articles 1 et 2, le préfet de région « *peut déroger à des normes arrêtées par l'administration de l'Etat pour prendre des décisions non réglementaires relevant de sa compétence [...]* », notamment en matières « *d'environnement et d'urbanisme* ». En démontrant que les systèmes d'assainissement par filtre plantés chez les particuliers contribuent à un objectif « *d'intérêt général* », s'adaptent à « *l'existence de circonstances locales* » tout en étant « *compatibles avec les engagements européens et internationaux de la France* » et « *sans porter atteintes à la sécurité des personnes* », alors la décision de déroger à l'arrêté du 07 septembre pourrait être envisagée.

Cette étude vise donc, sur des systèmes de FPV optimisés et en conditions réelles, d'apporter des éléments concrets permettant de guider l'institution publique sur les possibles voies administratives à mettre en place pour apporter des solutions techniques satisfaisantes à la problématique de l'assainissement non collectif de l'outre-mer.

I.2 Les Filtres Plantés de Végétaux dans les Départements d'Outre-Mer

Depuis plus de 10 ans, l'unité de recherche REVERSAAL mène des recherches sur l'adaptation des filtres plantés de végétaux (FPV) pour les petites et moyennes collectivités dans les DOM. Cette décennie de recherche a effectivement montré que le modèle français à un étage répond à de nombreuses contraintes de ces territoires, tant en termes d'emprise foncière que par sa facilité de mise en œuvre et d'exploitation. Aujourd'hui, en assainissement collectif, la surface qu'occupe un FPV est de 0,8 m²/EH.

Une dizaine de stations expérimentales réparties dans les 5 DOM ont permis d'affiner les paramètres de dimensionnement, le choix des espèces végétales, les performances et les limites du système dans les conditions que l'on retrouve dans les territoires ultramarins (www.epnac.fr/Outre-Mer).

En Guyane, cette démarche a été accompagnée par un bureau d'étude local, ETIage Guyane, qui a été chargé de l'exploitation des stations ainsi que des suivis expérimentaux. Aujourd'hui, sur le territoire, les atouts et la fiabilité de ce système de traitement pour l'assainissement regroupé (En ANC jusqu'à 500 EH) n'est plus à démontrer. D'ailleurs, les collectivités Guyanaises l'ont compris en s'appropriant la technique du filtre planté pour des projets d'assainissement en cours de capacité de traitement égale et supérieure à 1500 EH.

Expérimentés en Guyane depuis plusieurs années par des particuliers, le FPV individuel satisfait les familles pour son côté compact, esthétique, efficace au point de vue épuratoire, sans nuisance et peu contraignant à l'entretien. L'aspect économique est également loué pour ne pas être supérieur à la moyenne des coûts pratiqués localement et pour sa gestion des boues économique et écologique (fréquence de curage manuel probablement supérieure à 10 années et peu coûteuse voire gratuite par rapport au coût d'une vidange de fosse toutes eaux, à minima de 400 € sur le Littoral Guyanais).

Si l'acceptation par les usagers semble acquise, il est nécessaire d'apporter des éléments concrets en terme de performances et de robustesse du système, en lien avec l'adaptation du dimensionnement au contexte tropical, de manière à envisager une solution administrative en accord avec la réglementation. Les filtres plantés tels que dimensionnés en milieu tropical ne sont pas agréés par le Ministère et sont donc considérés comme non-conformes, même si leurs performances épuratoires sont satisfaisantes.

Or, à ce jour, la démarche de demande d'agrément pour un filtre planté individuel tropicalisé pour chacun des DOM paraît peu concevable d'une part, tant l'investissement financier de la procédure semble démesuré face à la petitesse de chacun des marchés insulaires comparée à l'échelle nationale, et d'autre part, au regard des contraintes techniques de la procédure d'agrément non adaptées au climat tropical.

Ainsi INRAE, ETiage Guyane, l'OFB et l'Office de l'Eau de la Guyane ont souhaité engager une étude de suivi in situ des performances permettant d'attester de l'efficacité en conditions réelles de fonctionnement des filtres plantés de végétaux tropicalisés (FPV) pour l'ANC individuel. Par ailleurs, le PPI³ 2014-2020 de l'OEG s'inscrit dans la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE 2000/60/CE) et du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) adopté par le comité de Bassin, le 22 octobre 2015. Le 2^{ème} programme de l'Office doit conduire à l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau à l'horizon 2021. Le recours au FPV s'inscrit donc dans cette démarche d'amélioration de la qualité des eaux en Guyane.

Une Etude intitulée « Politique d'assainissement des petites et moyennes collectivités dans les DOM » a fait l'objet d'une demande de financement auprès de l'OFB⁴ par l'INRAE⁵. Dans le cadre de la convention de subvention INRAE- OFB relative au programme d'actions triennal 2019 - 2021, l'OFB a souhaité contribuer au financement de cette action de recherche sur les *Performances et fiabilité de différentes configurations de filtres plantés de végétaux adaptées au contexte équatorial pour l'ANC individuel*.

Cette étude concerne les 4 premiers objectifs de la Figure 1 ci-dessous et vise à nourrir la réflexion pour faire évoluer l'acceptation réglementaire de la filière en climat tropical.

³ Plan Pluriannuel d'Intervention

⁴ Office Française de la Biodiversité

⁵ Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

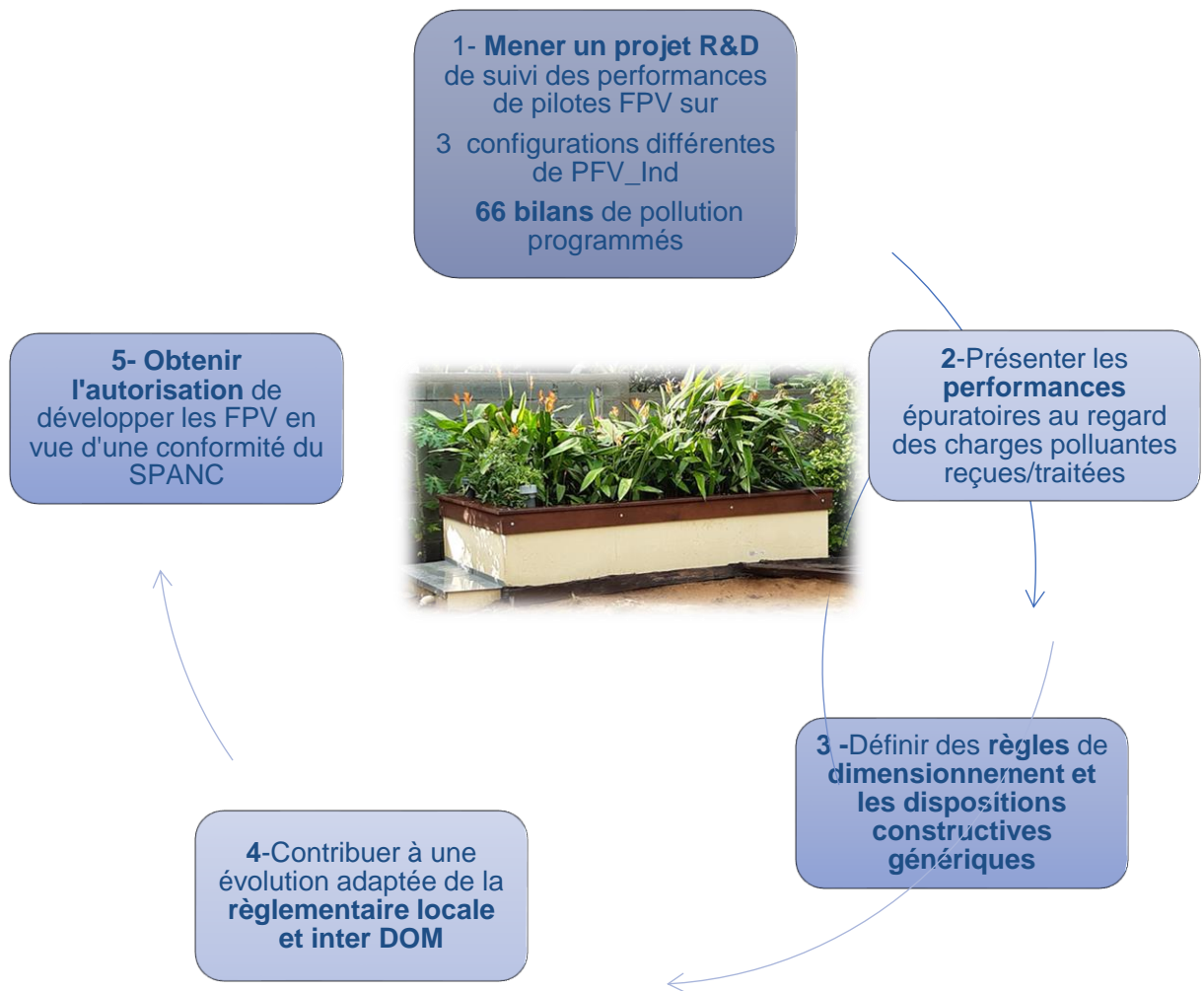


Figure 1 : Objectif général du projet de Recherche pour les FPV < 20EH : de la recherche expérimentale à l'évolution réglementaire adaptée

II. Présentation des FPV individuels

Les filtres plantés individuels qui ont fait l'objet d'un suivi en Guyane ont été mis en service entre 2015 et 2019, et ont donc entre 1 et 5 ans. Ils ont été installés chez plusieurs particuliers et sont répartis géographiquement autour du Chef-lieu, avec 2 filtres à Cayenne même (Figure 2). L'ensemble des pilotes sont implantés sur le territoire de la Communauté de Communes du Centre Littoral (CACL).

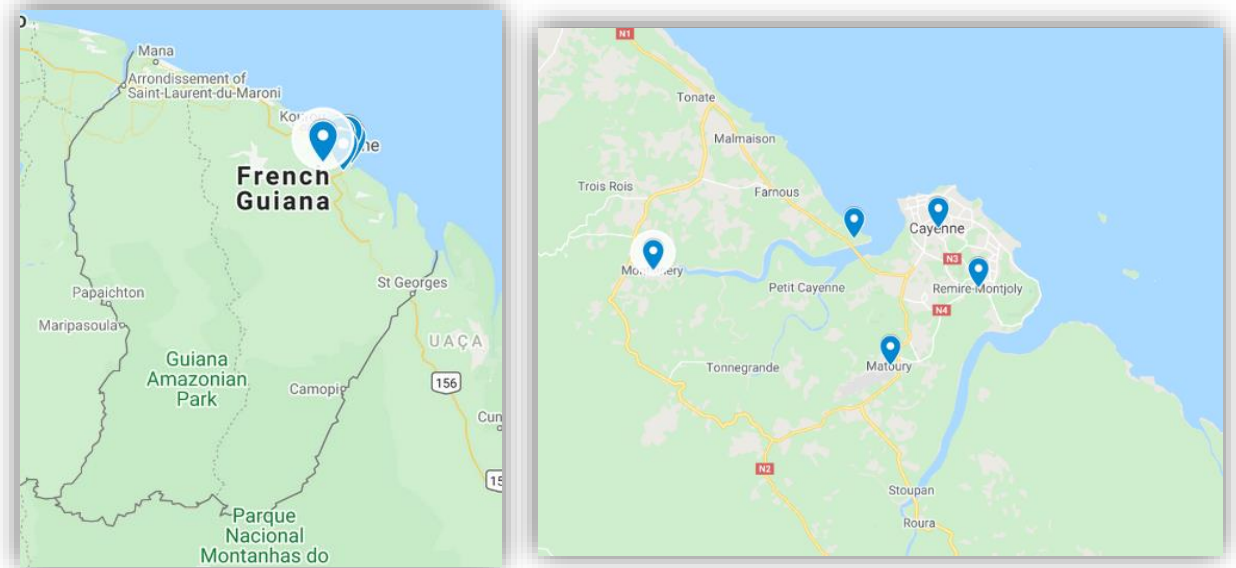


Figure 2 : - Répartition des FPV étudiés pour l'ANC en Guyane Française



Figure 3 : Illustration du pilote LAC (configuration INSAT/SAT)
(©ETiage Guyane)

II.1 Caractéristiques des parcelles

Les parcelles sur lesquelles les pilotes ont été installés ont une surface disponible pour l'ANC qui varie entre 50 et 300 m². Elles sont toutes alimentées en eau et électricité et sont situées en terrain non-inondable, avec un coefficient de perméabilité qui varie entre 5 et 183 mm/h.

Sur les parcelles présentant une pente non-négligeable ($\geq 5\%$), les pilotes ne possèdent pas de poste de relevage et les effluents sont acheminés de façon gravitaire. Cette configuration plus rustique pourrait, outre de permettre d'éviter de potentiels dysfonctionnements d'origine électromécanique, convenir notamment à des habitations isolées géographiquement et non alimentées en électricité.

II.2 Descriptif des pilotes étudiés

II.2.1 Configurations et principes de fonctionnement

Trois configurations de FPV ont été testées :

- FPV vertical Insaturé alimenté par bâchée (pompe) ;
- FPV vertical Insaturé/Saturé alimenté par bâchée (pompe) ;
- FPV vertical Insaturé alimenté gravitairement au fil de l'eau (sans bâchée).

Ces 3 configurations de FPV se distinguent également par des ratios surface/EH et des matériaux filtrants/drainants parfois différents.

Pour rappel, le Filtre Planté de Végétaux à écoulement vertical est constitué d'un massif de graviers, isolé du sol artificiellement, traversé par un réseau d'aération-drainage et sur lequel des végétaux sont plantés. Les eaux usées brutes sont déversées à la surface du filtre par bâchées délivrant une lame d'eau de 2 à 3 cm à la surface du filtre en alimentation. La percolation des eaux usées se fait à travers le massif filtrant avant que celles-ci soient collectées par le système de drainage. Les matières en suspension (MES) contenues dans l'effluent sont filtrées par la couche de graviers la plus fine et retenues à la surface de l'ouvrage. Elles s'accumulent en formant une couche de dépôt organique qui renforce la capacité de rétention physique du filtre. C'est une couche biologiquement très active qui se minéralise rapidement (Figure 4)

Pour gérer la minéralisation du dépôt organique et éviter le colmatage de l'ouvrage dans le temps, deux filtres sont installés en parallèle de manière à réaliser une alternance entre période de repos et période d'alimentation.

Le FPV à écoulement vertical classique fait appel à des conditions aérobies (filière insaturée). D'une manière générale, les filtres plantés pilotes s'inspirent des réalisations pionnières de l'adaptation du système aux conditions tropicales⁶ :

- La validation du dimensionnement des premiers FPV par suivi des performances et de la robustesse hydraulique (*Retours d'expériences sur les premiers suivis expérimentaux des FPR en Guyane, Lombard Latune R., Lacombe G., Molle P., 2014*) et *Suivi des stations expérimentales FPR à Mayotte - Bilan des campagnes de 2008 à 2013 (Lombard Latune R., Eme C., Molle P., Riegel C., 2014)*
- Quelles plantes pour les filtres plantés de végétaux dans les DOM ? (Lombard Latune R., Molle P., 2016)

⁶ <https://www.epnac.fr/Outre-Mer>

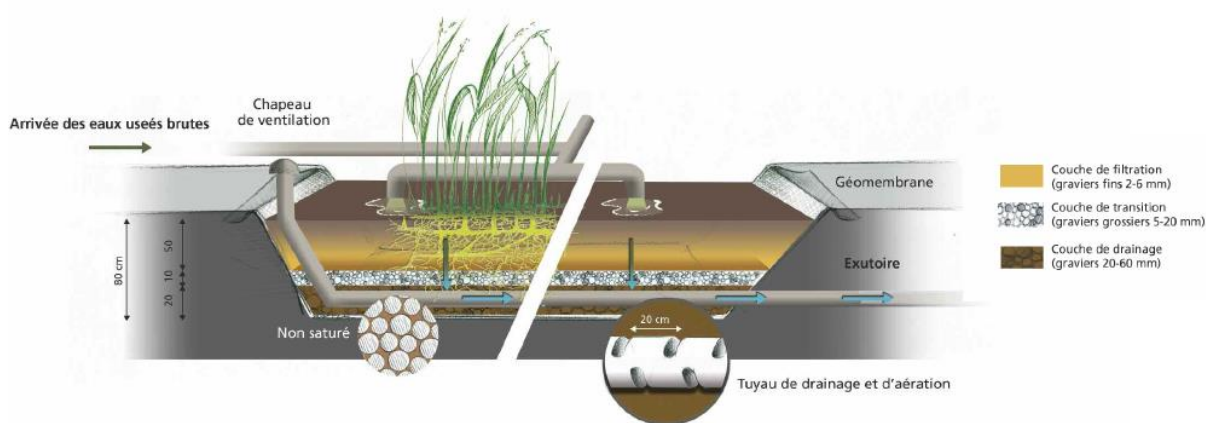


Figure 4 : Schéma du filtre vertical Insaturé (Lombard-Latune et al., 2017)

La mise en place d'une zone saturée en fond de filtre permet l'installation de conditions anoxiques qui seront le siège d'un traitement plus poussé de certains composants (e.g pousser le traitement de l'azote total, piéger les MES résiduelles et améliorer les performances sur la dégradation du carbone). Cela correspond à superposer un filtre à écoulement vertical non saturé sur un filtre à écoulement vertical saturé (filière INSAT/SAT) (Figure 5).

