



HAL
open science

ANALYSE COMPAREE DE TROIS DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT A BASE DE FRAGMENTS DE COCO

Eva Falipou, Favre Cécile, Roger Lacasse, Catherine Boutin

► **To cite this version:**

Eva Falipou, Favre Cécile, Roger Lacasse, Catherine Boutin. ANALYSE COMPAREE DE TROIS DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT A BASE DE FRAGMENTS DE COCO. TSM. Techniques Sciences Méthodes – Génie urbain, génie rural, 2021, pp.63-101. hal-03238869

HAL Id: hal-03238869

<https://hal.science/hal-03238869v1>

Submitted on 27 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



1 **ANALYSE COMPAREE DE TROIS DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT A BASE DE FRAGMENTS DE**
2 **COCO**

3 **COMPARATIVE ANALYSIS OF THREE COCONUT FRAGMENT WASTE WATER TREATMENT SYSTEMS**

4 **FALIPOU Eva¹, FAVRE Cécile², LACASSE Roger², BOUTIN Catherine^{1*}**

5 ¹INRAE, UR REVERSAAL, Centre de Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes, 5 rue de la Doua CS 20244,
6 69625 Villeurbanne, France

7 ²Premier Tech Eau et Environnement, ZA de Doslet, 35430, Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine, France

8 **catherine.boutin@inrae.fr*

9

10 **CATEGORIE DE L'ARTICLE** : Recherche appliquée

11 **FORMAT DE L'ARTICLE** : Article scientifique/technique

12 **Résumé**

13 Cet article est centré sur l'analyse de filtres garnis de fragments de coco utilisés en France en assainissement
14 non collectif. La qualité des rejets des trois dispositifs développés (V0, V1 et V2) mesurée en conditions de
15 plateforme d'essais et *in situ* est comparée. Des études précédentes utilisant une méthodologie d'analyse
16 similaire ont qualifié d'« acceptable » la qualité des rejets *in situ* de V0 et V2 mais pas celle de V1. L'objectif
17 est d'évaluer l'impact des évolutions techniques (matériau filtrant, surface réduite et distribution) sur les
18 différences observées et de déterminer comment les performances sur plateforme peuvent prédire ces
19 résultats terrain.

20 Tant pour les résultats recueillis sur plateforme qu'*in situ*, les outils statistiques déployés concluent que les
21 meilleures qualités de rejet sont obtenues avec le dispositif V0 et les moins bonnes avec le dispositif V1, le
22 dispositif V2 étant intermédiaire.

23 La comparaison entre la qualité des eaux usées brutes utilisées sur plateforme et celle observée *in situ* montre
24 des différences de concentrations, mais des charges organiques appliquées plutôt homogènes. Ainsi, il est
25 possible de déterminer les rendements requis sur plateforme, assurant l'atteinte des exigences de rejets *in*
26 *situ*. L'article fournit des valeurs de rendement applicables aux dispositifs de configuration équivalente.

27 La distribution améliorée à l'aide de l'auget bidirectionnel explique en partie les meilleures performances de
28 V0 et V2 comparativement à V1. Les diminutions des surfaces de filtration n'ont pas d'impact sur les
29 abattements de composés carbonés. Enfin, bien que sur plateforme les charges surfaciques journalières en
30 NK soient plus grandes qu'en conditions *in situ*, ce type d'essais ne permet pas d'apprécier le vieillissement
31 des dispositifs par l'analyse des différentes concentrations azotées du rejet. La poursuite du suivi *in situ*
32 apparaît donc pertinente.

33 **Mots-clés** : Assainissement décentralisé, Assainissement non collectif, Azote, Charge appliquée surfacique,
34 Essais plateforme, *In situ*, Paramètres carbonés, Statistique

35 **Abstract**

36 This paper focuses on the analysis of coconut husk fragments-based filters used in France for on-site
37 wastewater treatment applications. The treated effluent quality of three filter versions (V0, V1 and V2) on
38 testing platform are compared to the performance observed in field conditions. Previous studies using the
39 same analysis methodology have classified the treated wastewater quality of V0 and V2 systems in field
40 conditions as "acceptable", but not for V1. The objective is to assess the effect of technical evolutions (filtering
41 media, surface reduction and distribution) on performance observed and how platform tests can predict field
42 results.

43 Both for platform tests results and *in situ* assessments, the statistical tools used conclude that the best quality
44 of treated wastewater is achieved by the V0 system and the lowest quality by the V1 system, the V2 system
45 ranking in-between.

46 Comparing raw wastewater compositions used on testing platform and observed in the field shows different

47 concentrations but rather consistent applied organic loads. Therefore it is possible to set a performance level
48 to be achieved on platform to ensure compliance to the required discharge criteria under field conditions. This
49 paper provides performance levels applicable to similar wastewater treatment system designs.

50 Using a bidirectional tipping bucket enhances the distribution and partially explains the better performance of
51 V0 and V2 systems compared to V1. Reducing the filtering surface shows no impact on carbonaceous
52 compounds abatement. Finally, even though daily TKN applied loads during tests on platform are higher than
53 those encountered in field conditions, such testing conditions do not allow to assess systems aging by
54 analysing the various nitrogen compounds in the discharge. Continuing *in situ* monitoring therefore appears
55 relevant.

56 **Keywords:** Applied organic load, Carbon parameters, Decentralized treatment, *In situ*, Nitrogen, On-site
57 treatment, Platform monitoring, Statistics

58 Introduction

59 Le territoire français présente la particularité de combiner des secteurs très fortement urbanisés et, à l'inverse,
60 des secteurs pour lesquels la densité de population est particulièrement basse. Avec une densité moyenne de
61 105 hab.km⁻² incluant les territoires très urbains tels que la région parisienne, la France se situe loin derrière
62 les Pays Bas et la Belgique dont les densités sont 3 à 4 fois plus élevées. Avec la Suisse, l'Italie et l'Allemagne,
63 l'écart n'est plus que d'un facteur 2. Ce choix de développement du territoire a des impacts sur de nombreux
64 équipements nécessaires à la vie des habitants, dont le traitement des eaux usées. Ainsi, pour un habitat isolé
65 au sein d'une collectivité, le choix du mode d'assainissement est guidé, au moins partiellement, par des
66 critères économiques comparant les investissements nécessaires à l'installation d'un système collectif ou non
67 collectif. Ces investissements intègrent non seulement les coûts de la réalisation du système, comprenant les
68 canalisations, mais aussi ceux de son fonctionnement. Ce choix de développement du territoire explique
69 l'importance du développement de l'assainissement non collectif (ANC) en France ; on chiffre à environ 15 à
70 20 % la proportion de la population française concernée [AYPHASSORHO *et al.*, 2014].