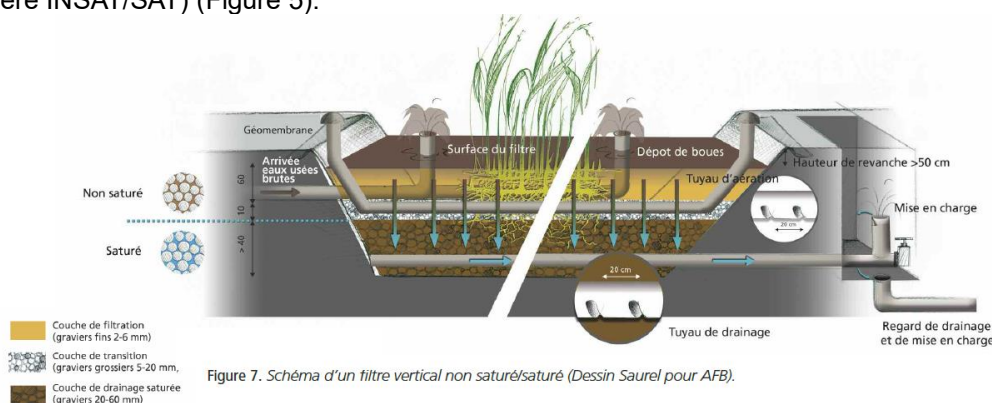


Figure 7. Schéma d'un filtre vertical non saturé/saturé (Dessin Saurel pour AFB).

Figure 5 : Schéma de principe – Filtre planté de végétaux à écoulement vertical saturé/non saturé (Lombard-Latune et al., 2017)

Ces études, et celles menées dans les autres DOM ont été synthétisées dans un guide pour la conception des filtres plantés de végétaux en milieu tropical (Lombard Latune R., Molle P., 2017)

Le filtre planté est caractérisé par sa robustesse (résistance aux surcharges hydrauliques) et, de part une forte résilience (Lombard Latune et al., 2018), il retrouve très vite sa capacité d'épuration après un choc fonctionnel lié à un défaut de maintenance ou un évènement extrême. Cependant, pour le bon fonctionnement du filtre, il est essentiel d'alterner l'alimentation des lits par un jeu de vannes simple (Figure 6), une fois par semaine en assainissement individuel.

L'entretien d'un filtre planté de végétaux est peu contraignant. Les opérations d'entretien courant consistent à désherber manuellement les lits filtrants (retrait des adventices les premiers mois après la mise en service) et après cette phase de développement des végétaux, la forte densité des végétaux ne nécessite plus d'interventions régulière hormis un faucardage annuel de la totalité des végétaux. La gestion des boues est identique aux FPV pour assainissement regroupé. Il n'y a pas encore de recul sur la fréquence de curage pour les FPV individuels mais semble plus espacée que la fréquence de 10 à 15 ans réalisée en climat tempéré.



Figure 6 : Regard à vannes avec vannes à opercule (a) et vannes Guillotines (b) (©ETIage Guyane)

II.2.2 Caractéristiques générales des FPV

Dans le cadre de cette étude, après une visite préalable pour valider le fonctionnement normal des ouvrages et la possibilité de suivre les performances, plusieurs filtres ont été sélectionnés. De manière à prendre en compte de possibles variabilités inter-sites, plusieurs filtres ont été sélectionnés pour un même procédé :

- 2 pilotes disposant d'un étage insaturé dans la partie supérieure du filtre et ayant un fond saturé de hauteur variable (filière INSAT/SAT) ;
- 5 pilotes disposant d'un étage insaturé sur toute la hauteur du filtre (filière INSAT) et alimenté soit par bâchées (INSAT 3 pilotes) soit de façon gravitaire (INSAT_GRAV 2 pilotes).

En dépit de leur non-conformité au regard de la réglementation actuelle, cinq filtres plantés de végétaux ont été construits avant la signature de la convention de recherche (août 2019), chez des particuliers soucieux de trouver une alternative aux systèmes de traitements classiques. La conception des différents pilotes a été réalisée pour :

- un nombre d'équivalent-habitant (EH) donné et déterminé en fonction du type d'habitation et du nombre de pièces principales ;
- une charge hydraulique nominale déterminée selon la circulaire n°97-49 du 22 mai 1997 et de l'Arrêté préfectoral n°2004/ARS du 29 octobre 2010 ;
- des charges organiques nominales, évoquées dans différents arrêtés (1991, 1996, 2004) et qui découlent du décret 75-996 du 28 octobre 1997 (version abrogée depuis le 1^{er} janvier 2008), et qui définissaient l'assiette des redevances dues par les collectivités aux Agences de l'Eau. Dans ce cadre les effluents concernés sont assimilés à des effluents domestiques. Les productions journalières par polluants prises en compte pour le dimensionnement sont celles usuellement utilisées dans l'hexagone.

Tableau 1. Définition de l'EH : Comparaison de l'EH métropolitain et tropical

Paramètre	Source	DBO5 (g MES/j EH)	DCO (g MES/j EH)	MES (g MES/j EH)	NTK (g NTK/j EH)	Pt (g Pt/j EH)
EH	Décret 75-996 du 28 octobre 1975	60	120	90	15	4
EH Rural Métropole	(Lombard Latune & Molle, 2017)	60	150	75	15	2,5
EH Tropical		60	125	75	15	2,5

A titre de comparaison, on observe que les charges retenues pour le dimensionnement des filtres sont relativement éloignées pour le paramètre MES et Pt des charges de pollution préconisées pour définir un équivalent-habitant (EH métropole et tropical confondu).

En résumé, les pilotes testés ont été dimensionnés pour un nombre d'EH variant de **4 à 8 EH**.

Tableau 2. Données de base des pilotes

Données de Base							
Pilote	Date de mise en service	Alimentation - Type de Filtre	Nombre d'EH	Débit Journalier (L/j)	DBO5 (g/j)	DCO (g/j)	MES (g/j)
				150	60	120	90
BRI	01/01/2018	GRAV*- INSAT	4	600	240	480	360
CAT	01/08/2018	GRAV – INSAT	4	600	240	480	360
BOU	01/04/2018	REL - INSAT	6	900	360	720	540
NAC	01/05/2015	REL - INSAT	4	600	240	480	360
SAN	01/11/2018	REL - INSAT	8	1200	480	960	720
LAC	01/12/2019	REL – INSAT/SAT	6	900	360	720	540
KHO	01/07/2020	REL – INSAT/SAT	6	900	360	720	540

*GRAV : Filtre alimenté Gravitairement, « au fil de l'eau »
 *REL : Filtre alimenté par bâchée, via un poste de Relevage

Si certains pilotes disposent d'un regard de recirculation (afin d'augmenter les performances des ouvrages (Prost-Boucle et al., 2010)) ou minimiser le stress hydrique des filières insaturées en saison sèche), dans le cadre de la présente étude, le système de recirculation a été obturé afin de caractériser les performances minimales de chaque dispositif.

II.2.3 Caractéristiques dimensionnelles

Les premiers dimensionnements de filtres plantés ont été réalisés en Guyane pour des installations d'assainissement regroupés et selon les règles définies pour des stations collectives dans les DOM, à savoir un ratio de 0,8 m²/EH (Lombard Latune & Molle, 2017). Pour les FPV individuels, le défaut de données sur les charges hydrauliques des ménages Guyanais avait incité à la prudence et même si les premiers pilotes ont été dimensionnés sur une base plus compacte que les références métropolitaines de l'époque (1,5 contre 2 m²/EH), le dimensionnement restait tout de même plus extensif que le ratio de dimensionnement des filtres en ANC regroupé (0,8 m²/EH). Au fil du temps et des suivis opérés sur les FPV Guyanais depuis 2013 par ETiage Guyane, le ratio de surface a été diminué de 1,5 à 1,25 m²/EH pour des filtres insaturés puis très nettement diminué avec la mise en œuvre des premiers FPV INSAT/SAT à hauteur de 0,7 m²/EH.

Tableau 3 – Caractéristiques techniques des filtres pilotes (Classés par date de mise en service)

Bases dimensionnelles des FPV pilotes			
Pilote	Surface filtre (m ²)	Surface Lit (m ²)	Surface Filtre/EH (m ² /EH)
NAC**	6	3	1,5
BRI*	8	4	2,0
BOU**	10	5	1,7
CAT*	10	5	2,5
SAN**	10	5	1,3
LAC***	4,3	2,1	0,7
KHO***	5	2,5	0,8

*GRAV, **INSAT et *** INSAT/SAT

Les surfaces des pilotes varient entre 4,3 et 10 m² (Tableau 3). Rapporté au nombre d'équivalents habitants, les ratios de dimensionnement varient entre :

- **2 à 2,5 m²/EH** pour les dispositifs INSAT alimentés par voie gravitaire* ;
- **1,25 à 1,7m²/EH** pour les INSAT alimentés par un poste de relevage** ;
- **0,7 et 0,8 m²/EH** pour les procédés INSAT/SAT***.

Etant donné les différentes surfaces par EH mises en œuvre et les incertitudes sur les productions journalières des EH en ANC, on présente les charges reçues par m² de filtre en alimentation afin de les comparer aux règles usuelles de dimensionnement de la filière pour l'assainissement collectif (Figure 7). Comme le montre le Tableau 4 ci-dessous, les charges surfaciques nominales à l'échelle de toute la filière FPV, sont en moyenne inférieures aux charges préconisées pour le dimensionnement (Lombard-Latune & Molle (2017) avec parfois des pointes au-delà des valeurs cibles.

En ce qui concerne leur variabilité, les charges surfaciques théoriques vont du simple au triple selon les usages de l'eau et les types de pilote. Les charges minimales sont associées à la filière INSAT gravitaire et les charges maximales, à la filière INSAT/SAT. En effet, pour les FPV insaturés/saturés, les charges maximales sont comparables à celles appliquées en assainissement regroupé dans les DOM voire supérieures, pour certains paramètres organiques (MES et DBO₅). Ces charges nominales seront à comparer avec les charges réelles appliquées afin d'évaluer les performances des filières (cf. IV.2).

Tableau 4. Comparaison des charges moyennes surfaciques nominales ⁽²⁾ par rapport aux charges admissibles préconisées sur filtre à écoulement vertical librement drainé de premier étage ⁽¹⁾

	Paramètre organique (g/m ² /j)			
	MES	DCO	DBO ₅	NTK
Règles AC DOMs⁽¹⁾ (Lombard Latune & Molle, 2017)	150	350	150	30
Moyenne FPV ANC Guyane ⁽²⁾ (Min et Max)	144 (entre 72 et 257)	192 (entre 96 et 343)	96 (entre 48 et 171)	19 (entre 9 et 32)

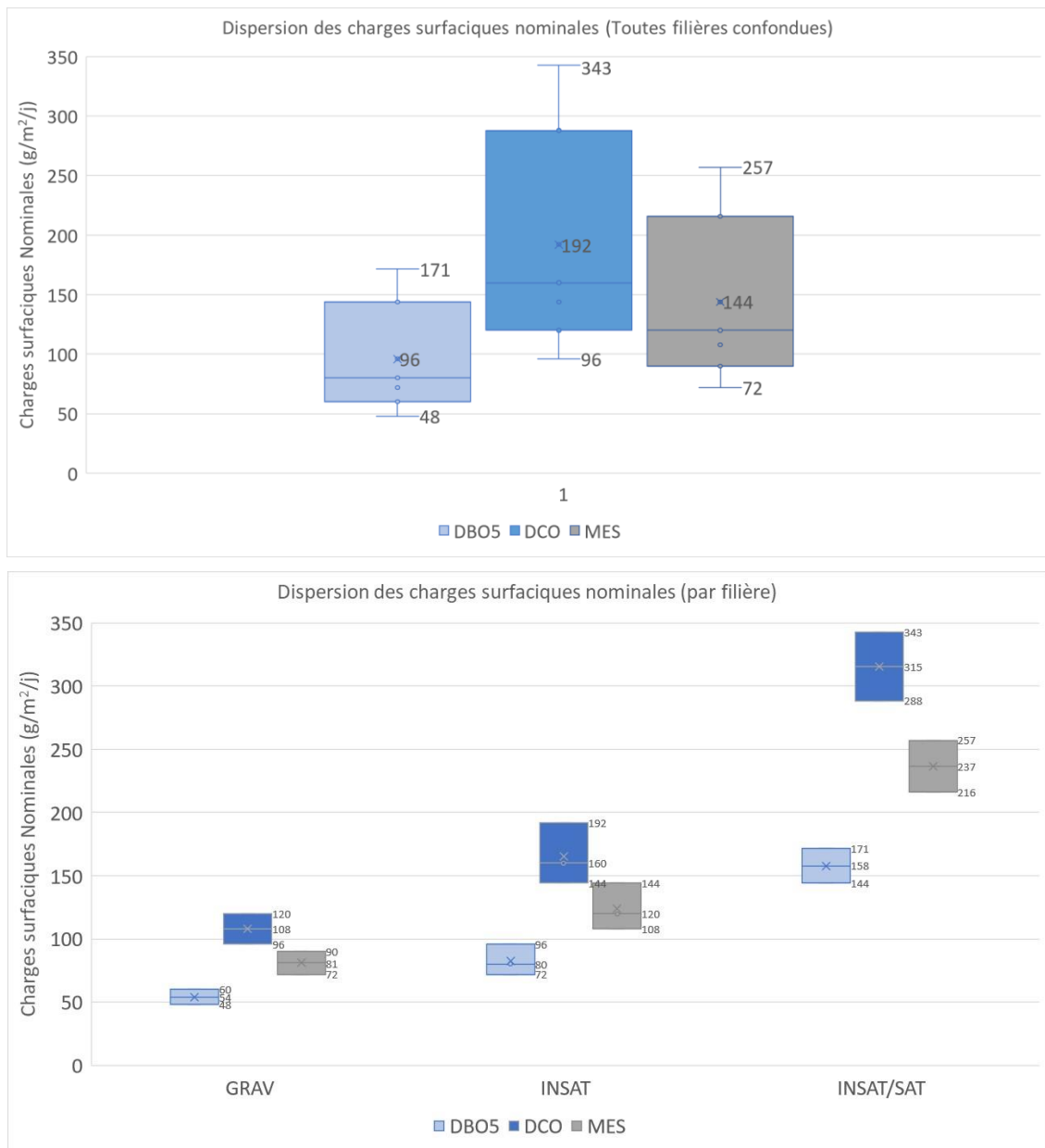


Figure 7 - Dispersion des charges surfaciques nominales (ensemble de la filière FPV et détails par type de traitement)

II.2.4 Caractéristiques techniques du massif filtrant

Comme évoqué en préambule, les filtres présentent des dispositions constructives différentes. Seul un ouvrage est réalisé en mode déblai-remblai avec étanchéité artificielle par géomembrane, les autres sont construits en génie civil béton étanche. Quel que soit le mode constructif, chaque filtre doit respecter certaines règles de l'art afin d'assurer de bonnes conditions. Les qualités et caractéristiques préconisées sont les suivantes:

- ✚ Granulométries homogène et teneur en fines inférieure à 3% ;
- ✚ Résistance des matériaux à la fragmentation ;
- ✚ Teneur en calcaire inférieure à 20%.

Les couches de graviers sont ensuite superposées avec une granulométrie croissante de haut vers le bas (Tableau 5).

Les pilotes se distinguent également par les végétaux utilisés. Au regard des espèces validées pour une utilisation en milieu tropical, les espèces suivantes ont été privilégiées dans cette étude : *Heliconia psittacorum* et *Canna glauca* (ainsi que *Costus spiralis* sur un des pilotes).

Après plusieurs années de fonctionnement, il est confirmé que ces deux espèces majoritaires ont colonisé les filtres avec une densité satisfaisante. Il est par ailleurs possible de souligner la préférence de certains particuliers pour l'espèce *Heliconia psittacorum* au regard de son aspect esthétique et de sa proximité avec un « jardin fleuri ». L'utilisation de ces deux espèces, soit par mixité au sein du même lit, soit par répartition espèce/lit, favorise la biodiversité et est susceptible de présenter une meilleure protection en cas d'attaque ciblée de ravageurs (technique préconisée pour l'assainissement regroupé).

Le tableau 4 synthétise les végétaux présents sur les massifs et détaille les différentes couches qui composent le massif filtrant.

Tableau 5 –Caractéristiques techniques des massifs filtrants

Données de Base		Caractéristiques des massifs filtrants						
Nom du Filtre	Végétaux	Couche Filtrante		Couche transition		Couche drainante		Aération intermédiaire (m/m ² de filtre)
BRI	Héliconia F1 & Canna F2	1/4 mm	35 cm	-	-	12/20 mm	35 cm	-
CAT	Héliconia F1 & Canna F2	1/4 mm	35 cm	-	-	12/20 mm	25 cm	-
BOU	Héliconia F1 & Canna F2	4/6 mm	35 cm	6/10 mm	10 cm	12/20 mm	25 cm	-
NAC	Héliconia F1 & Canna F2	2/4 mm	30 cm	6/10 mm	20 cm	12/20 mm	20 cm	-
SAN	Héliconia (F1 & F2)	2/4 mm	40 cm	-	-	12/20 mm	40 cm	-
LAC	Héliconia (F1 & F2)	4/6 mm	40 cm	6/10 mm	10 cm	12/20 mm	40 cm	1,6
KHO	<i>Costus spiralis</i> (F1 & F2)	4/6 mm	40 cm	12/20 mm	10 cm	20/40 mm	40 cm	1,8

Seuls les filtres INSAT/SAT disposent d'une aération intermédiaire avec des densités de drains similaires de l'ordre de 1,7 m linéaire par m² de filtre. Pour rappel, la densité minimale préconisée est de 0,25 m linéaire par m² de filtre (Lombard Latune & Molle, 2017)

Des analyses granulométriques ont été réalisées sur les pilotes LAC, NAC, KHO et BOU par le laboratoire INRAE de Lyon (Figure 8).

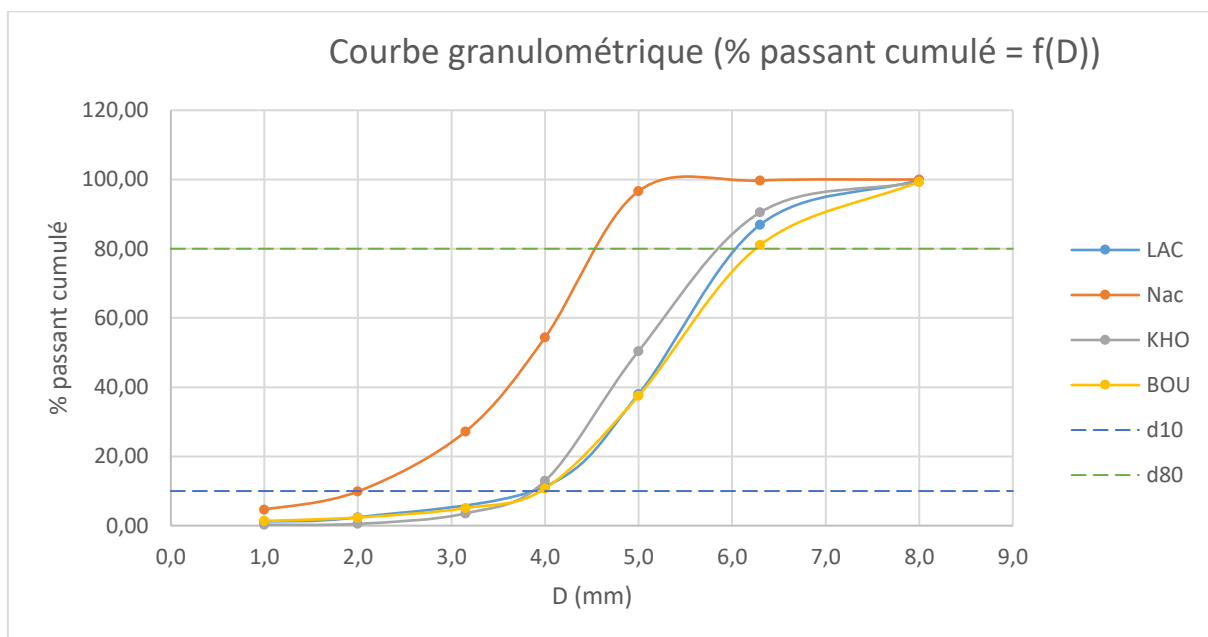


Figure 8 - Courbes granulométriques des pilotes LAC, NAC, KHO, BOU

D'après les tests réalisés sur les graviers de la couche filtrante, on note une nette différence entre le pilote NAC et les pilotes LAC, KHO et BOU, avec des granulométries respectives de 2/4 et 4/6. La granulométrie peut impacter la qualité de l'effluent en sortie. Une granulométrie plus fine en couche de filtration contribue à l'augmentation du dépôt organique en surface et à un temps de séjour de l'effluent plus important. La réduction de la vitesse d'infiltration est en effet favorable à une meilleure nitrification.

III. Suivis expérimentaux

III.1 Méthodologie des mesures

III.1.1 Rappel du programme de mesures

Afin de pouvoir évaluer les performances des installations, 8 campagnes de bilans 24h00 continus sur 7 jours et 9 bilans 24h00 ont été réalisés entre Avril 2020 et février 2021 et répartis sur les 7 sites pilotes présentés en Tableau 6. Compte tenu de la difficulté de réaliser des bilans proportionnels au débit sur les filières gravitaires, les bilans 24 h consécutifs sur 7 jours ont été réalisés uniquement sur les filières alimentées par bâchées.

Tableau 6. Synthèse des bilans 24h00 et campagne 7 jours réalisés

FILIERE	PILOTE	Nombre de Bilans 24 h sur 7 jours	Nombre de Bilans 24h00
GRAV		0	4
	BRI	0	2
	CAT	0	2
INSAT		2	4
	BOU	1	1
	LAC (version Insat)	0	1
	NAC	1	1
	SAN	0	1
INSAT/SAT		6	2
	KHO	2	1
	LAC	4	1
TOTAL		8	10

6 campagnes de 7 jours et 2 bilans 24h ont été menés sur la filière INSAT/SAT soit un total de 44 bilans. Les performances de la filière INSAT ont été évaluées à travers 2 campagnes de 7 jours et 4 bilans 24h00 soit un total de 18 bilans. Finalement, 4 bilans 24h ont été réalisés pour caractériser la filière gravitaire.

III.1.2 Protocole de mesures

Les bilans de pollution ont pour objectif d'évaluer les performances des différentes configurations de FPV en situation réelle. Ces derniers sont menés afin de caractériser les **charges polluantes à traiter** (concentrations en paramètres polluants et charges hydrauliques) et les **charges polluantes rejetées**. Ainsi, les performances des dispositifs sont évaluées sur la base des **concentrations en pollution** de l'effluent de sortie et sur les **rendements épuratoires**.

A noter que les filtres n'ont pas tous été conçus en tenant compte d'un besoin de mesure et de prélèvements ultérieurs, notamment les filtres gravitaires. Ainsi des protocoles de bilans spécifiques ont été mis au point au regard des conditions particulières de chaque système. L'objectif étant de réaliser un échantillonnage représentatif des concentrations et flux moyens sur 24H, la filière gravitaire n'a pu faire l'objet d'un suivi aussi poussé que les autres filières ; seul un échantillon moyen de sortie a été constitué de façon pondérée au débit. En effet, l'absence de pompe en entrée rend très aléatoire la représentativité du prélèvement d'un effluent alimentant le filtre au fil de l'eau. Les valeurs de sortie, sur cette filière, permettent uniquement de la comparer de manière macro aux autres filières.

✚ Alimentation par poste de relevage (INSAT et INSAT/SAT)

Pour l'ensemble des pilotes disposant d'un poste de relevage (Pilote INSAT/SAT et INSAT), les prélèvements ont été réalisés au moyen de préleveurs automatiques réfrigérés installés (Figure 9) :

- en entrée de filtre et asservis au débit (500 mL/Bâchée) ;
- en sortie de filtre et asservis au temps (150 mL/15 min).



1 : Capteur de surverse fixé à l'extérieur du bac de prélèvement.
Le capteur détecte le débordement du bac et déclenche un prélèvement.
2 : Bac de prélèvement de l'effluent
3 : Tuyau à crépine positionné dans le bac.
4 : Canalisations d'alimentation du filtre



1 : Drain principal (Sortie des Eaux Traitées)

2 : Réducteur mâle 100-50

Le réducteur permet une obturation partielle du drain qui provoque une mise en charge du regard. On obtient ainsi une hauteur suffisante pour un prélèvement sans mettre en charge le fond du filtre

3 : Coude 45° - 0% de recirculation

4 : Tuyau de prélèvement avec crépine positionné dans le regard



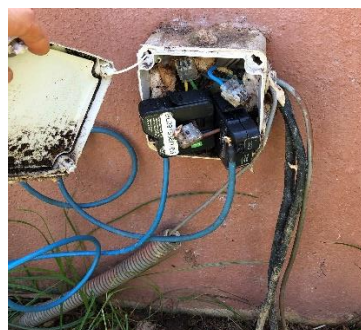
Figure 9 : Matériel de prélèvement entrée et sortie de filtre

La détermination des charges hydrauliques est réalisée par l'intermédiaire: (Figure 10) :

- des volumes de remplissage et de vidange du poste de relevage (mise en place d'un capteur piézométrique) ;
- de l'enregistrement des temps de fonctionnement de la pompe de relevage corrélés au volume refoulé (mise en place d'une pince ampèremétrique) ;
- le relevé du compteur AEP.



Sonde piézométrique 0-150 mBar dans poste de relevage



Installation de 2 pinces ampèremétriques (pompe poste de relevage et eau traitée)

Figure 10 : Matériel utilisé dans le cadre du suivi hydraulique

(Sonde piézométrique et pince ampèremétrique)

Enfin, pour les pilotes disposant d'une pompe en sortie de filière (KHODJ et LAC), une mesure complémentaire a été réalisée, via l'enregistrement des temps de fonctionnement de la pompe.

✚ FPV à écoulement gravitaire

Pour l'ensemble des pilotes gravitaires (CAT et BRI), dépourvus de poste de de relevage, seules les eaux traitées ont été caractérisées. Pour cela, un préleveur automatique réfrigéré a été installé en sortie de filière et asservi au temps (BRI) ou au débit (CAT), au regard de l'espace disponible pour installer le matériel de prélèvement. L'estimation du volume entrant sur le filtre a été réalisé au moyen du relevé du compteur AEP ou via l'installation d'un débitmètre de type bulle à bulle (Figure 11) (Débitmètre ISCO SIGNATURE°).



Figure 11 : Dispositif de mesure en sortie de FPV Gravitaire (Bilan CATAL 1-27/08/2020 ©ETiage Guyane)

En complément, la pluviométrie a été comptabilisée avec la mise en place d'un pluviomètre à auget basculant tous les 0,2 mm ce qui permet d'ajuster les volumes mesurés en sortie de filtre en cas de fortes pluie tombée sur le filtre durant la mesure

III.1.3 Mesure des paramètres physico-chimiques

Les échantillons moyens homogénéisés sont testés à l'aide de sondes multi-paramètres (Hanna Instruments) pour réaliser une caractérisation *in situ* des paramètres physico-chimiques (pH, Conductivité, Potentiel d'Oxydoréduction et température) (Figure 12).



Figure 12 : Mesure In situ sur échantillons moyens Entrée et Sortie (LAC 373-16/07/2020)

Des analyses sont ensuite effectuées au laboratoire interne d'ETiage Guyane (Figure 13) par spectrophotométrie (DR 3900) pour les paramètres DCO, NH_4^+ , NO_3^- et P_t ; et par le laboratoire Hygiène et Environnement de l'Institut Pasteur de Guyane certifié COFRAC, pour les paramètres MES, DBO_5 et DCO, NTK, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- et P_t .



Figure 13 : Laboratoire interne ©Etiage Guyane

Des doublons ont été réalisés afin de faire une comparaison inter-labo dans le but de valider les mesures réalisées en interne.

Tableau 7 Synthèses du nombre d'analyses réalisées par paramètre, type d'effluent et laboratoire (n=Nb Bilans)

Paramètres	Eau brute		Eau traitée	
	ETIAGE	PASTEUR	ETIAGE	PASTEUR
DCO	61	22 (Soit 36 %)	66	24 (36%)
NH4+	61	20 (Soit 33%)	66	22 (33%)

NB : Les variations entre le nombre d'analyses Eau Brute/Eau traitée s'expliquent par la réalisation de 4 analyses uniquement sur les eaux traitées pour la filière gravitaire et un dysfonctionnement sur le bilan KHO 173.

D'après le Tableau 7, 36 et 33 % des échantillons ont été analysés en doublon, respectivement pour les paramètres DCO et NH₄⁺. En comparant les doublons obtenus pour la DCO (Figure 14) et le N-NH₄⁺ (Figure 15), il est possible de noter :

- Pour la DCO en entrée, on remarque que les valeurs sont au-dessus chez Etiage comparées à celles de Pasteur, mais le coefficient de corrélation R², supérieur à 0,97, permet de valider les mesures ;
- Pour la DCO en sortie, la corrélation reste très bonne avec un R² supérieur à 0,92. En dessous de 100 mg/L, la relation est linéaire. Au-delà de cette concentration, l'écart se situe entre 17 et 56%, avec à nouveau des valeurs en excès chez Etiage par rapport à celles de Pasteur. La marge d'erreur est donc non négligeable pour les valeurs de DCO supérieures à 100 mg/L en sortie de filière.

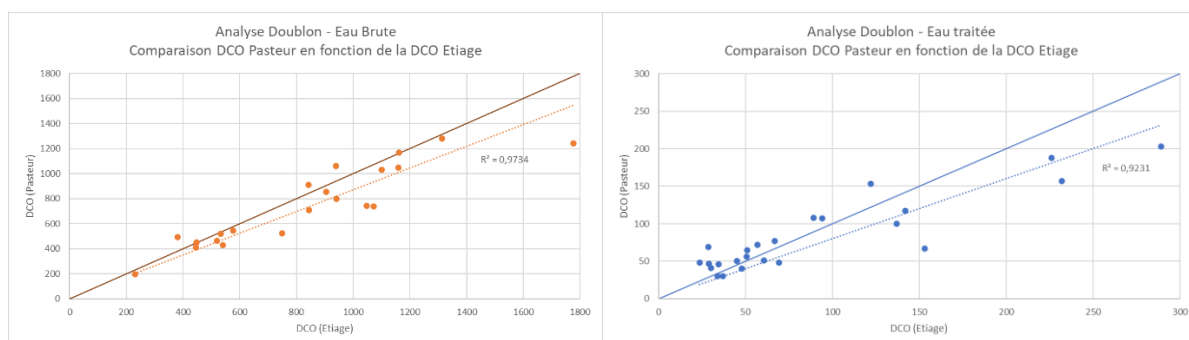


Figure 14 - Analyse Doublon – Comparaison DCO Pasteur en fonction de la DCO Etiage

- Pour le paramètre N-NH₄⁺, une corrélation satisfaisante avec des R² supérieurs à 0,9 pour les eaux brutes et les eaux traitées.

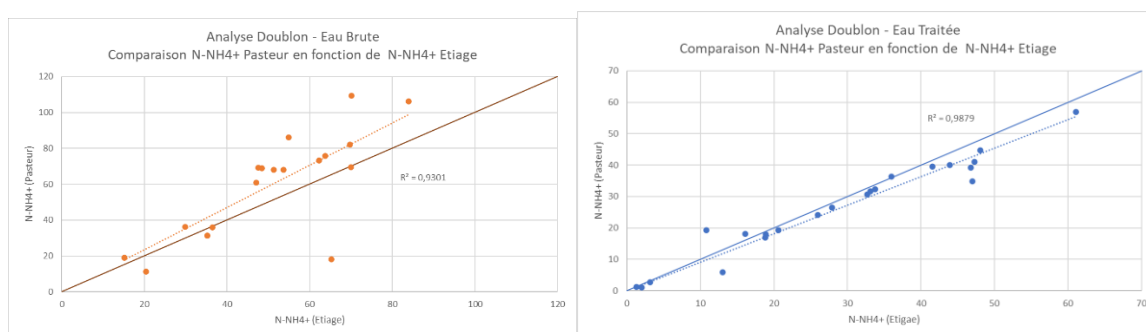


Figure 15 Analyse Doublon – Comparaison N-NH₄⁺ Pasteur en fonction de N-NH₄⁺ Etiage (Eau Brute et Eau traitée)

Les conclusions de l'analyse comparative permettent de valider les mesures pour les paramètres DCO et N-NH₄⁺, en entrée et sortie d'installation à l'exception des mesures de DCO en sortie de filière lorsque supérieures à 100 mg/l.

III.2 Gestion des données

III.2.1 Définition des objectifs de traitement

La réglementation ne définit pas de niveaux de rejet pour les FPV de moins de 20 EH (Obligation de moyens et non de résultats). A l'instar de l'étude du *Suivi in situ des installations de 2011 à 2016* (C. Boutin, 2017), des valeurs guides ont dû être considérées afin de caractériser l'efficacité du traitement. Ainsi, les valeurs seuils retenues correspondent à celles fixées par les arrêtés du :

- ✚ 07 septembre 2009 (modifié par l'arrêté du 07 mars 2012) fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j DBO₅ ;
- ✚ 21 juillet 2015 relatif (modifié par l'arrêté du 31 juillet 2020) aux systèmes d'assainissement collectif à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j DBO₅.

Le Tableau 8 résume les valeurs seuils retenues dans le cadre de la présente étude.

Tableau 8 – Concentrations réglementaires et concentrations retenues (en mg/L) dans le cadre du suivi in situ (Boutin & Olivier, 2017)

VALEURS SEUILS DE REJET					VALEURS RETENUES POUR LE SUIVI IN SITU DES INSTALLATIONS D'ANC	
Applicables aux installations d'ANC (type Arrêté 07/09/2009) « Objectif de moyen »		Applicables aux installations d'AC et d'ANC (type Arrêté 21/07/2015) « Objectif de résultats »				
mg/l	Caractéristiques en sortie d'installation	Concentration Maximale	Concentration maximale à respecter	Concentration rédhibitoire	Seuils des valeurs	
			Moyenne journalière		Concentrations acceptables	Concentrations inacceptables
MES	30	85	-	85	≤30	≥85
DCO	-	-	200	400	<200	≥400
DBO ₅	35	50	35	70	<35	≥70

Pour aller plus loin dans la comparaison des performances entre les différents pilotes, des **classes de qualité** ont été identifiées au regard des concentrations en polluants (Tableau 9)

Tableau 9 – Définition des classes de qualité des eaux traitées en fonction des concentrations en polluants (mg/L) (Boutin & Olivier, 2017)

CLASSE DE QUALITE			
	ACCEPTABLE	MEDIOCRE	INACCEPTABLE
MES	≤30	30-85	≥85
DCO	<200	200-400	≥400
DBO ₅	<35	35-70	≥70

Enfin, la réglementation impose dans le cadre de l'assainissement collectif un suivi de la pollution azotée (et phosphorée) uniquement pour des stations rejetant « *en zone sensible à l'eutrophisation* » (Arrêté du 21 juillet 2015-Annexe 3). Ces prescriptions ne sont pas applicables à l'échelle de l'ANC individuel, néanmoins, l'étude du **degré de transformation de l'azote organique** sous ses différentes formes (N-NH₄⁺ ou N-NO₃) est généralement utilisée comme indicateur pour le suivi du bon fonctionnement d'un ouvrage d'épuration. En effet, l'observation d'une oxydation efficiente de l'azote est en soi un bon indicateur de l'élimination (transformation) préalable d'une pollution organique carbonée (DCO, DBO₅). En somme, un dispositif d'assainissement qui a les capacités d'assurer une nitrification présente les meilleures dispositions épuratoires à l'égard des valeurs seuils présentées ci-dessus.