71 L'étude du suivi *in situ* des installations d'ANC réalisé de 2011 à 2016, portée par le Groupe National Public
72 (GNP) constitué de membres des différentes structures publiques en charge de l'ANC, a montré la fragilité de
73 nombreux dispositifs : seuls trois dispositifs (parmi les 18 étudiés) ont répondu au qualificatif d'« acceptable »
74 à la fois vis-à-vis de la qualité physicochimique des eaux usées traitées ainsi que vis-à-vis de la fréquence de
75 l'entretien curatif [OLIVIER *et al.*, 2018a]. Ces trois dispositifs sont : i) l'unique dispositif traditionnel étudié
76 c'est-à-dire le filtre à sable drainé, ii) l'unique dispositif étudié comportant des végétaux (et constitué de deux
77 étages en série de filtration à flux vertical puis horizontal) et iii) l'un des deux dispositifs étudiés garnis de
78 fragments de coco et développés par la société Premier Tech Eau et Environnement (PTEE).

79 Face à ce constat, et connaissant l'expérience de la société PTEE dans le suivi *in situ* de ses différentes
80 technologies depuis 1995, INRAE et PTEE ont construit un partenariat dès 2018. Le but était, tout d'abord, de
81 partager les méthodologies de prélèvement et d'analyses des résultats physico-chimiques des rejets des
82 différents filtres afin de proposer un protocole de prélèvement généralisable aux technologies d'ANC [BOUTIN
83 *et al.*, 2018]. Il s'agit maintenant d'évaluer l'impact des caractéristiques et des évolutions techniques des filtres

84 garnis de fragments de coco depuis leur lancement en 2010. Effectivement, la société PTEE a développé trois
85 dispositifs différents et obtenu l'autorisation de leur installation sur le territoire français en 2010, 2013 puis
86 2016 par le biais d'agrément ministériels. L'analyse comparée porte non seulement sur les résultats des
87 essais réalisés sur plateforme et analysés en vue de l'obtention de l'agrément français, mais aussi sur les
88 résultats des différents prélèvements *in situ* conduits sur ces trois dispositifs depuis 2011 [OLIVIER et al.,
89 2018a ; LACASSE et al., 2020].

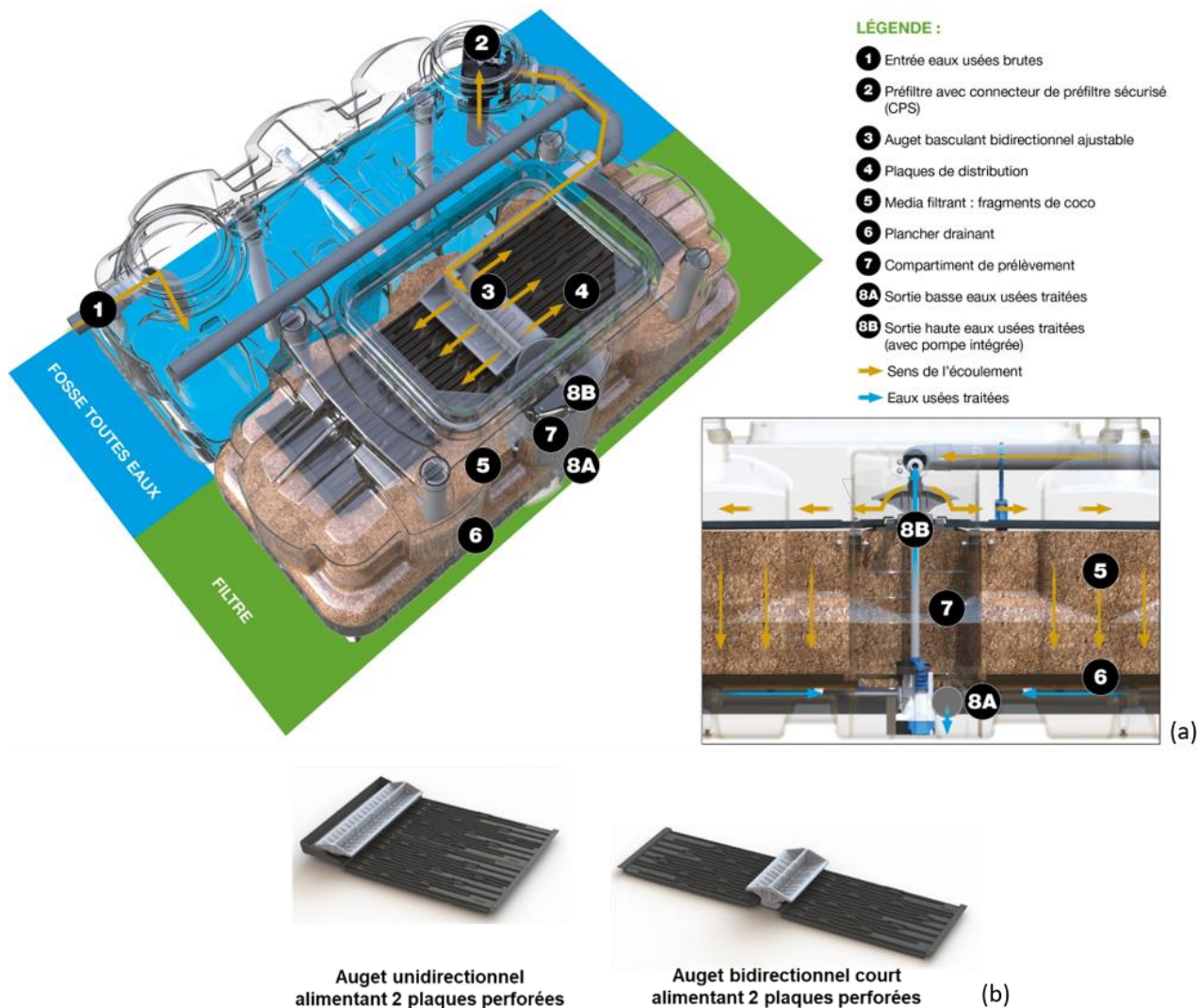
90 Après une description des trois dispositifs, orientée essentiellement autour de leurs différences, l'objet de cet
91 article consiste à comparer les résultats en concentrations et/ou en rendements des trois essais sur
92 plateforme, puis ceux des rejets mesurés *in situ*. Une discussion technique tente d'expliquer l'impact des choix
93 technologiques sur les qualités des rejets.

94 **1. Descriptif des trois dispositifs**

95 **1.1. Description générale des filières**

96 Les dispositifs de traitement des eaux usées à base de fragments de coco comprennent une fosse toutes eaux
97 alimentant un filtre biologique garni de fragments de coco. Les dispositifs décrits et étudiés dans cet article
98 sont tous destinés à l'assainissement des eaux usées domestiques ou assimilées, issues de maisons
99 d'habitations individuelles ou d'autres immeubles, dans le cadre d'assainissement non collectif (ANC) pour
100 des charges inférieures à 1,2 kg DBO₅.j⁻¹. Les fosses toutes eaux utilisées sont dimensionnées pour assurer
101 un temps de séjour minimum de 3 jours et sont munies d'un préfiltre en sortie. La capacité de stockage des
102 boues dans la fosse toutes eaux est fixée par la réglementation technique [Ministre d'Etat et al., 2012] à 50 %
103 de son volume total utile.

104 Tel qu'illustré à la *figure 1*, l'effluent prétraité dans la fosse toutes eaux se dirige par gravité vers le filtre où il
105 alimente un auget à basculement alterné qui le répartit sur la surface du massif filtrant grâce à l'utilisation de
106 plaques de distribution rainurées et perforées. Au cours du développement des trois versions de dispositifs,
107 deux modes de distribution ont été utilisés, privilégiant soit un auget basculant unidirectionnel avec bac de
108 retour ou soit un auget bidirectionnel.



109

110 *Figure 1 : Dispositif à base de fragments de coco : vue globale du dispositif V2 (a) et modes de distribution par auget (b)*

111 *Source : Premier Tech Eau et Environnement (<http://www.pt-eauenvironnement.fr>)*

112

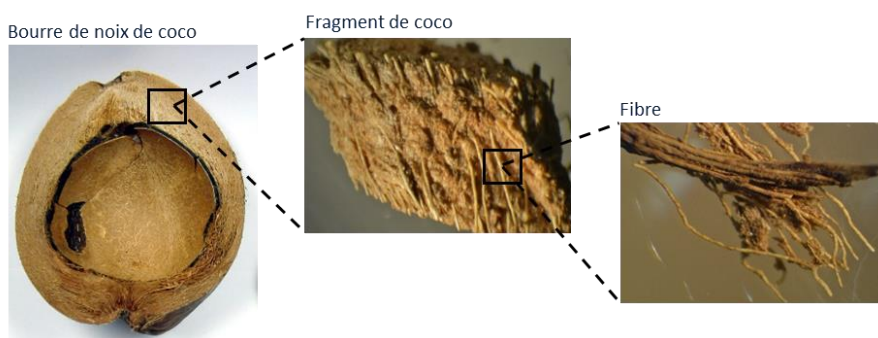
113 Le traitement physique et biologique aérobie des effluents est réalisé lors de leur percolation dans le massif
 114 filtrant, en présence d'air renouvelé grâce au dispositif de ventilation passive intégré au système. Le milieu
 115 filtrant est soutenu par un plancher drainant perforé permettant de recueillir les eaux usées traitées dans un
 116 espace dédié sous ce plancher. Elles sont évacuées soit par gravité, soit par une pompe de relèvement
 117 installée dans le compartiment de prélèvement accessible via l'unique couvercle d'accès au filtre. Après usage,
 118 le matériel filtrant peut être valorisé par compostage.

119 Le premier dispositif à base de fragments de coco a été agréé en France en septembre 2010 (version V0)
 120 sous les dénominations *Epurfix*[®] et *Epurflo*[®]. Il a été suivi par la version V1 commercialisée en 2013 sous les
 121 dénominations *Epurfix*[®], *Epurflo*[®] et *Ecoflo*[®] PE1, et par la dernière version V2 commercialisée en 2016 sous
 122 la dénomination *Ecoflo*[®] PE2. Les dimensions du filtre diminuent progressivement, V0 étant la plus grande
 123 avec un dimensionnement fixé à 0,82 m² par équivalent-habitant (EH), V2 la plus petite avec un
 124 dimensionnement à 0,54 m².EH⁻¹, et V1 un intermédiaire à 0,65 m².EH⁻¹. Outre ces réductions de surface, les
 125 trois versions se différencient entre elles par leur mode d'alimentation par auget unidirectionnel ou

126 bidirectionnel, mais aussi par les caractéristiques du garnissage du filtre.

127 1.2. Le milieu filtrant à base de fragments de coco

128 La noix de coco est un fruit protégé par une enveloppe (mésocarpe ou bourre) composée d'un assemblage
129 de fibres liées entre elles par un liant naturel : le parenchyme (*figure 2*). Cette enveloppe possède une grande
130 résistance mécanique et une faible dégradabilité, ce qui lui confère un rôle de protection du fruit contre les
131 chocs et l'humidité excessive. Pour récolter le fruit destiné à la consommation, la bourre est ouverte en deux
132 parties, générant ainsi un résidu. Traditionnellement, pour valoriser ce résidu, les fibres de coco étaient
133 séparées de la bourre pour confectionner différents sous-produits (matelas, tapis, etc.), laissant ainsi de
134 grandes quantités de parenchyme non valorisées. Ensuite, des méthodes de récupération et valorisation de
135 l'ensemble des bourres de coco sous forme de fragments se sont développées pour les secteurs de
136 l'horticulture et du traitement des eaux usées. Les fragments de coco sont obtenus par un découpage
137 particulier de la bourre en fragments, permettant de conserver les propriétés de l'assemblage des fibres liées
138 entre elles par le parenchyme. Le milieu filtrant à base de fragments de coco a fait l'objet de brevets déposés
139 par Premier Tech au Canada (CA 2 499 637), aux USA (USA 7 097 768) et en Europe (Europe 1 539 325B1
140 et 2322487B1).