Tableau 10 – Définition des classes de qualité des eaux traitées en fonction des paramètres azotés (mg/L) (Boutin & Olivier, 2017)

	ACCEPTABLE	MEDIOCRE	INACCEPTABLE
Nitrification	NK<90 ou NH ₄ ≤85		NK≥90 ou N-NH ₄ ⁺ >85
	ET		
	N-NO ₃ >N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ <N-NH ₄ ⁺	
Nitrification & Dénitrification	NK<33 ou N-NH ₄ ≤30	NK<90 ou N-NH ₄ ≤85	
	ET		
	N-NO ₃ ≤30	N-NO ₃ >30	

Considérant les mécanismes mis en jeu, la nitrification peut être considérée comme « **Acceptable** » pour des concentrations en N-NO₃ supérieures à celle de N-NH₄⁺ (

Tableau 10). Néanmoins, des concentrations supérieures à 90 et 85 mg/L en NK et N-NH₄ témoignent d'une oxydation très partielle de l'azote et donc d'une mauvaise nitrification. Elle peut alors être considérée « **Inacceptable** ».

Finalement, la dénitrification est jugée « **Acceptable** », si la concentration résiduelle en N-NO₃ est inférieure à 30 mg/L ET si la concentration résiduelle en N-NH₄⁺ est inférieure à 30 mg/L.

Les **performances épuratoires** des différentes configurations de FPV ont donc été évaluées au regard des paramètres **polluants classiques** (DCO, DBO₅ et MES) mais également de de la **pollution azotée** (nitrification et/ou dénitrification).

III.2.2 Traitement des données

Pour rappel, les paramètres polluants ont été mesurés au laboratoire de ETiage Guyane à l'aide d'un spectrophotomètre DR 3900 et des programmes de mesures « préenregistrés » (Hach-Lange). Ces derniers possèdent des gammes de mesure spécifiques (Tableau 11).

Tableau 11 – Paramètre analysé, programme et gamme de mesure (Spectrophotomètre DR 3900)

Paramètre Mesuré	Programmes Hach-Lange	Gamme de mesure (mg/L)
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	LCK 303	2-47
	LCK 302	47-130
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	LCK 340	5-35
DCO (mg O ₂ /L)	LCK 614	50-300
	LCK 514	100-2 000

Lorsque certaines concentrations sortent des gammes de mesure (**Valeur Hors-gamme - HG**), les données hors gamme sont traitées de la manière suivante :

- Pour les données inférieures à la **limite basse (LB)** ;
 - o Si $Donnée\ Brute > \frac{LB_{N^{\circ}programme}}{2}$, Alors $Donnée\ Traitée = Donnée\ Brute$;
 - o Si $Donnée\ Brute < \frac{LB_{N^{\circ}programme}}{2}$, alors $Données\ Traitée = \frac{LB_{N^{\circ}programme}}{2}$
- Pour les données supérieures à la **limite Haute (LH)** ;
 - o Remplacement de la valeur par la limite haute ou la valeur médiane du pilote considéré si cette valeur médiane est supérieures à la limite haute.

Le Tableau 12 synthétise pour l'ensemble des analyses réalisées sur les eaux brutes et en fonction des programmes utilisés, le nombre de valeurs N-NH₄ « Hors gamme », les moyennes de ces données et le pourcentage de non-conformité associé.

Tableau 12 – Gestion des concentrations « Hors gamme » - Eau Brute

	PARAMETRE EAU BRUTE	
	N-NH ₄ ⁺	
Programme N° (Gamme de mesure mg/L)	Programme 302 < 47 mg/L (LB)	Programme 303 > 47 mg/L (LH)
Nb. Donnée Brute HG	6	2
Moy. Donnée Brute HG (mg/L)	34	67
Nb. Données Brute < LB/2	1	-
Non-conformité (%)	10	3

Dans le cadre des mesures réalisées sur l'eau brute, le traitement des données est mené uniquement sur le paramètre ammonium. Les concentrations sont inférieures à la limite basse du programme 302 (< 47 mg/L) à 6 reprises et supérieures à la limite haute du programme 303 à 2 reprises (> 47 mg/L). Sur l'ensemble du jeu de données (n=61) 21% sont donc « Hors-gamme » et 5 % font l'objet d'un ajustement.

Le Tableau 13 synthétise pour l'ensemble des analyses réalisées sur les eaux traitées les limites de concentrations (propre à chaque programme analytique), le nombre de valeurs DCO, N-NH₄ et N-NO₃ « Hors gamme », les moyennes des données hors gamme et le pourcentage de non-conformité associé.

Tableau 13 – Gestion des concentrations « Hors gamme » - Eau Traitée

	PARAMETRES EAU TRAITEE						
	DCO	DBO5*	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻	
Limite des programmes (mg/L)	< 50 (LB)	<5 (LB)	< 2 (LB)	< 47 (LB)	> 47 (LH)	< 5 (LB)	> 35 (LH)
Nb. Donnée Brute HG	24	4	3	1	2	45	6
Moy. Données Brutes HG (mg/L)	33	-	1	27	68	-	43
Moy. Données réajustées (mg/L)	25	5	2	27	35	5	35
Nombre Données réajustées	4	4	3	0	2	45	6
Non-conformité (%)	36	31	5	2	3	76	10

*Limite Pasteur - NF EN 1899-1

D'après le Tableau 13, des valeurs « Hors-gamme » sont à signaler pour les paramètres DCO, N-NH₄⁺ et N-NO₃⁻.

- Sur l'ensemble du jeu de données pour le paramètre DCO, 4 valeurs sont inférieures à la $\frac{LB_{N^{\circ}614}}{2}$ (< 25 mg/L) et ont donc été réajustées.
- Pour le paramètre DBO₅, analysés par l'Institut Pasteur, 4 valeurs sont inférieures à la limite basse et sont remplacées par 5 mg/L.
- Sur l'ensemble du jeu des concentrations en ammonium, environ 10% sont hors gamme et 3 % sont réajustées. Pour l'ammonium, les 3 données inférieures à la limite basse de 2 mg/L sont remplacées par 2 mg/L. Aussi, les concentrations supérieures à la limite haute (47 mg/L) sont respectivement remplacées par les valeurs médianes associées aux différents pilotes ;
- Enfin, l'objectif du suivi de la concentration en nitrates étant d'établir la présence ou non d'une nitrification, toutes les valeurs supérieures à la limite haute (soit 10% du jeu de données) sont ajustées à 35 mg/L et à 5 mg/L pour celles inférieures à la limite basse. Cet ajustement n'a par ailleurs aucun impact sur le calcul des rendements ou d'une charge traitée, le suivi n'ayant été réalisé que sur l'eau traitée.

Finalement, le Tableau 14 présente l'ensemble des bilans pour lesquels les données ont été réajustées. On notera que les corrections réalisées favorisent potentiellement les performances uniquement sur 2 bilans (BOU 171 et NAC 1) pour la nitrification.

Tableau 14 – Synthèse Données Réajustées

Bilan	Paramètre	EAU BRUTE		EAU TRAITEE	
		Données Brutes	Données réajustées	Données Brutes	Données réajustées
BOU 171	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	-	-	56	25
BOU 171	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	-	-	38	35
BOU 174	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	-	-	43	35
BOU 175	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	87	70	-	-
BOU 175	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	-	-	39	35
KHO 174	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	48	43	-	-
KHO 274 à 277	DCO (mg/L)	-	-	23	25
				15	
				17	
				24	
LAC 174	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	-	-	79	44
NAC 1	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	-	-	39	35
NAC 1	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	15	24	<2	2
NAC 171	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	-	-	51	35
NAC 172	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	-	-	<2	2
NAC 172	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	-	-	46	35
NAC 173	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	-	-	<2	2

* Toutes les données en N-NO₃⁻ < 5 mg/L sont équivalentes à 5 mg/L

IV. Résultats

IV.1 Caractérisation des effluents bruts

Les données obtenues lors de ces campagnes de suivis ont permis de caractériser les effluents bruts domestiques en ANC dans les DOM comparées aux valeurs obtenues lors des études portant sur l'ANC dans l'hexagone.

Les caractéristiques des effluents bruts sont synthétisées dans le Tableau 15 et comparées aux valeurs types connues à ce jour.

Tableau 15 – Comparaison des concentrations aux valeurs types

	mg/L	DCO	DBO5	MES	NTK	N-NH4+
ANC GUYANE (présente étude)	Moyenne	825	363	265	83	55
	MAX¹	1 776	828	447	122	108
	MAX²	1456	683	414	112	82
	MIN¹	158	178	80	47	2025
	MIN²	341	179	135	47	
	Ecart-type	354	193	110	26	19
CV³	43%	53%	42%	31%	35%	
ANC Hexagone (Olivier et al., 2019) <i>Jeu de données complet</i>	Moyenne	1 212	514	544	128	81
	MAX¹	5 817	3 380	54	555	254
	MIN¹	126	37	3 200	15	4
	CV³	66%	75%	80%	59%	60%

¹Jeu de données complet

²Utilisation des percentiles 5 et 95 comme limite

³Coefficient de Variation

En comparant les valeurs de DCO et DBO5 obtenues à celles mesurées dans l'étude ANC *in-situ* dans l'hexagone (Olivier et al., 2019), on retrouve des EUB nettement moins concentrées en moyenne (825 mg/L contre 1 212 mg/L) et une variation de concentration de plus faible amplitude pour les foyers étudiés en Guyane. La même tendance est observée en ce qui concerne les concentrations des paramètres restants et leur variabilité.

Tableau 16 - Ratios caractéristiques des eaux usées brutes

		DCO/DBO5	MES/DCO	N-NH4/NTK
ANC GUYANE (présente étude)	Moyenne	2,58	0,36	0,73
ANC Hexagone (Olivier et al., 2019)	Moyenne	2,3	0,38	0,6

En ce qui concerne les ratios caractéristiques obtenus dans la présente étude, ils sont cohérents avec ceux que l'on retrouve dans la bibliographie, comme le montre le Tableau 16 ci-dessus.

IV.2 Caractérisation des charges appliquées

IV.2.1 Charges hydrauliques

Les charges hydrauliques (lame d'eau en cm/j), déterminées au regard des volumes appliqués et des surfaces de filtration, sont synthétisées dans le Tableau 17.

Le calcul des charges permet ainsi de considérer la réduction de la surface des lits réalisées lors de certaines campagnes de mesures dans le but d'augmenter les charges appliquées au lit filtrant alimenté :

- BOU171-177 - (de 5 à 3,3 m²) ;
- KHO 173-175 et KHO 271-277 - (de 2,5 à 1,7 m²) ;
- NAC 171-177- (de 3 à 1,5 m²).

Enfin, étant donné que les mesures en entrée n'ont pas été effectuées sur les filières gravitaires, le Tableau 17 présente uniquement les charges appliquées (cm/j) pour la filière INSAT et la filière INSAT/SAT alimentées par bâchées. L'ensemble du jeu de données est finalement présenté à l'échelle de l'ensemble des FPV.

Tableau 17 – Charges hydrauliques appliquées par filière

	Moyenne	Borne supérieure	Borne inférieure	Ecart-type
Filière INSAT/SAT (LAC, KHO)				
Volume journalier entrée (L/j)	514	989	132	154
Lame d'eau (cm/j)	25	58	8	9
Filière INSAT (BOU, LAC2, NAC, SAN)				
Volume journalier entrée (L/j)	570	1982	240	377
Lame d'eau (cm/j)	23	42	7	11
Filières FPV				
Volume journalier entrée (L/j)	530	1982	132	239
Lame d'eau (cm/j)	25	58	7	10

Une sous-charge hydraulique moyenne est observée, par rapport à la référence de 37 cm/j de lame d'eau (Lombard-Latune, 2017). Des différences notables sont liées aux différences des usages par famille et par jour, mais aussi, aux différentes bases de dimensionnement des pilotes.

D'autres paramètres externes comme la pluviométrie (pilote SAN a été marqué par un événement pluvieux significatif de 53,2 mm de pluie cumulée) ont pu induire des résultats de bilan représentatif de conditions exceptionnelles. La pluie peut en effet induire des charges hydrauliques importantes drainées par le massif filtrant ce qui implique une interprétation particulière des résultats épuratoires à associer avec une dilution certaine des effluents. L'évènement a en outre permis de juger de la robustesse du système face à une surcharge hydraulique plausible en contexte climatique tropical.

La lame d'eau quotidienne apportée sur les filtres reste malgré tout sous la limite des 75 cm/j pour maintenir une nitrification en milieu tempéré. (Prost-Boucle, Molle, 2012 et Lombard-Latune 2017)

IV.2.2 Charges organiques

Afin de pouvoir comparer les performances des différentes filières, les charges surfaciques appliquées ont été calculées et synthétisées dans le tableau 18.

Tableau 18 - Charges surfaciques appliquées à l'échelle de chaque filière

Filière	Paramètre	Charge appliquée (g/m ² /j)				
		Moyenne	Maximum	Minimum	Ecart-type	CV
INSAT/SAT	DBO5	76	148	29	43	57%
	DCO	197	338	33	75	38%
	MES	68	125	17	36	53%
	NTK	20	32	9	3	15%
	N-NH4	14	25	4	6	43%
INSAT	DBO5	89	131	59	37	42%
	DCO	149	281	60	57	38%
	MES	59	132	27	34	58%
	NTK	15	18	12	7	47%
	N-NH4	11	28	4	6	55%
FPV (INSAT/SAT & INSAT)	DBO5	79	148	29	40	51%
	DCO	183	338	33	73	40%
	MES	65	132	27	35	54%
	NTK	19	32	9	7	37%
	N-NH4	13	28	4	6	46%

Les valeurs retrouvées dans le tableau 18 révèlent que les charges reçues à l'échelle de la filière FPV sont en moyenne inférieures aux charges nominales de dimensionnement (cf. Tableau 4)

Entre les filières INSAT et INSAT/SAT, les charges appliquées sont en moyenne du même ordre pour toutes les fractions polluantes, avec moins de 30% d'écart en moyenne.

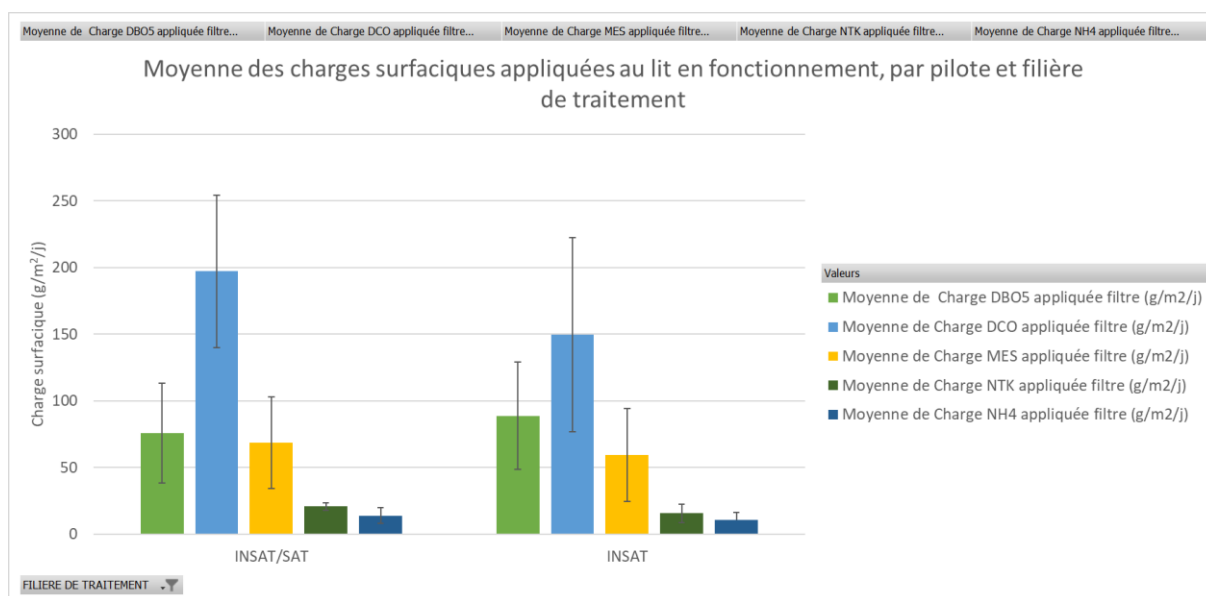


Figure 16 - Moyenne des charges surfaciques des différentes fractions polluantes par filière

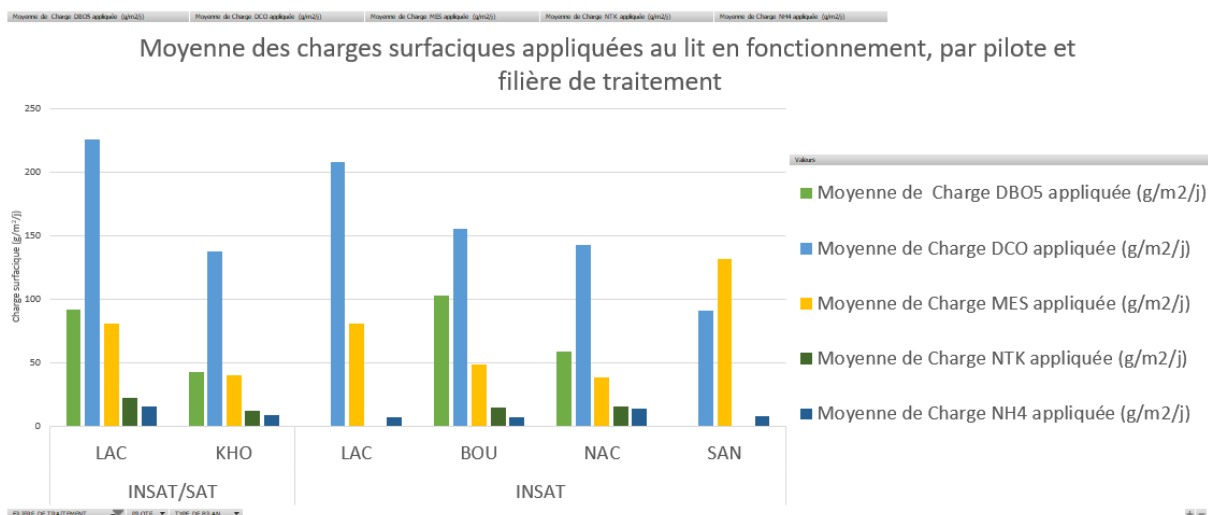


Figure 17 - Moyenne des charges surfaciques des différentes fractions polluantes appliquées aux pilotes

Une représentation plus détaillée (Figure 17) des charges appliquées par pilote au sein de chaque filière montre, cependant, une variabilité assez importante entre les pilotes. Ces variations entre les sites et au sein d'un même site sont liées à la fréquentation des habitats et leurs variations inhérentes aux usages de l'eau dans la maison. KHO est particulièrement en sous-charge, avec un taux de charge moyen inférieur à 40% du taux charge nominal calculé, sur toutes les fractions polluantes. On note par ailleurs au sein même de la filière INSAT/SAT, des charges surfaciques deux fois plus importantes sur le pilote LAC que KHO. A l'échelle de la filière INSAT, les charges moyennes appliquées aux pilotes peuvent passer du simple au double pour la DCO (SAN et BOU).