141

142 *Figure 2 : Bourre de noix de coco, fragment de coco et fibre observés au binoculaire 100x*

143 Les fragments de coco utilisés dans les lits filtrants sont caractérisés par une porosité ouverte à trois niveaux
144 (intra-fibres, inter-fibres et inter-fragments) correspondant à la porosité totale assimilée à la fraction
145 volumétrique constituée d'air. Le reste du volume est occupé par la matière sèche (MS) du matériel
146 [KARAMANEV *et al.*, 1994]. Ce sont la texture et la structure interne du matériau (forme des fragments et
147 cavités microscopiques) ainsi que la distribution granulométrique des agrégats ou fragments qui déterminent
148 la porosité et les écoulements de l'eau et de l'air dans le lit filtrant. Les matériaux très poreux présentent un
149 réseau complexe et irrégulier de pores partiellement interconnectés entre eux. Les plus petits pores
150 (micropores) sont habituellement remplis d'eau en raison de la tension superficielle et de la capillarité, ce qui
151 permet de maintenir des conditions d'humidité favorables à l'activité biologique dans le milieu filtrant [GILBERT
152 *et al.*, 2015]. En opposition, les pores les plus grands (macropores) assurent la circulation de l'eau et de l'air
153 dans le lit filtrant et contribuent au transfert de l'oxygène dans le filtre. L'enjeu d'un milieu filtrant dédié au
154 traitement biologique aérobie des eaux usées consiste à assurer les écoulements, non seulement de l'eau,
155 mais aussi de l'air, tout en maintenant une humidité favorable au développement bactérien actif dans le
156 traitement, même en l'absence d'alimentation. Les fragments de coco contiennent également de la lignine,

157 l'un des principaux composants du bois, dont la rigidité et la faible dégradabilité permettent de maintenir leur
158 structure tridimensionnelle, assurant ainsi une bonne résistance à l'affaissement du massif filtrant et le
159 maintien d'une macroporosité adéquate à long terme (10 à 15 ans).

160 Au cours du développement des dispositifs à base de fragments de coco, deux compositions de matériaux
161 filtrants ayant une porosité totale équivalente de l'ordre de 92 % et une densité identique (85 g MS.L⁻¹) ont été
162 utilisées. Le matériau 1, utilisé pour garnir les deux premières versions de filtres (V0 et V1), était caractérisé
163 par une macroporosité de 49 % tandis que pour le matériau 2 garnissant les filtres de la dernière génération
164 (V2), cette macroporosité a été augmentée à 57 %. Les deux matériaux montraient donc des microporosités
165 respectives de 44 % et de 35 %, nécessaires au maintien des conditions d'humidité favorables à l'activité
166 biologique. À titre comparatif, l'utilisation de fibres de coco détachées, densifiées mécaniquement sans
167 dégradation de leur structure à la valeur maximale de 60 g MS.L⁻¹, permet d'atteindre une microporosité limitée
168 à 14 %.

169 Pour information complémentaire, des filières actuellement proposées pour l'assainissement collectif ayant
170 une capacité de traitement jusqu'à 200 équivalents habitants sont basées sur une technologie similaire au
171 dispositif V2, en utilisant un système de distribution reprenant le concept de l'auget bidirectionnel, la
172 composition de fragments de coco à plus forte macroporosité, et des filtres aux dimensions, hors cas
173 particuliers, proches de 0,54 m².EH⁻¹.

174 **2. Matériels et Méthodes**

175 Les données étudiées sont, soit les résultats des tests réalisés sur plateformes d'essais et analysés pour
176 l'obtention de l'agrément, soit les résultats de campagnes de mesures réalisées sur le terrain en conditions
177 réelles de fonctionnement.

178 Les analyses sont effectuées dans des laboratoires dotés d'une accréditation Cofrac (ou assimilée). Elles
179 concernent les paramètres suivants : matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO),
180 demande biologique en oxygène à 5 jours (DBO₅), azote ammoniacal (N-NH₄⁺), nitrates (N-NO₃⁻) et azote
181 Kjeldahl (NK).

182 **2.1. Données plateforme**

183 Les résultats obtenus sur plateformes d'essais correspondent à l'évaluation des performances des dispositifs
184 d'assainissement selon les exigences de la norme NF EN 12566-3+A2 [AFNOR, 2013]. L'obtention d'un
185 agrément réglementaire, basé sur l'analyse de la qualité des eaux usées traitées de ces essais, est en effet
186 nécessaire en France pour obtenir l'autorisation d'installer un tel dispositif d'assainissement non collectif.

187 Chacune des trois versions a fait l'objet d'essais sur la plateforme d'essais du Centre Scientifique et Technique
188 du Technique du Bâtiment (CSTB) localisée à Nantes. Les eaux brutes utilisées dans les 3 essais présentent
189 les caractéristiques moyennes fournies au paragraphe 3.3. Elles sont de nature domestique comme l'indique
190 un ratio DCO/DBO₅ de 2,4 en moyenne. Les capacités nominales des trois dispositifs testés sont 6 EH pour
191 V0 et 5 EH pour V1 et V2, le volume journalier apporté étant fixé à 150 L par unité d'EH. Les dispositifs V0 et
192 V2 testés étaient munis d'un auget bidirectionnel et le dispositif V1 testé d'un auget unidirectionnel.

193 Les données plateforme sont recueillies suivant le mode opératoire décrit dans l'annexe B de la norme NF EN
194 12566-3+A2 [AFNOR, 2013]. L'apport du volume journalier nominal suit un rythme séquencé fixe simulant le
195 rythme de vie usuel d'un ménage avec les pointes du matin, midi et soir ainsi que de longues durées sans
196 apport en périodes diurne et nocturne. L'essai se déroule sur une durée de 38 semaines après une période
197 d'acclimatation de la biomasse déterminée par le fabriquant (ici 4 semaines). Il est constitué d'une succession
198 de 10 séquences décrites dans le *tableau I*.

199 Une surveillance périodique doit avoir lieu durant toute la période d'essai. Des prélèvements suivis d'analyses
200 doivent être effectués à intervalles réguliers au cours de chaque séquence, en évitant le jour où s'exercent les
201 contraintes. Au total, 20 prélèvements sont réalisés en charge nominale, 4 en sous-charge et 2 en surcharge.
202 Les échantillons sont prélevés en entrée et en sortie sous forme de prélèvements composites pendant 24 h.

203 Dans le cas du dispositif V2, 11 prélèvements complémentaires ont également été réalisés afin d'étudier la
204 réponse du filtre à différentes sollicitations extérieures : une alimentation de pointe, une alimentation
205 segmentée, des suralimentations, un arrêt d'alimentation et une coupure d'électricité empêchant l'évacuation
206 des eaux traitées par pompage. Deux séquences supplémentaires sont ajoutées après la dixième séquence :
207 une séquence de 4 semaines correspondant à une suralimentation de 200 %, et une séquence de 2 semaines
208 correspondant à une alimentation segmentée (5 jours sans alimentation puis alimentation à charge nominale
209 pendant 2 jours). Les 11 données supplémentaires récoltées proviennent de 4 mesurages réalisés pendant la
210 séquence de suralimentation de 200 %, 2 mesurages réalisés pendant la séquence d'alimentation segmentée,
211 ainsi que 5 mesurages répartis pendant les séquences imposées :

- 212 • 2 mesurages réalisés au redémarrage après les coupures électriques (séquences 4 et 8),
- 213 • 1 mesurage réalisé après l'arrêt d'alimentation de 2 semaines (séquence 5),
- 214 • 1 mesurage réalisé pendant une alimentation de pointe (séquence 6),
- 215 • 1 mesurage réalisé le jour de la surcharge à 150 % (séquence 7).