IV.3 Performances des filières

L'objectif de cette dernière partie est de présenter les concentrations obtenues en sortie de traitement et les rendements épuratoires des filières INSAT et INSAT/SAT confrontés aux charges appliquées par m² de filtre alimenté pour les paramètres réglementaires (DCO, DBO₅ et MES) ainsi que la pollution azotée. Les concentrations en polluants des eaux usées appliquées aux filtres gravitaires INSAT GRAV n'ayant pas pu être mesurées, la filière INSAT n'est représentée ici que par les résultats obtenus pour les filtres insaturés alimentés par bâchée.

IV.3.1 Concentrations en sortie de traitement

Le Tableau 19 présente les concentrations des eaux mesurées en sortie des ouvrages et sont comparées à celles issues du suivi *in situ* des dispositifs végétalisés (Boutin & Olivier, en 2017), à l'échelle de l'ANC sur l'hexagone;

Tableau 19 – Caractéristiques des eaux en sortie par FPV toutes filières confondues : comparaison du suivi in situ en Guyane et Métropole

mg/L	PARAMETRES				
	DCO	DBO5	MES	NTK	N-NH4
Valeur seuils (mg/L)	< 200	< 35	≤ 30	< 90	≤ 85
Etude ANC Guyane 2019-2020					
Nombre d'analyses	66	13	25	11	66
Moyenne (mg/L)	78	18	21	31	31
MIN (mg/L)	25	5	2	3	2 (LD)
Percentile 95 (mg/L)	156	43	66	46	49
MAX (mg/L)	289	44	150	47	72
Ecart-type (mg/L)	53	16	31	13	15
Etude ANC 2017 (Boutin & Olivier) (Tableau 101. P138)					
Nombre d'analyses	126	88	126	121	122
Moyenne (mg/L)	62	6	8	24	21
MIN (mg/L)	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ
MAX (mg/L)	271	64	42	101	94

On notera que parmi les valeurs maximales obtenues lors de la présente étude, le paramètre NTK affiche dans certains cas une valeur inférieure à celle du N-NH4 (47 et 72 mg/L respectivement dans le tableau ci-dessus). Cela est dû au fait que le paramètre NTK n'a pas été mesuré à chaque bilan, contrairement au N-NH4.

A l'échelle de la filière FPV, on note des concentrations moyennes en paramètres polluants largement inférieures aux valeurs seuils. Sur les 66 analyses réalisées sur le paramètre DCO, le taux de conformité est de **97 %**. Sur les 13 analyses réalisées sur le paramètre DBO₅, **77 %** sont conformes. Enfin, pour le paramètre MES, le taux de conformité est de **88 %**, pour 25 analyses réalisées. Il est intéressant d'observer que les valeurs moyennes ainsi que les valeurs maximales des différents paramètres sont cohérentes avec les valeurs issues de l'étude ANC Boutin (toutes proportions gardées étant donné le nombre double de données).

Le Tableau 20 présente les concentrations des eaux en sortie de station à l'échelle des **différentes** configurations de traitement (INSAT/SAT, INSAT et GRAV), afin d'identifier l'origine des **non-conformités** et les **bilans déclassants**.

Tableau 20 - Caractéristiques des eaux en sortie de dispositif : synthèse par type de filière

	PARAMETRES				
	DCO	DBO ₅	MES	NTK	N-NH ₄ ⁺
Configuration INSAT/SAT (mg/L)					
Nombre d'analyses	44	9	13	8	44
MIN	25	5	2	20	11
Moyenne	62	14	11	35	35
MAX	159	43	28	47	52
Ecart-type	36	16	31	13	15
Configuration INSAT (mg/L) – (*) données Bilan déclassant (BOU 173)					
Nombre d'analyses	18	3	8	3	18
MIN	25	5	4	3	2
Moyenne <i>(avec et sans (*) bilan déclassant)</i>	99 <i>91(*)</i>	20 <i>14(*)</i>	14 <i>10(*)</i>	21 <i>11(*)</i>	18 <i>18(*)</i>
MAX <i>(avec et sans (*) bilan déclassant)</i>	226 <i>153(*)</i>	32 <i>23(*)</i>	47 <i>25(*)</i>	41 <i>20(*)</i>	72 <i>72*</i>
Ecart-type	55	14	15	19	18(*)
INSAT GRAV (mg/L) – (**) données Bilan déclassant (CAT 1)					
Nombre d'analyses	4	1	4	0	4
MIN	89	44(**)	11	-	16
Moyenne <i>(avec et sans (**) bilan déclassant)</i>	167 <i>126(**)</i>	44 <i>44(**)</i>	63 <i>34</i>	-	39 <i>37</i>
MAX <i>(avec et sans (**) bilan déclassant)</i>	289 <i>157(**)</i>	44 <i>44(**)</i>	150 <i>71(**)</i>	-	61 <i>37(**)</i>
Ecart-type	86	-	64	-	19

D'après les données présentées par filière on peut noter :

- Pour la filière INSAT/SAT, les concentrations moyennes en DCO, DBO₅ et MES sont largement inférieures aux valeurs seuils. Une valeur maximale fait exception pour la DBO₅ (43 mg/L-LAC). A l'inverse, de très faibles concentrations, à hauteur de la limite de détection basse, sont atteintes pour cette filière. A ce stade de la « maturation » des filtres au moment des mesures (mise en service récente, absence de boues retenues en surface), l'azote entrant, sous les formes NTK et NH₄, est nitrifié très partiellement (respectivement, 56% et 36% de rendements épuratoires moyens).
- Pour la filière INSAT, alimentée par bâchée, des concentrations moyennes en DCO, DBO₅ et MES sont légèrement supérieures à celles observées pour la filière INSAT/SAT. Ces dernières restent tout à fait satisfaisantes. Seules, les concentrations en DCO et MES d'un bilan BOU sont supérieures aux objectifs (à noter qu'il s'agit du bilan, tous bilans confondus, pour lequel la concentration entrante en DCO a été la plus significative (1 776 mg/L DCO) avec une charge surfacique maximale de **281 g DCO/m²/j**. Au-delà de ce phénomène de concentration entrante particulièrement élevée ce jour et de cette charge surfacique importante liée au cloisonnement aménagé dans le lit alimenté, il semblerait que les piétinements du lit, qui n'ont pu être évités pour installer le cloisonnement, auraient engendré l'infiltration et le drainage de matières organiques et de MES dans le massif jusqu'au rejet. La remarque est importante car il ne serait pas juste de considérer la charge surfacique correspondante comme excessive mais plutôt de signifier qu'une intervention ponctuelle d'exploitation sur le lit est susceptible de générer une perturbation du traitement sur une filière insaturée. Il est à noter que la suppression de ces données issues du bilan BOU 173 (*) engendre une diminution des valeurs maximales en DCO et MES respectivement à hauteur de 153 mg/L et 25 mg/L, ce qui les rapproche de près des valeurs observées en INSAT/SAT.

A titre de comparaison, on note aussi que la concentration maximale observée en sortie de **159 mg/L** en DCO pour la filière INSAT/SAT correspond à une charge appliquée en entrée de **232 g/m²/j** (LAC 271) ce qui largement comparable à la charge obtenue de **220 g/m²/j** (NAC 177) qui a généré la concentration maximale en sortie de la filière INSAT de **153 mg/L**.

- Pour la filière INSAT GRAV, alimenté au fil de l'eau sans bâchée, des concentrations maximales en sortie de **289 mg/L** en DCO et **150 mg/L** en MES sont observées. Sans prendre en compte la valeur déclassante de DCO, la moyenne des résultats respecte la valeur seuil de 200 mg/L alors que ces résultats déclassants ont été obtenus lors d'un bilan de pollution représentatif du fonctionnement d'un filtre (CAT), jusque-là peu entretenu avec même le défaut d'alternance des vannes depuis plus d'un mois (et un colmatage apparent du lit). Comparativement, le second bilan opéré sur le même filtre a été réalisé ultérieurement dans des conditions normales de fonctionnement (alternance 1 fois par semaine) : les résultats sont bien plus satisfaisants (DCO max inférieure au seuil de 200 mg/L) néanmoins, la concentration en MES sortante reste élevée.

Pour conclure sur ces résultats, la filière INSAT/SAT garantit les concentrations moyennes en paramètres polluants les plus faibles, respectivement de 62, 14 et 11 mg/L pour la DCO, la DBO₅ et les MES. La filière INSAT, (hors bilan déclassant), s'aligne avec des concentrations en sortie équivalentes à l'exception de la DCO plus élevée, de l'ordre de 100 mg/L (mais avec beaucoup moins d'analyses réalisées). Pour ce qui concerne l'abattement de la pollution azotée, la configuration INSAT semble présenter de meilleures conditions de nitrification et ainsi des concentrations de sortie en NTK et NH₄ inférieures à la filière INSAT/SAT. Il doit être cependant déterminé qu'elles sont les raisons qui expliquent ces différences de niveau d'oxydation de l'azote entrant parmi les paramètres suivants : âge des filtres, épaisseur couche de boues, granulométries filtrantes différentes, etc

Concernant la filière INSAT GRAV, on peut voir que l'absence de bâchée (même mécanique sans électricité) est préjudiciable au fonctionnement optimal du filtre. La répartition inégale de l'effluent à la surface et l'absence de phénomène de convection altèrent très nettement et sans surprise les performances de la filière.

IV.3.2 Performances de la filière : paramètres réglementaires

- **Comparaison des performances entre les configurations INSAT/SAT et INSAT**

Les performances à l'échelle de l'ensemble de la filière par filtre planté et le détail des deux configurations sont synthétisés dans le Tableau 21 ci-dessous.

Tableau 21. Paramètres réglementaires : charges surfaciques appliquées et rendements associés à l'échelle de la filière FPV et détails par configurations

Filière	Paramètre	Concentration en sortie (mg/L)				Rendements (%)	
		Moyenne	Maximum	Minimum	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
FPV (INSAT/SAT & INSAT)	DBO5	18	44	5	16	96 %	3 %
	DCO	78	289	25	53	90 %	9 %
	MES	21	150	2	31	95 %	14 %
INSAT/SAT	DBO5	14	43	5	16	96 %	3 %
	DCO	62	159	25	36	91 %	7 %
	MES	11	28	2	31	95 %	5 %
INSAT	DBO5	20	32	5	14	96 %	1 %
	DCO	99	226	25	55	86 %	10 %
	MES	14	47	4	15	95 %	4 %

Quelque soit la filière, les rendements épuratoires dépassent ou flirtent avec les 90% quelques soient les paramètres concernés. Seul le rendement moyen en DCO se trouve un peu en retrait pour la filière INSAT.

Les Figure 18 à Figure 20 présentent les charges traitées en fonction des charges appliquées sur le lit en fonctionnement, ce qui permet d'évaluer la qualité du traitement, à l'échelle des deux configurations testées : INSAT et INSAT/SAT.

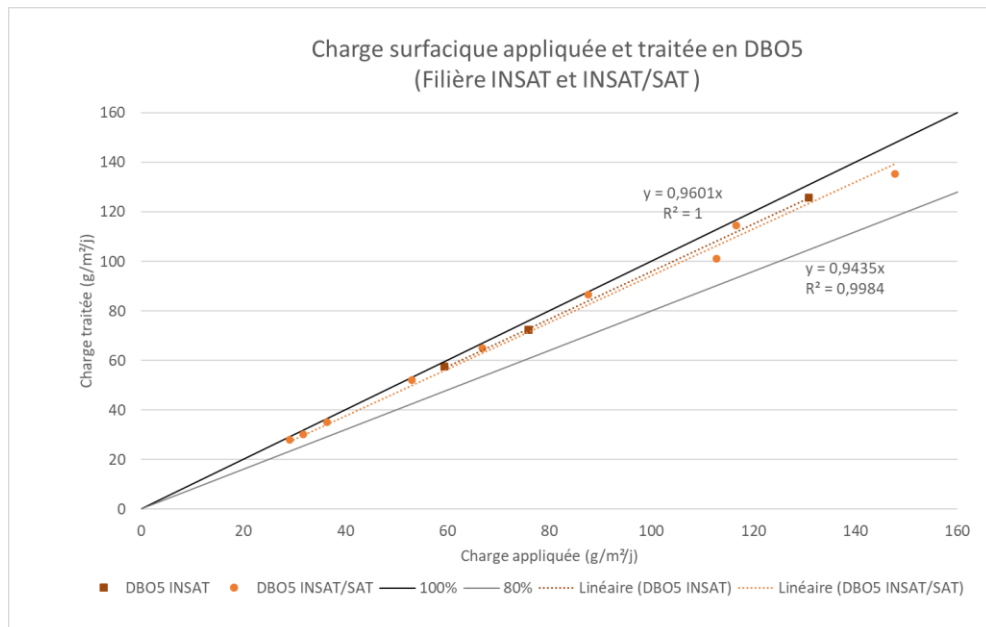


Figure 18 - Charge surfacique appliquée et traitée en DBO5 pour les deux configurations de FPV

De la plus faible à la plus forte charge appliquée (148 g/m²/j), les rendements épuratoires en DBO₅ dépassent les 90% quel que soit la configuration INSAT ou INSAT/SAT.

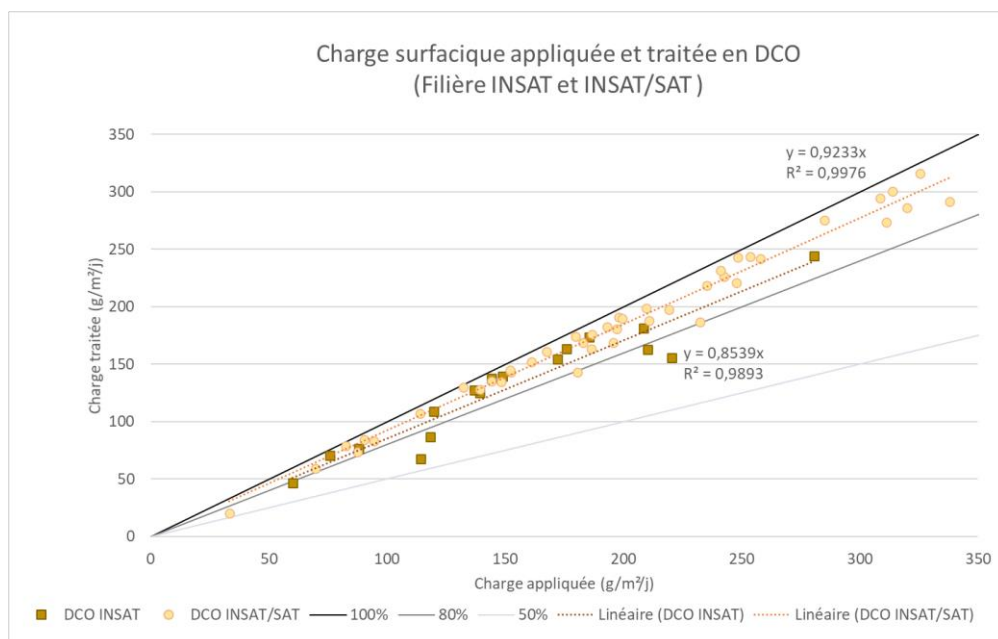


Figure 19 - Charge surfacique appliquée et traitée en DCO pour les deux configurations de FPV

Pour la DCO, 4 rendements épuratoires sur 66 (6%) se trouvent sous la barre des 80% et pour des charges appliquées variables entre 114 et 220 g/m²/j à la filière INSAT. Les résultats obtenus supérieurs à 90% pour des charges appliquées à la filière INSAT/SAT supérieures à 310 g/m²/j sont très rassurants sur la robustesse du système face à d'importantes et répétitives charges organiques à traiter.

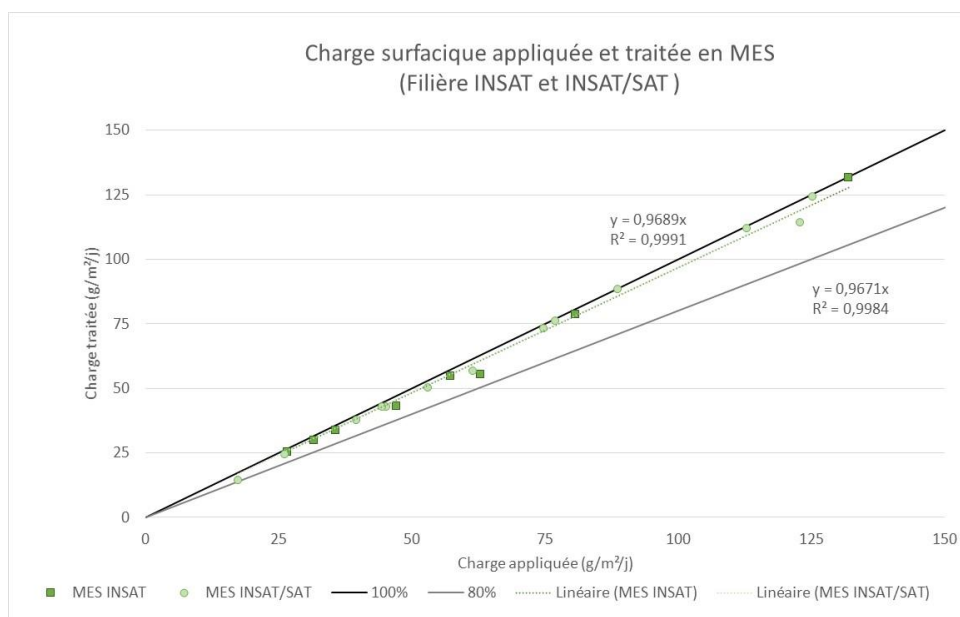


Figure 20 - Charge surfacique appliquée et traitée en MES pour les deux configurations de FPV

Jusqu'à 125 g/m²/j de MES appliquées au filtre INSAT/SAT, l'abattement des MES est très élevé (> 95%) stables y compris pour des charges supérieures à 100 g/m²/j . Les performances apparaissent équivalentes entre les 2 filières, mais il est à noter leurs disparités en termes d'ancienneté (nombre de jours depuis leur mise en service plus élevés pour les INSAT que les INSAT/SAT), d'épaisseur de la couche de dépôts en surface et de granulométrie filtrante (plus fine pour l'un des INSAT (2-4mm NACH) que les autres INSAT ou INSAT/SAT (4-6mm)).

- **Comparaison des performances au sein de la configuration INSAT/SAT**

Les performances de la filière INSAT/SAT et le détail des deux pilotes sont synthétisés dans le Tableau 22. La Figure 21 présente le détail des performances par bilans et les Figure 22 à Figure 24 présentent le détail des charges traitées au regard des charges appliquées.

Tableau 22. Paramètres réglementaires : charges surfaciques appliquées et rendements associés à l'échelle de la filière INSAT/SAT et détails par pilote

Filière	Paramètre	Concentration en sortie (mg/L)				Rendements (%)	
		Moyenne	Maximum	Minimum	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
LAC	DBO5	18	43	5	18	96 %	4 %
	DCO	74	159	29	37	92 %	5 %
	MES	11	28	2	8	96 %	3 %
KHO	DBO5	8	11	5	3	96 %	1 %
	DCO	36	72	15	17	91 %	10 %
	MES	16	25	10	8	90 %	7 %

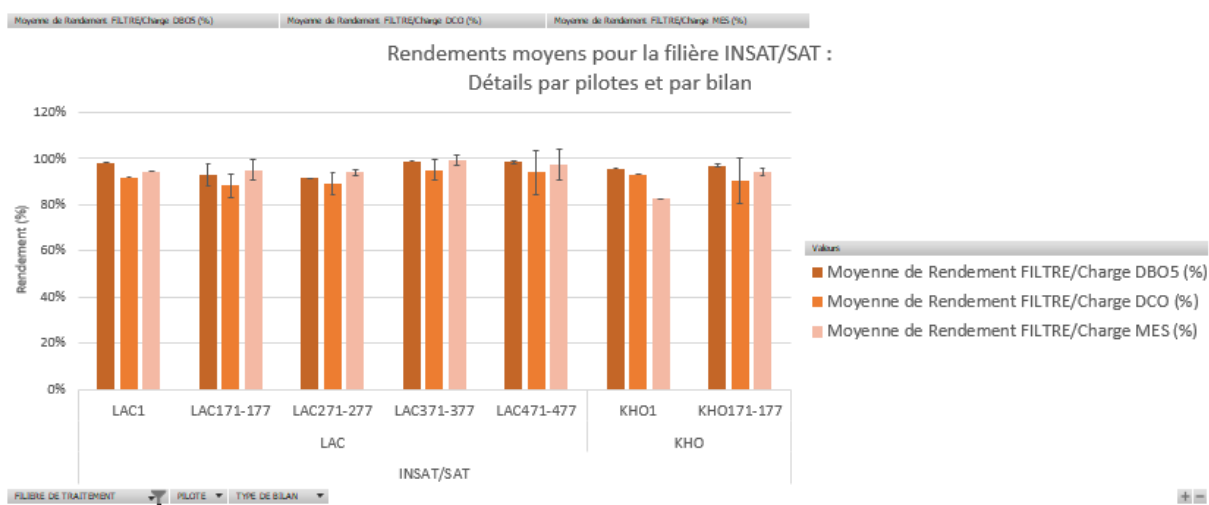


Figure 21 - Rendements moyens pour la filière INSAT/SAT : Détail par pilote et bilan

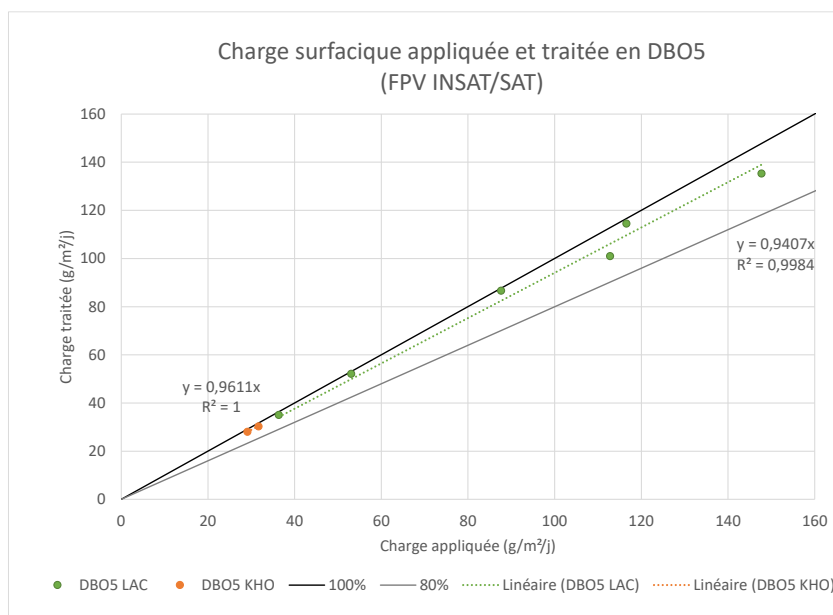


Figure 22 - Charge surfacique appliquée et traitée en DBO5 (INSAT/SAT)

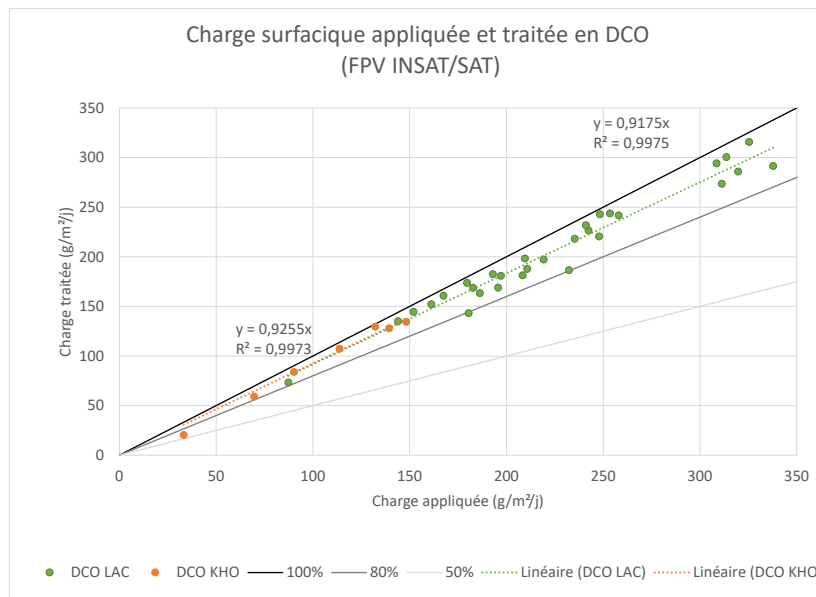


Figure 23 - Charge surfacique appliquée et traitée en DCO (INSAT/SAT)

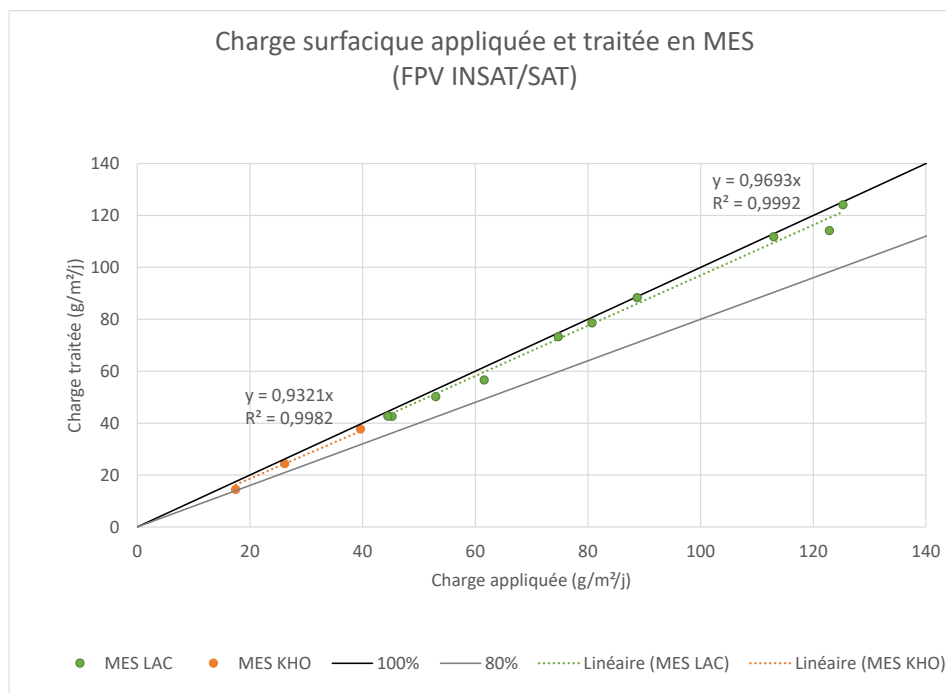


Figure 24 - Charge surfacique appliquée et traitée en MES (INSAT/SAT)

A l'échelle des deux pilotes INSAT/SAT, les rendements épuratoires sont excellents avec des rendements respectifs de **96, 91 et 95 %** pour les paramètres DCO, DBO₅ et MES et pour des charges respectives appliquées maximales de **338, 148 et 125 g/m²/j**.

Les charges appliquées aux deux pilotes sont donc toutes inférieures aux charges maximales admissibles (parfois proches du nominal). Les charges appliquées aux pilotes KHO sont en moyenne trois fois moins importantes que celles appliquées aux pilotes LAC, en dépit de la réduction de la surface du lit. Le pilote KHO a seulement été marqué par une légère surcharge hydraulique à l'occasion du bilan KHO 276, qui n'a donc entraîné aucun impact sur les rendements épuratoires.

La configuration INSAT/SAT présente des rendements importants et relativement stables sur l'abattement de la pollution organique et des matières en suspension (toujours au-dessus de 80%). Les exigences réglementaires sont satisfaites, en termes de rendements et de concentrations.

- **Comparaison des performances au sein de la configuration INSAT**

Parmi les filtres insaturés, deux étaient alimentés de façon gravitaire. A l'échelle de l'étude, ceux-ci ont fait l'objet du nombre le moins important de suivis : 4 bilans. Comme mentionné précédemment, cette configuration offre un avantage important par rapport à une alimentation par poste de relevage : elle est plus économique à l'installation et n'est pas consommatrice d'électricité. Néanmoins, comme évoqué en préambule, les résultats des filtres ne sont pas considérés ici dans les moyennes car même s'ils présentent des abattements non négligeables, les bilans demeurent déclassants pour l'ensemble de la filière INSAT (Il sera pertinent ultérieurement de les tester au moyen d'un système de bâchée mécanique et sans électricité pour des installations dont la déclivité du terrain l'autorise). Ci-après, seuls les rendements associés aux pilotes (BOU, NAC et LAC) sont présentés.

Tableau 23. Paramètres réglementaires : concentrations en sortie de traitement et rendements associés à l'échelle de chaque pilote

Filière	Paramètre	Concentration en sortie (mg/L)				Rendements (%)	
		Moyenne	Maximum	Minimum	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
BOU	DBO5	28	32	23	6	96 %	1 %
	DCO	116	226	60	3	86 %	6 %
	MES	27	47	10	19	95 %	3 %
NAC	DBO5	5	-	-	-	97 %	-
	DCO	87	153	25	59	81 %	13 %
	MES	6	8	4	2	95 %	1 %
SAN	DBO5	-	-	-	-	-	-
	DCO	37,1	-	-	-	97 %	-
	MES	6	-	-	-	100 %	-
LAC	DBO5	-	-	-	-	-	-
	DCO	117	-	-	-	87 %	-
	MES	9	-	-	-	97 %	-

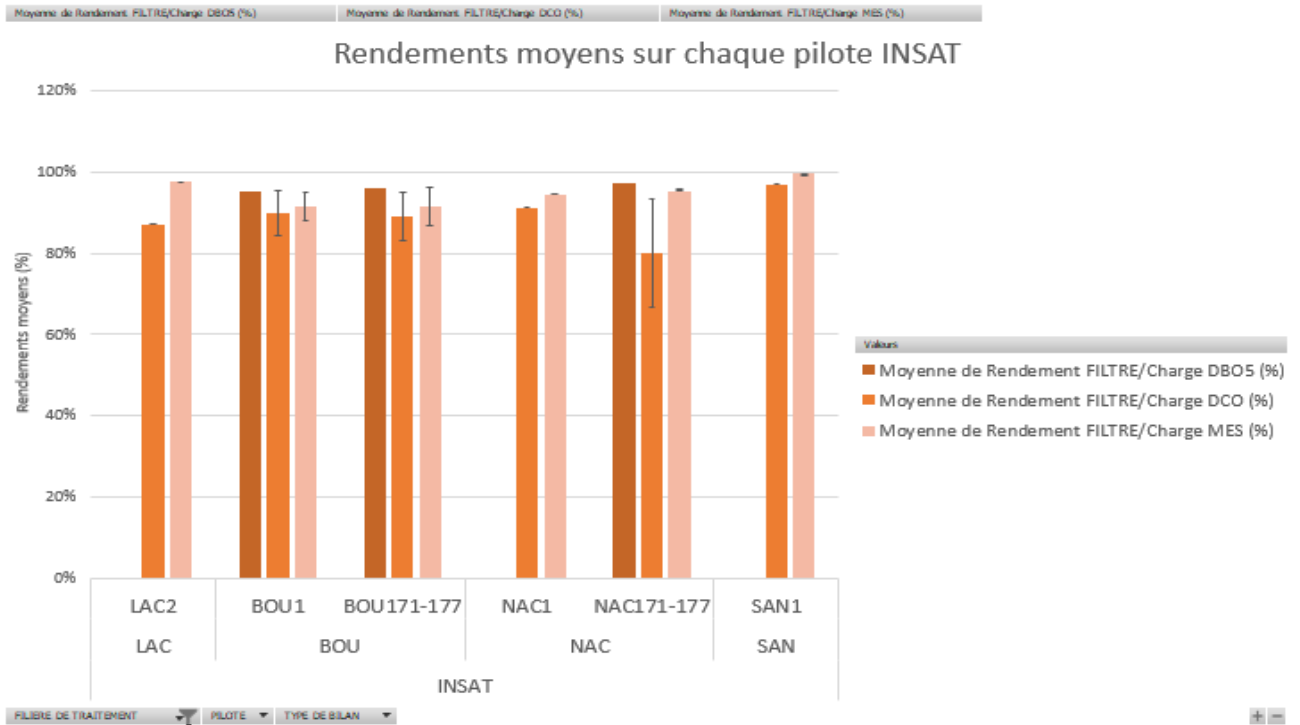


Figure 25 - Rendements moyens sur chaque pilote

Pour les dispositifs INSAT, les rendements épuratoires sont plutôt satisfaisants avec plus de 81% d'abattement en moyenne pour la DCO et plus de 95% d'abattement pour la DBO₅ et les MES.