216 Tel que présenté au *tableau I*, le protocole appliqué au dispositif V2 correspond exactement aux séquences
217 de celui présenté à l'annexe 2 de l'Arrêté prescriptions techniques de septembre 2009 [Ministre d'Etat et *al.*,
218 2012] dénommé couramment « protocole long ». Par contre, le nombre de bilans réalisés est limité à 37 au
219 lieu des 44 exigés selon ce dernier protocole.

220 Il est à noter qu'une alimentation de pointe est réalisée une fois par semaine durant les séquences à charge
221 nominale et consiste pour les essais réalisés pour V0, V1 et V2 à l'ajout de deux volumes supplémentaires de
222 200 L durant 3 minutes (appelés couramment « effet baignoire ») au début de l'alimentation correspondant à
223 40 % du volume journalier.

224 En résumé, ces essais plateforme permettent de fournir 26 données par dispositif, pour chaque paramètre
225 étudié du rejet (à l'exception du paramètre N-NO₃⁻ qui n'avait pas été mesuré lors de l'essai pour V0). Les
226 prélèvements complémentaires réalisés pour le dispositif V2 fournissent 11 données supplémentaires pour les
227 paramètres carbonés et 10 données supplémentaires pour les paramètres azotés.

228 Les caractéristiques des eaux usées en entrée sont également mesurées au cours des essais plateforme. On

229 dispose ainsi de 26 données d'entrée par dispositif et par paramètre étudié, ainsi que de 9 données
230 supplémentaires par paramètre lors des essais concernant le dispositif V2.

231 **2.2. Données *in situ***

232 Une partie des données *in situ* analysées a été récoltée au cours du suivi *in situ* des installations d'ANC réalisé
233 entre 2011 et 2016. Les visites de sites effectuées chez les particuliers ont permis de recueillir des données
234 correspondant à 85 prélèvements pour le dispositif V0 et 17 prélèvements pour le dispositif V1 [Boutin *et al.*,
235 2017a]. Deux autres campagnes de mesure ont été menées en 2019 dans le cadre de la collaboration entre
236 INRAE et PTEE afin de fournir des données pour le dispositif V2. Les deux campagnes de mesures, réalisées
237 dans des conditions adaptées et contrôlées en Loire-Atlantique et en Auvergne-Rhône-Alpes, ont permis de
238 fournir des données issues de 22 prélèvements [FALIPOU et BOUTIN, 2020].

239 Les caractéristiques des eaux usées brutes (EUB) en conditions *in situ* ne sont pas connues, mais sont
240 extrapolées de la synthèse issue de l'analyse de plus de 300 prélèvements composites pendant 24 heures
241 d'EUB réalisés dans 15 ménages différents constitués de 1 à 6 usagers [OLIVIER *et al.*, 2019].

242 Les campagnes de terrain sont réalisées à partir d'une sélection aléatoire d'installations répondant aux cinq
243 critères prédéfinis :

- 244 - Le propriétaire est volontaire, en acceptant la réalisation de ce suivi ;
- 245 - L'installation doit être raccordée à une résidence principale ;
- 246 - Les eaux usées à traiter doivent être exclusivement d'origine domestique ;
- 247 - Le point de rejet doit être accessible pour le prélèvement ;
- 248 - L'installation doit être conforme à la réglementation en vigueur au moment de sa construction.

249 Chaque visite chez un particulier amène au renseignement par l'agent préleveur d'une fiche de visite et de
250 prélèvement. Cette fiche précise les caractéristiques techniques et nominales de l'installation, sa date de mise
251 en service, ainsi que le nombre d'occupants le jour et la veille de la visite. Elle décrit l'état de fonctionnement
252 de l'installation au moment de la visite (aspect visuel et technique des différentes parties de l'installation) ainsi
253 que le contexte du prélèvement, et plus précisément la date, la position du point de prélèvement, le mode de
254 prélèvement, le volume prélevé et la météorologie. Les dernières visites et opérations d'entretien effectuées
255 sont également mentionnées. D'éventuelles observations particulières peuvent être renseignées en
256 commentaires libres [BOUTIN *et al.*, 2017b]. Dans le cas des campagnes effectuées en 2019, des photos
257 accompagnent la fiche terrain et complètent l'analyse de la situation *a posteriori*.

258 Les informations recueillies grâce à ces fiches sont complétées par les résultats des analyses chimiques
259 réalisées sur ces prélèvements. Ces derniers sont généralement effectués en sortie du filtre ou à l'extrémité
260 de la canalisation des eaux usées traitées. Pour les prélèvements réalisés en sortie du dispositif V2, la crépine
261 du tuyau du préleveur automatique est introduite dans une canne de prélèvement rigide percée d'orifices.
262 Cette configuration permet le renouvellement des eaux usées traitées et l'interception des MES sans
263 interférence avec les éventuels dépôts. Les prélèvements sont réalisés, soit sous forme de prélèvement
264 ponctuel (52 % des données V0 et 100 % des données V1), soit sous forme de prélèvements composites
265 pendant 24 heures (48 % des données V0 et 100 % des données V2). Les données sont enfin validées selon

266 le protocole du GNP et relevées aux limites de quantification (LQ) du matériel analytique définies dans l'étude
267 GNP [BOUTIN et al., 2017b].

268 Les campagnes de terrain réalisées ont permis d'évaluer la qualité des rejets des trois dispositifs étudiés
269 présentant les caractéristiques décrites dans le *tableau II*.

270 Les installations étudiées étaient âgées de 0,2 à 6,8 ans et présentaient des taux de charge compris entre 20
271 et 180 % de leur capacité nominale. Les détails individuels pour chaque dispositif sont disponibles dans les
272 fiches techniques [BOUTIN et al., 2017a ; FALIPOU et BOUTIN, 2020]. Moins d'un tiers des installations (11/37
273 soit 5 V0, 1 V1 et 5 V2) étaient concernées par un contrat d'entretien régulier.