Afin d'affiner la comparaison de performances entre les pilotes de la filière INSAT, les Figure 26 et Figure 27 présentent les charges traitées en fonction des charges appliquées sur le lit en fonctionnement des pilotes.

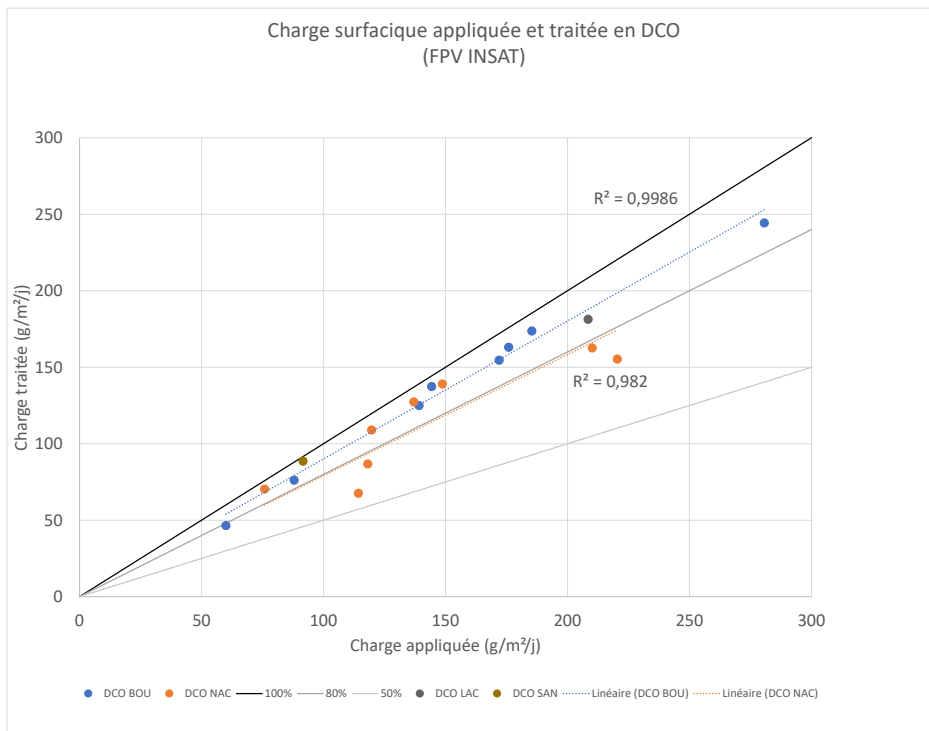


Figure 26 - Charge surfacique appliquée et traitée en DCO (FPV INSAT – BOU, NAC, LAC et SAN)

Le pilote BOU semble présenter plus de linéarité dans les résultats > 80% et jusqu'à une charge appliquée dépassant les 280 g/m²/j. Néanmoins, il est à noter que le pilote NAC reçoit à peu près le triple de charge hydraulique par jour mais qui reste dans les standards admissibles (< 40 cm/j). Nous voyons que des résultats épuratoires satisfaisants sont obtenus jusqu'à des charges appliquées de DCO proches des charges nominales.

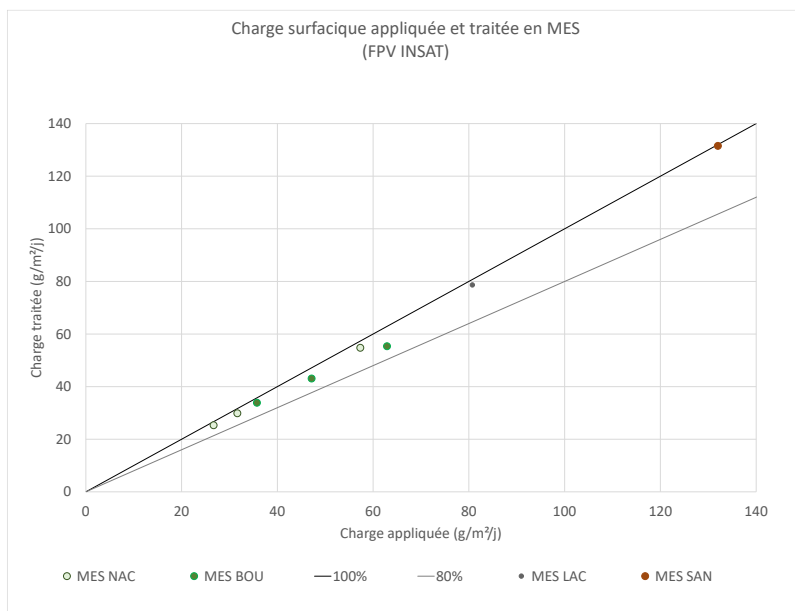


Figure 27 - Charge surfacique appliquée et traitée en MES (FPV INSAT - BOU, NAC, LAC et SAN)

Les MES font l'objet du plus petit nombre d'analyses. La valeur la plus élevée (à 130 g/m²/j) est le reflet d'un phénomène isolé obtenu lors d'un bilan réalisé par temps pluvieux avec un taux de remplissage hydraulique de 165%. Ce résultat est à considérer car ces épisodes pluvieux intenses ne sont pas rares en Guyane et cette performance épuratoire va dans le sens d'une résilience importante du filtre en cas de surcharge hydraulique.

On peut noter que les résultats épuratoires moyens sont élevés (95% en moyenne) avec une régularité plus linéaire pour le dispositif NAC qui fait l'objet d'une granulométrie filtrante plus fine (2/4mm) que celle du dispositif BOU (4/6mm). De même, l'ancienneté de NAC étant plus élevée que celle de BOU, on peut penser que la couche de dépôts déjà accumulés favorise davantage la rétention de MES que sur un filtre jeune.

IV.3.3 Performances de la filière : paramètres azotés

- **Performances toutes configurations confondues**

Le *Tableau 24* présentent les performances pour les paramètres azotés, à l'échelle des FPV et des deux configurations INSAT/SAT et INSAT.

Tableau 24. Paramètres azotés : concentrations en sortie de traitement et rendements associés à l'échelle de la filière FPV et détails par configurations

Filière	Type de charge	Concentration en sortie (mg/L)				Rendements (%)	
		Moyenne	Maximum	Minimum	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
FPV	NTK (g/m ² /j)	31	47	3	13	45 %	27 %
	N-NH ₄ (gN/m ² /j)	31	72	2	15	63 %	18 %
INSAT/SAT	NTK (g/m ² /j)	35	47	20	13	56 %	15 %
	N-NH ₄ (g/m ² /j)	35	52	11	10	36 %	16 %
INSAT	NTK (g/m ² /j)	21	41	3	19	78 %	15 %
	N-NH ₄ (gN/m ² /j)	23	72	2	20	65 %	35 %

Le rendement épuratoire sur l'azote ammoniacal est de l'ordre de 63 % en moyenne sur l'ensemble des filières confondues mais il est assez discordant entre les deux types de filières et au sein même de la filière INSAT qui obtient 65% de rendement moyen mais avec un écart-type important. On peut noter encore une fois que l'abattement de l'azote NTK et N-NH₄ est plus poussé au niveau des filières INSAT qu'INSAT/SAT.

Les Figure 28 et Figure 29 présentent le détail par filière des charges traitées au regard des charges appliquées.

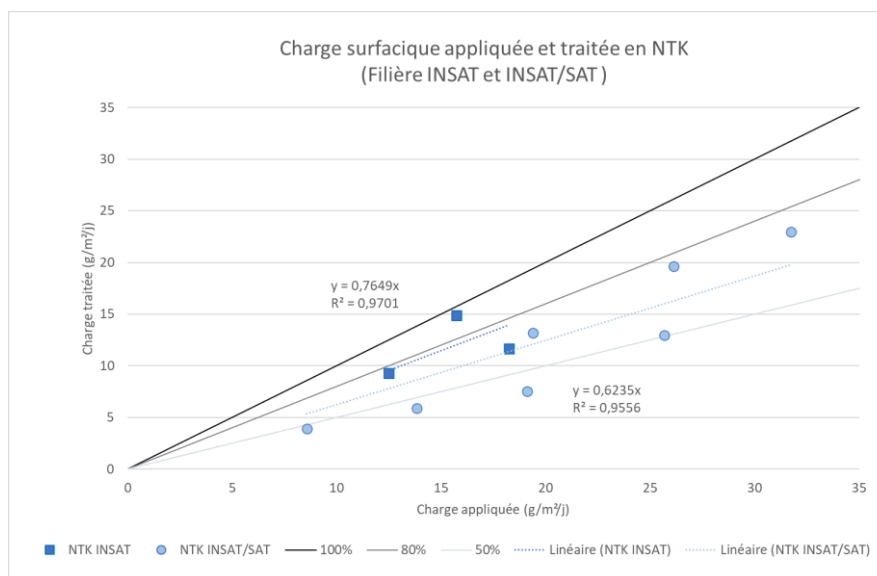


Figure 28 - Charge surfacique appliquée et traitée en NTK, par filière

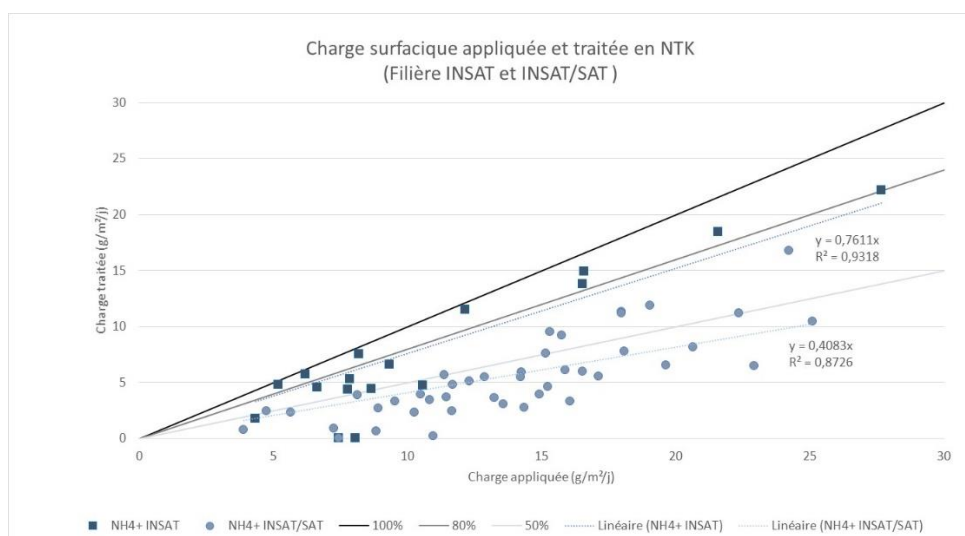


Figure 29 - Charge surfacique appliquée et traitée en N-NH4

Le nombre considérable de points de mesures en N-NH₄ conforte l'analyse précédente sur :

- La variabilité des rendements pour les INSAT avec une tendance à la linéarité de l'abattement de 75% du NH₄⁺ pour le dispositif INSAT le plus ancien et de granulométrie la plus fine ;
- Les niveaux d'abattement en retrait pour les INSAT/SAT qui ont seulement quelques mois de fonctionnement depuis leur mise en service, et sont composés de couche filtrante en 4/6 mm.

● Comparaison des performances au sein des configurations INSAT

Le Tableau 25 présente les données relatives à la pollution azotée avec les concentrations en sortie de traitement pour les pilotes BOU et NAC.

Tableau 25. Paramètres non réglementaires : concentrations en sortie de traitement et rendements associés à l'échelle de chaque pilote

Filière	Type de charge	Concentration en sortie (mg/L)				Rendements (%)	
		Moyenne	Maximum	Minimum	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
NAC	NTK (g/m ² /j)	2,6	-	-	-	94 %	-
	N-NH ₄ (gN/m ² /j)	6	13	2	4	89 %	5 %
BOU	NTK (g/m ² /j)	30	41	20	15	69 %	7 %
	N-NH ₄ (gN/m ² /j)	33	72	17	19	48 %	28 %

Le rendement de nitrification est très variable selon les filtres. Le filtre NAC est celui qui présente le meilleur taux de nitrification, suivi par BOUL.

Sur le dispositif NAC, la campagne de 7 jours met en évidence des rendements épuratoires de 95% sur les formes azotées les premiers jours de l'alimentation du filtre. Sans alternance, on observe une altération de la nitrification au fil des jours mais pour se maintenir tout de même à 80% de rendement épuratoire du le N-NH₄ au bout de 7 jours d'alimentation. Sur le dispositif BOU, le traitement de l'azote observé sur 7 jours consécutifs est beaucoup plus aléatoire et variable malgré un maintien constant à plus de 90% d'abattement de la pollution carbonée. Le rendement N-NH₄ fluctue sur ce filtre entre 40 et 68% et se maintient à 56% au bout de 7 jours d'alimentation. Nous retrouvons ici une variabilité de résultats au sein d'une même filière entre des filtres qui n'ont pas la même ancienneté ni les mêmes caractéristiques de granulométrie.

Le massif filtrant le plus ancien et le plus fin en surface (NAC) obtient les meilleurs résultats épuratoires sur les paramètres azotés alors qu'il a été observé précédemment que le traitement de la DCO a été plus performant sur BOU que sur NAC pour des charges appliquées assez comparables au niveau organique mais supérieures hydrauliquement pour NAC. Au regard des conditions climatiques favorables pour un démarrage rapide des bactéries nitrifiantes, il est probable que la granulométrie grossière soit le paramètre majeur responsable de moindres performances de nitrification (faible dépôt organique et rapide infiltration des eaux).

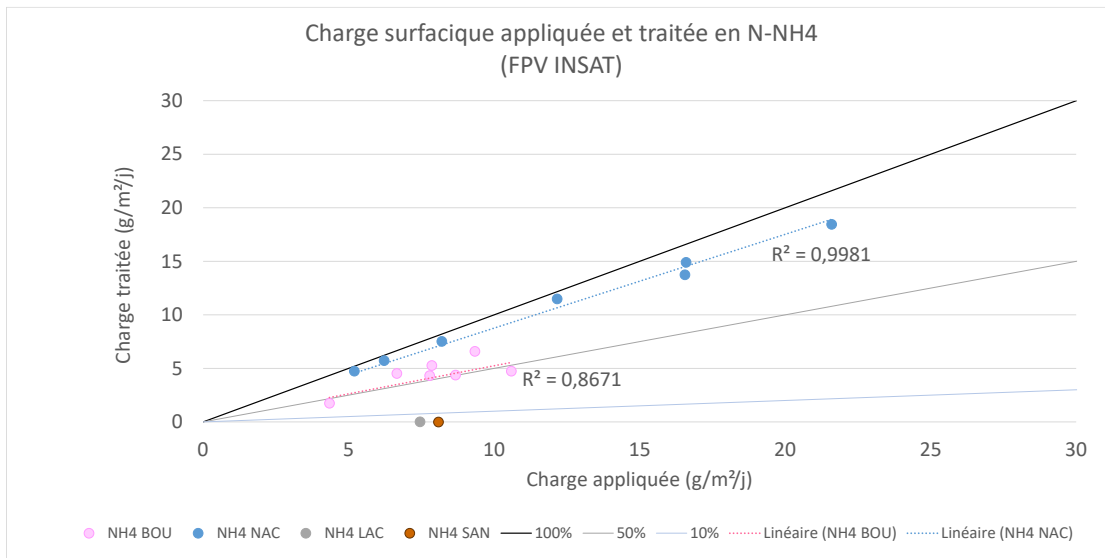


Figure 30 - Charge surfacique appliquée et traitée en N-NH4⁺ (FPV INSAT)

- **Comparaison des performances au sein de la configuration INSAT/SAT**

Le Tableau 26 présente les données relatives à la pollution azotées, avec les concentrations en sortie de traitement pour les pilotes LAC et KHO.