274 **2.3. Calcul des charges**

275 Les charges organiques entrantes sont calculées de deux façons différentes selon que les résultats soient
276 issus de mesures plateforme ou *in situ* :

- 277 • Sur plateforme, elles sont directement calculées à partir du produit entre les concentrations des eaux
278 brutes et les débits journaliers ;
- 279 • *In situ*, à défaut de prélèvements d'EUB, elles sont estimées à partir du nombre d'usagers domiciliés.

280 Le taux de charge est pris en compte dans l'analyse des résultats par le modèle (*cf.* section 2.5). Il se calcule
281 différemment pour les résultats plateforme et les résultats *in situ*.

- 282 • Sur plateforme, la connaissance des concentrations d'entrée et du volume journalier permet de
283 calculer la charge. Le taux de charge s'exprime en pourcentage de la capacité nominale du système
284 installé, calculée à partir des charges unitaires de pollution moyennes journalières d'un usager définies
285 en conditions réelles, soit 46 g.j⁻¹ pour la DBO₅ et 11 g.j⁻¹ pour le NK [OLIVIER et al., 2019]. Vis-à-vis
286 du paramètre DBO₅, il se calcule grâce à la formule suivante :

$$287 \quad (1) \text{ Taux de charge}_{\text{plateforme}} = \frac{[DBO_5]_{\text{entrée}} * Q}{EH_{\text{dispositif}} * 46}$$

288 avec :

- 289 • [DBO₅]_{entrée}, la concentration d'entrée en DBO₅ en g.L⁻¹
- 290 • Q, le débit journalier en L.j⁻¹
- 291 • EH_{dispositif}, la capacité nominale du dispositif en EH
- 292 • 46, la charge moyenne en DBO₅ d'un usager en g.j⁻¹

293
294 Lorsque le taux de charge est calculé vis à vis de l'azote, la concentration d'entrée en NK et la valeur
295 chiffrée de 11 remplacent respectivement la concentration d'entrée en DBO₅ et la valeur chiffrée de
296 46.

- 298 • *In situ*, le taux de charge de chaque installation est calculé en faisant le rapport du nombre d'usagers
299 réel par rapport à la capacité nominale exprimée en EH du dispositif installé :

$$300 \quad (2) \text{ Taux de charge}_{\text{in situ}} = \frac{\text{nombre d'usagers réel}}{EH_{\text{dispositif}}}$$

301 Les charges surfaciques en DBO₅ et en NK appliquées sur les filtres sont également étudiées. Elles
302 s'expriment en g.m⁻².j⁻¹ et sont calculées de la manière suivante :

$$303 \quad (3) \text{ Charge entrante surfacique} = \frac{\text{charge entrante} * (1 - \eta_{\text{fosse biblio}})}{S}$$

304 avec :

- 305 • La charge entrante exprimée en g.j^{-1}
- 306 • $\eta_{fosse\ bibli}$, le rendement de la fosse toutes eaux, se situe dans une amplitude de 30 % à 50 % pour
- 307 le paramètre DBO_5 et 60 % à 80 % pour les MES [U.S. EPA, 2002]. Pour les estimations, on retient la
- 308 situation la plus défavorable c'est-à-dire les valeurs minimales pour chaque paramètre. Le rendement
- 309 pour le paramètre DCO a été assimilé à celui de la DBO_5 . Pour l'azote (NK), un rendement nul, valeur
- 310 généralement reconnue [LOWE K.S. et al., 2009], est retenu.
- 311 • S, la surface du filtre étudié en m^2 (*tableau II*)

312 Pour les données plateforme, la connaissance des débits journaliers¹ et des concentrations des eaux usées

313 traitées permet de calculer également les charges sortantes en g.j^{-1} et donc les charges traitées surfaciques

314 en $\text{g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$:

$$315 \quad (4) \text{ Charge traitée surfacique} = \frac{[\text{charge entrante} * (1 - \eta_{fosse\ bibli})] - \text{charge sortante}}{S}$$

316 2.4. Calcul des rendements

317 Lors des essais plateforme, les dispositifs V0 et V2 ont fait l'objet d'un point de mesure supplémentaire en

318 sortie de la fosse toutes eaux. Ces données additionnelles permettent de calculer les rendements de la fosse

319 et les rendements du filtre à partir des concentrations d'entrée et de sortie de chaque ouvrage individuellement.

320 Les rendements des filtres, exprimés en pourcentage, peuvent également être déterminés à partir des charges

321 entrantes et traitées surfaciques :

$$322 \quad (5) \eta_{filtre\ plateforme} = \frac{\text{charge traitée surfacique}}{\text{charge entrante surfacique}}$$

323 Il est à noter que, pour ce calcul, la détermination des charges entrantes et traitées surfaciques se fait à partir

324 des concentrations réelles en entrée et en sortie du filtre pour les dispositifs V0 et V2.

325 Les rendements globaux sont calculés pour les trois dispositifs par la comparaison habituelle des

326 concentrations d'entrée et de sortie du système.

327 Le calcul des rendements *in situ* ne peut être réalisé en l'absence de mesures détaillées portant sur les eaux

328 usées brutes. En revanche, il est possible de reconstituer ce rendement global à partir des rendements

329 individuels de la fosse et du filtre, en considérant les rendements des filtres équivalents sur plateforme et *in*

¹ Les débits de sortie ne sont pas mesurés mais l'hypothèse de l'égalité des volumes de sortie et de ceux d'entrée est retenue.

330 *situ* et en utilisant les rendements de la fosse issus de la bibliographie (équation (3)) :

$$331 \quad (6) \eta_{global\ in\ situ} = \eta_{fosse\ biblio} + \eta_{filtre\ plateforme}(1 - \eta_{fosse\ biblio})$$

332 Enfin, dans le but de généraliser les résultats à d'autres systèmes, les rendements à atteindre sur plateforme
333 peuvent être calculés à partir des rendements *in situ* nécessaires pour respecter les exigences de rejet. Ce
334 calcul est possible grâce à l'hypothèse de l'égalité des rendements des filtres dans les deux conditions de
335 prélèvement :

$$336 \quad (7) \eta_{global\ plateforme} = \eta_{fosse\ plateforme\ moyenné} + (1 - \eta_{fosse\ plateforme\ moyenné}) * \frac{\eta_{global\ in\ situ} - \eta_{fosse\ biblio}}{1 - \eta_{fosse\ biblio}}$$

337 avec :

- 338 • $\eta_{global\ in\ situ}$, le rendement global du système *in situ* nécessaire au respect des exigences de rejet
- 339 • $\eta_{fosse\ plateforme\ moyenné}$, le rendement de la fosse sur plateforme moyenné à partir des données
340 disponibles, (voir paragraphe 4.1)
- 341 • $\eta_{fosse\ biblio}$, le rendement de la fosse issu de la bibliographie (équation (3))

342 2.5. Traitement des données

343 Les jeux de données étudiés ont la particularité de contenir des « données censurées », correspondant aux
344 LQ des méthodes d'analyse. La distribution des données ne suit alors ni une loi « normale », ni une loi « log-
345 normale » ; or, la comparaison statistique de différentes distributions de jeux de données est réalisable dès
346 lors que les distributions suivent une loi gaussienne. Afin de pouvoir conserver les données censurées pour
347 l'analyse statistique, un outil adapté qui transforme les données et génère des distributions théoriques sous
348 une forme gaussienne a été développé : le modèle « In-linéaire généralisé » [OLIVIER *et al.*, 2018b] dont une
349 version utilisateur est disponible sous R-Shiny [FALIPOU *et al.*, 2021].

350 Le modèle permet de comparer un ensemble de données en identifiant les effets de variables explicatives.
351 Dans cette étude, les différentes variables explicatives étudiées sont :

- 352 1) Le dispositif de traitement : V0, V1 ou V2 ;
- 353 2) L'âge de l'installation, classé dans une des deux catégories : < 2 ans ou > 2 ans ;
- 354 3) Le taux de charge de l'installation (équations (1) et (2)), classé dans une des deux catégories :
355 < 70 % ou > 70 % ;
- 356 4) La source des données : plateforme ou *in situ* ;
- 357 5) La charge surfacique en DBO₅ ou en NK pour les paramètres azotés (équation (3)), classée dans trois
358 catégories par rapport à la capacité nominale du dispositif V2 correspondant à
359 59,6 g DBO₅.m⁻².j⁻¹ et 20,4 g NK.m⁻².j⁻¹. Elles sont dénommées : i) « faibles » lorsque les charges
360 surfaciques sont inférieures à 40 % V2, ii) « intermédiaires » lorsqu'elles sont dans l'intervalle
361 40 - 60 % V2 et iii) « élevées » si elles sont supérieures à 60 % V2 ;
- 362 6) Le type d'auget classé dans une des deux catégories : auget unidirectionnel ou auget bidirectionnel ;
- 363 7) Le type de matériau : matériau 1 (utilisé pour les dispositifs V0 et V1) ou matériau 2 (utilisé pour le
364 dispositif V2).

365 Pour faire fonctionner le modèle, les variables explicatives doivent tout d'abord être codées en binaire.
366 L'ensemble de référence retenu correspond à l'effectif le plus élevé observé parmi chaque différente catégorie
367 des variables explicatives. Cet ensemble de référence est ensuite comparé à tous les autres ensembles
368 formés par les autres variables explicatives. Un test d'hypothèse de différence significative est réalisé, avec
369 l'hypothèse nulle suivante :

- 370 • H_0 : « il n'y a pas de différence entre la modalité et la référence »

371 Ce test calcule la probabilité p de se tromper en rejetant à tort l'hypothèse nulle H_0 . Si l'hypothèse est retenue,
372 alors l'effet est considéré comme « non significatif ». Dans cette étude, le seuil de significativité de la « p-
373 valeur » retenu est volontairement faible (0,1 %) pour garantir la robustesse du résultat. Les effets non
374 significatifs sont progressivement éliminés et réintroduits dans l'ensemble de référence, jusqu'au résultat final
375 ne contenant que les effets significatifs. Une fois les différents effets déterminés, il est possible de calculer les
376 médianes pour chaque ensemble ainsi que les facteurs quantifiant l'influence de chaque variable explicative
377 par rapport à la référence.

378 Dans le cas de la comparaison des performances des trois dispositifs, les variables explicatives (1) et (3) sont
379 utilisées pour analyser les données plateforme (la variable explicative « âge » n'est pas étudiée car les
380 données correspondent toutes à une installation de moins de 2 ans). Les données *in situ* sont analysées en
381 utilisant les variables explicatives (1), (2) et (3).

382 Pour expliquer l'impact des choix technologiques sur les qualités des rejets obtenus, le modèle est à nouveau
383 utilisé, cette fois sur l'ensemble des données plateforme et *in situ*, avec les variables explicatives (2), (4), (5),
384 (6) et (7). Les variables (1) et (3) ne sont pas utilisées ; c'est la variable (5) qui les regroupe.

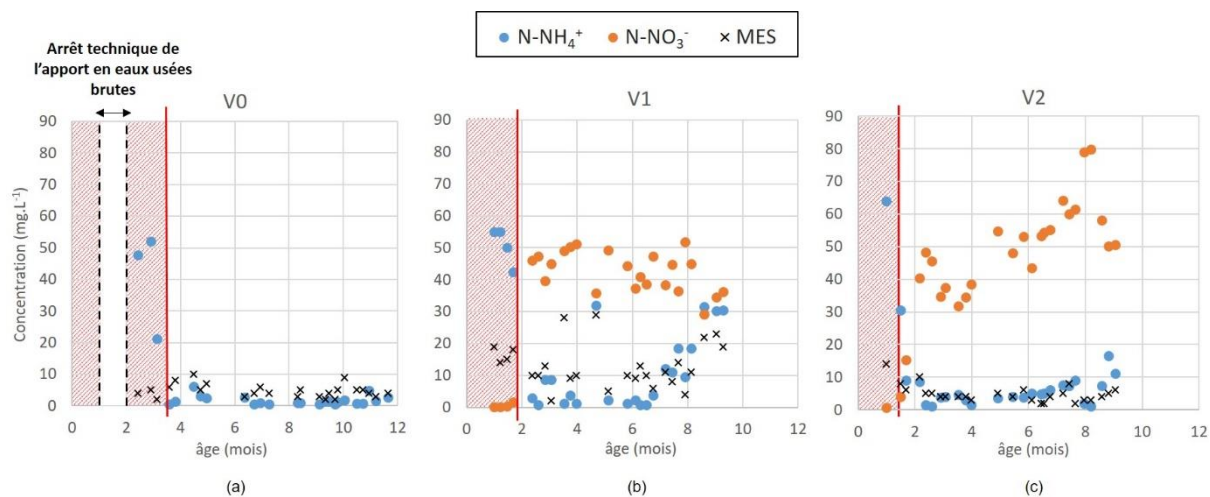
385 Les données sont également interprétées à l'aide de statistiques descriptives. Des représentations de type
386 « boîtes à moustaches » sont utilisées pour visualiser la distribution des données en faisant figurer la médiane,
387 les quartiles, l'écart interquartile et les vibrisses.