Tableau 26 Synthèse des concentrations en sortie de traitement et des rendements à l'échelle des Filtres plantés de végétaux INSAT/SAT (LAC et KHO)

Filière	Type de charge	Concentration en sortie (mg/L)				Rendements (%)	
		Moyenne	Maximum	Minimum	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
LAC	NTK (g/m ² /j)	38	47	28	7	58 %	16 %
	N-NH ₄ (gN/m ² /j)	40	52	24	7	39 %	16 %
KHO	NTK (g/m ² /j)	26	32	20	8	51 %	8%
	N-NH ₄ (gN/m ² /j)	25	34	11	8	30 %	16%

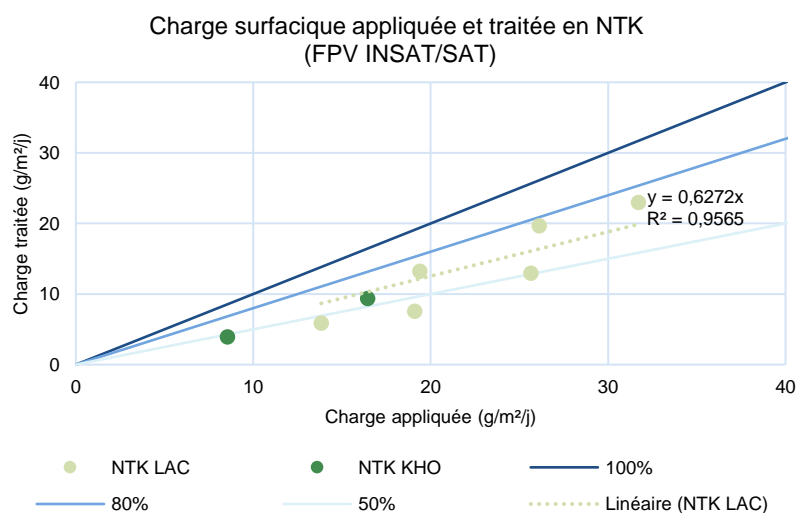


Figure 31 - Charge surfacique appliquée et traitée en NTK (INSAT/SAT)

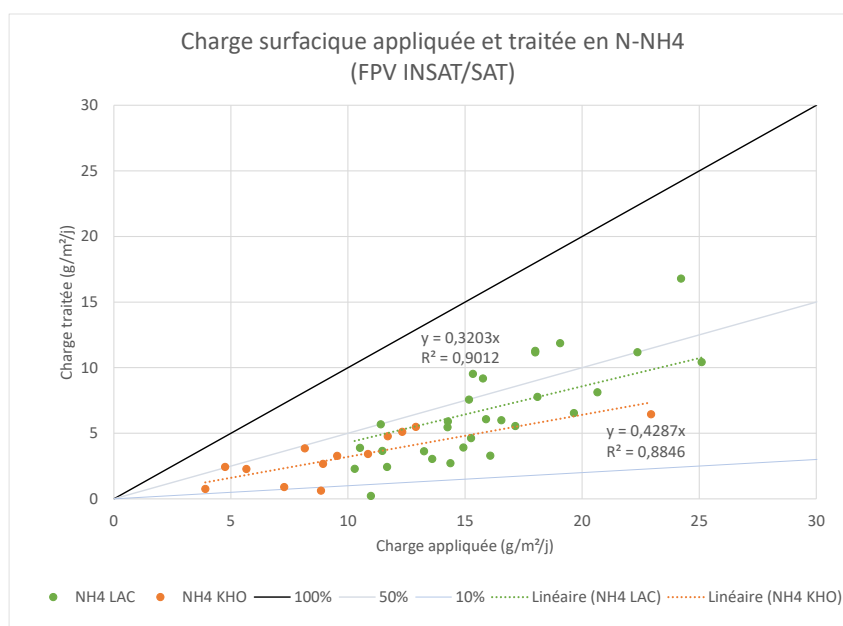


Figure 32 - Charge surfacique appliquée et traitée en N-NH4 (INSAT/SAT)

On observe une certaine homogénéité dans les résultats d'abattement des charges polluantes azotées entre LAC et KHO de l'ordre de 56 et 36% pour le NTK et le N-NH4, ce qui traduit un processus de nitrification encore peu efficace pour les deux dispositifs. Il est à noter, qu'à l'instar des charges organiques carbonées reçues (DCO), LAC reçoit et traite un flux beaucoup plus important que celui de KHO et la disparité des résultats épuratoires sur l'azote est plus grande sur LAC que sur KHO. Le filtre LAC a quelques mois de plus d'ancienneté seulement que KHO et d'autre part, la granulométrie de la couche filtrante s'avère légèrement plus fine pour KHO. Sans pouvoir différencier statistiquement les deux pilotes en terme de performances de nitrification, on observe tout de même des performances inférieures à celle attendues au regard des performances observées sur ceux même type d'ouvrage en assainissement collectif en milieu tropical. Une analyse plus fine serait nécessaire pour mieux comprendre les facteurs ayant produit cet effet.

IV.3.4 Classes de qualité des effluents traités

Pour rappel, différentes classes de qualité ont été définies (*Tableau 9*) au regard des performances obtenues par les différentes filières. Globalement, les filières étudiées sont classées « Acceptable » pour les paramètres polluants. Cela était pressenti dès la conception, la filière INSAT-GRAY présente des résultats en retrait voire « médiocre » pour les paramètres DBO₅ et MES mais des dispositifs n'ont pas été conçus avec les mêmes objectifs de performances, nous verrons pourquoi en conclusion du présent rapport.

Tableau 27. Répartitions des bilans par filière et classes de qualité

	DCO		DBO5		MES		
	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Inacceptable
INSAT/SAT	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Inacceptable
INSAT-BACHEE	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Inacceptable
INSAT-GRAY	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Inacceptable
TOTAL	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Acceptable	Médiocre	Inacceptable

V. Conclusions

L'étude présentée ici met en avant ici un savoir-faire local (ETIage Guyane) appuyé d'une expertise scientifique (INRAE Ex-Irstea) et de moyens financiers publics, régional (Office de l'Eau Guyane) et national (OFB), le tout en faveur de la mise en valeur d'une technique française (et de ses déclinaisons) de traitement des eaux usées adaptée pour le territoire Guyanais et de façon plus générale aux territoires d'Outre-Mer de la zone intertropicale. Comme évoqué, cette étude reprend des repères établis d'appréciation de la qualité des effluents : seuils de concentrations à ne pas dépasser dans le cadre de la procédure longue d'agrément des dispositifs d'ANC, complétés des classes de qualité de l'étude Boutin, 2017 qui fait référence en matière de suivi in situ des dispositifs ANC individuels.

L'objectif initial de cette étude était d'apporter des éléments concrets sur les performances des filtres plantés de végétaux tropicalisés, afin de faire évoluer un cadre réglementaire pour apporter des solutions adaptées à des territoires impactés par des systèmes de traitement défaillants.

Plusieurs enseignements sont apportés par les suivis effectués sur les pilotes de filtres plantés de végétaux en Guyane :

Trois configurations ont été évaluées lors de cette étude :

- 1- la filière insaturée alimentée par pompe (INSAT),
- 2- la filière insaturée/saturée alimentée par pompe (INSAT/SAT),
- 3- la filière insaturée gravitaire (au fil de l'eau, INSAT GRAV).

Dans les deux premières configurations, les objectifs d'abattement sont satisfaits et le traitement présente des rendements épuratoires élevés et stables sur les principales fractions polluantes à éliminer d'un point de vue réglementaire (DBO₅, DCO, MES). Sur la DCO, 97% des concentrations sortantes sont conformes lors de bilans 24H réalisés dans des conditions de fonctionnement représentatives d'un filtre planté : c'est-à-dire, à charges hydraulique et organique proches ou supérieures des charges nominales et en continu sur 7 jours (8 campagnes de 7 jours 24/24 réalisées).

Les résultats ont été obtenus sur des filières INSAT/SAT construites et mises en service assez récemment (quelques mois avant les premières mesures). Deux pilotes INSAT ont une ancienneté un peu plus élevée (5 et 2 ans) et il est possible que cela se ressente sur les performances, notamment sur la nitrification plus poussée sur les INSAT que sur les INSAT/SAT. D'une manière générale, si les performances de traitement de la pollution carbonée (DBO₅ et DCO) et des MES donnent satisfaction quant aux seuils à ne pas dépasser en concentrations et aux rendements épuratoires à atteindre, il peut être entrevu que le traitement des formes azotées non réglementaires (NTK et N-NH₄) peut encore s'améliorer avec le temps, notamment pour les INSAT/SAT dont les résultats de nitrification sont en retrait par rapport aux INSAT.

Les mesures font état d'une certaine résilience des filtres (surtout les INSAT/SAT) à accepter d'importantes charges organiques ce qui confirme la possibilité d'un dimensionnement à minima deux fois plus compact que les filtres de France hexagonale. En résumé, les charges appliquées nominales de 150 g de DBO₅/m²/j et de 300 g de DCO/m²/j ont été atteintes et permettent de confirmer un dimensionnement inférieur au m² par Equivalent-habitant (voire 0,7 m²/EqH).

Les charges hydrauliques élevées qu'ont reçu les filtres INSAT SAN et NAC (jusqu'à 160 % de la charge nominale) ont repoussé les limites du système en démontrant une forte résilience.

Sur la filière INSAT GRAV, les concentrations en sortie sont assez variables en termes de classe de qualité. On observe surtout des concentrations « acceptables » sur la DCO dans 75% des mesures et également en MES dans 50 % des mesures. En se basant sur des estimations faites sur les charges en entrée, les rendements sont plutôt inférieurs à la moyenne des autres filières (< 80%). Cependant, si une alimentation sans pompe peut s'avérer intéressante pour des usagers qui n'ont pas accès à l'électricité (sites isolés entre autres) et dont le projet présente une pente suffisante, l'alimentation par bâchées (chasse automatique pour eaux brutes), plutôt qu'au fil de l'eau, permettra un meilleur traitement épuratoire. Il est important également de retenir que le traitement du filtre planté peut être complété par un aménagement assurant l'infiltration, l'irrigation voire l'évapotranspiration de l'effluent traité (qui s'avère de meilleure qualité que l'effluent rejeté par une simple fosse toutes eaux).

Les résultats obtenus lors de cette étude permettent de confirmer la pertinence du procédé des filtres plantés pour le traitement des eaux usées domestiques en assainissement non collectif dans un contexte tropical.

VI. Glossaire

Bâchée : volume déversé séquentiellement lors d'une période d'alimentation

Charge hydraulique : débit journalier reçu par la station exprimée en cm/jour

Charge organique : masse journalière de pollution reçue par la station (exprimée en kg/jour)

Nitrification : Oxydation biologique de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrates

VII. Sigles et Abréviations

AC : Assainissement collectif

ANC : Assainissement non-collectif

CACL : Communauté de Communes du Centre Littoral

COFRAC : Comité français d'accréditation

DBO5 : Demande biologique en oxygène à 5 jours

DCO : Demande chimique en oxygène

DOM : Département d'Outre-mer

EH : Equivalent-habitant

EUB : Eaux usées brutes

ET : Eaux traitées

FPV : Filtre planté de végétaux

GRAV : Filtres plantés de végétaux alimentés en eaux usées brutes de manière gravitaire (sans bâchée)

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

INSAT : Filière insaturée

INSAT/SAT : Filière insaturée avec fond saturé

IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture

MES : Matières en suspension

N-NH₄ : Azote sous forme d'ammonium

NTK : Azote Kjeldhal

OEG : Office de l'eau de Guyane

OFB : Office français de la biodiversité

VIII. Bibliographie

Boutin, C., Olivier, L., 2017, Assainissement non collectif – le suivi *in situ* des installations de 2011 à 2016, Etude du groupe national public, AFB

Lombard-Latune, R., Molle, P., 2017, les filtres plantés de végétaux pour le traitement des eaux usées domestiques en milieu tropical – guide de dimensionnement de la filière tropicalisée, Guides et Protocoles, AFB

Lombard-Latune, R., Pelus, L., L'Etang, F., Le Guennec, B., Molle, P., 2018, Resilience and reliability of compact vertical-flow treatment wetlands designed for tropical climates, Science of the total environment, vol. 642, P. 208-215

Olivier, L., Dubois, V., Boutin, C., 2018, Caractérisation des eaux usées brutes générées par les particuliers : quantité et qualité, Rapport final AFB - Programme 2016/2018 – Thème « L'eau en espace urbanisé »

IX. Tables des illustrations

Liste des figures

<i>Figure 1 : Objectif général du projet de Recherche pour les FPV < 20EH : de la recherche expérimentale à l'évolution règlementaire adaptée.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2 : - Répartition des FPV étudiés pour l'ANC en Guyane Française.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 3 : Illustration du pilote LAC (configuration INSAT/SAT).....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 4 : Schéma du filtre vertical Insaturé (Lombard-Latune et al., 2017).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 5 : Schéma de principe – Filtre planté de végétaux à écoulement vertical saturé/non saturé (Lombard-Latune et al., 2017).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 6 : Regard à vannes avec vannes à opercule (a) et vannes Guillotines (b) (©ETiage Guyane)</i>	<i>12</i>
<i>Figure 7 - Dispersion des charges surfaciques nominales (ensemble de la filière FPV et détails par type de traitement)</i>	<i>15</i>
<i>Figure 8 - Courbes granulométriques des pilotes LAC, NAC, KHO, BOU.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 9 : Matériel de prélèvement entrée et sortie de filtre</i>	<i>19</i>
<i>Figure 10 : Matériel utilisé dans le cadre du suivi hydraulique</i>	<i>19</i>
<i>Figure 11 : Dispositif de mesure en sortie de FPV Gravitaire (Bilan CATAL 1-27/08/2020 ©ETiage Guyane).....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 12 : Mesure In situ sur échantillons moyens Entrée et Sortie.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 13 : Laboratoire interne ©Etiage Guyane</i>	<i>20</i>
<i>Figure 14 - Analyse Doublon – Comparaison DCO Pasteur en fonction de la DCO Etiage.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 15 Analyse Doublon – Comparaison N-NH4+ Pasteur en fonction de N-NH4+ Etiage.....</i>	<i>21</i>

Figure 16 - Moyenne des charges surfaciques des différentes fractions polluantes par filière	28
Figure 17 - Moyenne des charges surfaciques des différentes fractions polluantes appliquées aux pilotes	29
Figure 18 - Charge surfacique appliquée et traitée en DBO5 pour les deux configurations de FPV ...	33
Figure 19 - Charge surfacique appliquée et traitée en DCO pour les deux configurations de FPV	33
Figure 20 - Charge surfacique appliquée et traitée en MES pour les deux configurations de FPV	34
Figure 21 - Rendements moyens pour la filière INSAT/SAT : Détail par pilote et bilan	35
Figure 22 - Charge surfacique appliquée et traitée en DBO5 (INSAT/SAT)	35
Figure 23 - Charge surfacique appliquée et traitée en DCO (INSAT/SAT)	36
Figure 24 - Charge surfacique appliquée et traitée en MES (INSAT/SAT)	36
Figure 25 - Rendements moyens sur chaque pilote	38
Figure 26 - Charge surfacique appliquée et traitée en DCO (FPV INSAT – BOU, NAC, LAC et SAN)	38
Figure 27 - Charge surfacique appliquée et traitée en MES (FPV INSAT - BOU, NAC, LAC et SAN)	39
Figure 28 - Charge surfacique appliquée et traitée en NTK, par filière.....	40
Figure 29 - Charge surfacique appliquée et traitée en N-NH4.....	41
Figure 30 - Charge surfacique appliquée et traitée en N-NH4+ (FPV INSAT).....	42
Figure 31 - Charge surfacique appliquée et traitée en NTK (INSAT/SAT)	43
Figure 32 - Charge surfacique appliquée et traitée en N-NH4 (INSAT/SAT)	44

Liste des tableaux

Tableau 1. Définition de l'EH : Comparaison de l'EH métropolitain et tropical	12
Tableau 2. Données de base des pilotes	13
Tableau 3 – Caractéristiques techniques des filtres pilotes (Classés par date de mise en service)	13
Tableau 4. Comparaison des charges moyennes surfaciques nominales ⁽²⁾ par rapport aux charges admissibles préconisées sur filtre à écoulement vertical librement drainé de premier étage ⁽¹⁾	14
Tableau 5 –Caractéristiques techniques des massifs filtrants	16
Tableau 6. Synthèse des bilans 24h00 et campagne 7 jours réalisés	18
Tableau 7 Synthèses du nombre d'analyses réalisées par paramètre, type d'effluent et laboratoire (n=Nb Bilans).....	21
Tableau 8 – Concentrations réglementaires et concentrations retenues (en mg/L) dans le cadre du suivi in situ (Boutin & Olivier, 2017)	22
Tableau 9 – Définition des classes de qualité des eaux traitées en fonction des concentrations en polluants (mg/L) (Boutin & Olivier, 2017)	22
Tableau 10 – Définition des classes de qualité des eaux traitées en fonction des paramètres azotés (mg/L) (Boutin & Olivier, 2017)	23
Tableau 11 – Paramètre analysé, programme et gamme de mesure (Spectrophotomètre DR 3900) .	24
Tableau 12 – Gestion des concentrations « Hors gamme » - Eau Brute	24
Tableau 13 – Gestion des concentrations « Hors gamme » - Eau Traitée	25
Tableau 14 – Synthèse Données Réajustées	25
Tableau 15 – Comparaison des concentrations aux valeurs types.....	26
Tableau 16 - Ratios caractéristiques des eaux usées brutes.....	26

<i>Tableau 17 – Charges hydrauliques appliquées par filière</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 18 - Charges surfaciques appliquées à l'échelle de chaque filière</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 19 – Caractéristiques des eaux en sortie par FPV toutes filières confondues : comparaison du suivi in situ en Guyane et Métropole</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 20 - Caractéristiques des eaux en sortie de dispositif : synthèse par type de filière</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 21. Paramètres réglementaires : charges surfaciques appliquées et rendements associés à l'échelle de la filière FPV et détails par configurations</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 22. Paramètres réglementaires : charges surfaciques appliquées et rendements associés à l'échelle de la filière INSAT/SAT et détails par pilote</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 23. Paramètres réglementaires : concentrations en sortie de traitement et rendements associés à l'échelle de chaque pilote</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 24. Paramètres azotés : concentrations en sortie de traitement et rendements associés à l'échelle de la filière FPV et détails par configurations</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 25. Paramètres non réglementaires : concentrations en sortie de traitement et rendements associés à l'échelle de chaque pilote</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 26 Synthèse des concentrations en sortie de traitement et des rendements à l'échelle des Filtres plantés de végétaux INSAT/SAT (LAC et KHO)</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 27. Répartitions des bilans par filière et classes de qualité</i>	<i>44</i>