388 **3. Résultats**

389 **3.1. Comparaison des rejets sur plateforme des trois dispositifs**

390 La représentation de l'ensemble des concentrations des paramètres azotés du rejet pour les données
391 plateforme, issues du protocole normé, permet de visualiser le démarrage du processus de nitrification, encore
392 non stabilisé lors des premières mesures de la séquence 2 (*figure 3*). En revanche, l'évolution de la
393 concentration en MES montre des valeurs bien stabilisées dès le début de la séquence 2 après les 4 semaines
394 d'adaptation fixées par le fabricant. Il en est de même pour les paramètres DCO et DBO₅, non figurés ici.
395 Cependant, il a été choisi, pour cette étude, d'analyser les données correspondant à un système entièrement
396 stabilisé, à la fois pour la dégradation des matières carbonées, mais aussi pour celle des matières azotées.
397 C'est pourquoi, contrairement à la norme NF EN 12566-3+A2, les prélèvements sont donc pris en compte
398 seulement à partir du moment où la concentration en N-NH₄⁺ devient inférieure à la concentration en N-NO₃⁻,
399 soit 2,4 mois après la mise en eau pour V1 et 1,7 mois après la mise en eau pour V2. Pour V0, sans
400 connaissance des concentrations en N-NO₃⁻, on considère la nitrification stabilisée dès lors que la

401 concentration en N-NH_4^+ est elle-même stable, soit 2,7 mois après la mise en eau (sans compter une période
 402 d'arrêt technique de l'apport en EUB d'un mois). Dans le cas des dispositifs à cultures fixées sur support fin,
 403 le démarrage de ce processus sur une période de l'ordre du trimestre est classique [CHOUBERT et al., 2016].
 404 Le jeu de 26 données initiales par dispositif et par paramètre est diminué de 3 prélèvements pour V0, 4 pour
 405 V1 et 2 pour V2. Ainsi, le jeu de données plateforme étudié est constitué de 23 données par paramètre pour
 406 le dispositif V0, 22 données par paramètre pour V1 et 24 données par paramètre pour V2 auxquelles
 407 s'ajoutent, selon le besoin pour l'analyse, les 11 prélèvements complémentaires du dispositif V2.



408

409 *Figure 3 : Evolution temporelle des concentrations en MES, N-NH_4^+ et N-NO_3^- pour les essais plateforme des 3 dispositifs*
 410 *V0 (a), V1 (b) et V2 (c). La zone hachurée correspond au démarrage de la nitrification.*

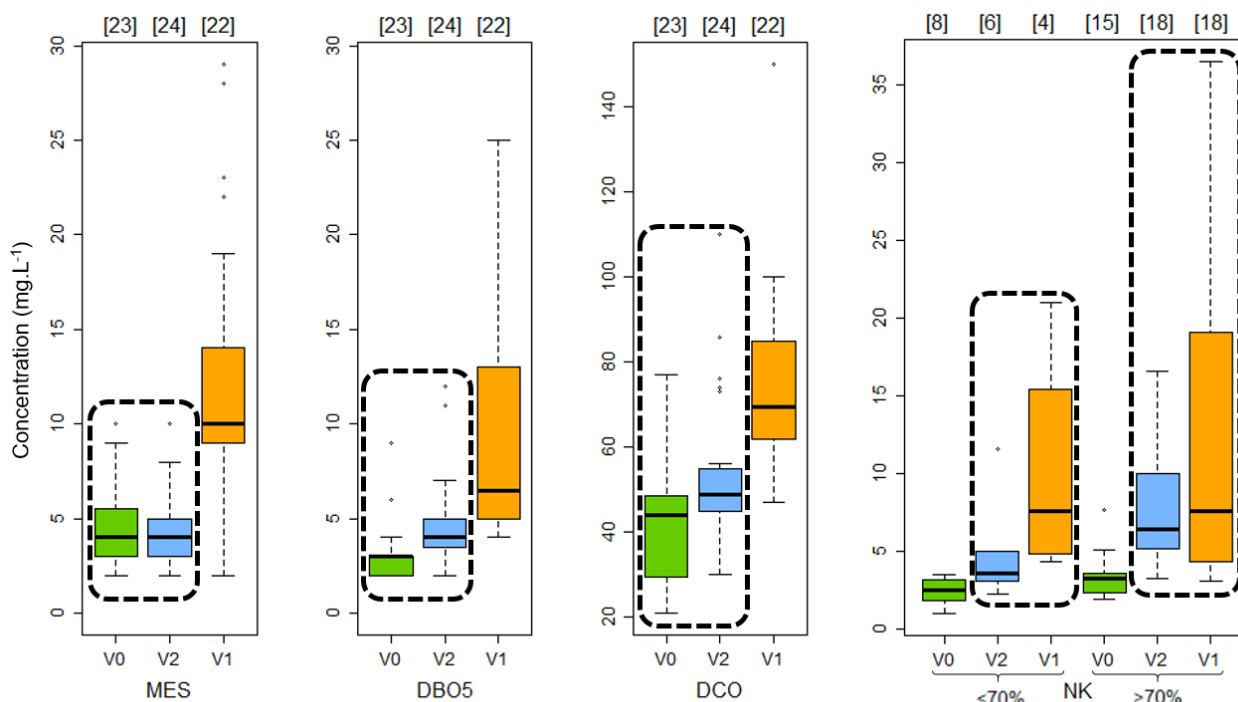
411 Le modèle « In linéaire généralisé » est utilisé pour identifier l'effet des variables explicatives (1) et (3) c'est-
 412 à-dire « dispositif » et « taux de charge » sur les 22 à 24 bilans des données plateforme disponibles pour
 413 chaque dispositif. Les résultats obtenus sont résumés dans le *tableau III* et présentés à la *figure 4*. On rappelle
 414 que seules les données après le démarrage de la nitrification sont considérées.


415 Le modèle identifie un effet significatif du dispositif pour tous les paramètres carbonés (MES, DCO, DBO₅).
 416 Les médianes correspondantes, calculées par l'outil, montrent que le dispositif V1 présente une qualité
 417 dégradée par rapport aux dispositifs V0 et V2, qui eux, fournissent des qualités de rejet équivalentes. À titre
 418 d'exemple, pour le paramètre MES, le dispositif V1 fournit un rejet d'une concentration médiane calculée de
 419 10 mg.L⁻¹ tandis que les dispositifs V0 et V2 fournissent un rejet d'une concentration médiane calculée de
 420 4 mg.L⁻¹.

421 Concernant les paramètres azotés, le modèle montre que les paramètres NK et N-NH_4^+ sont influencés
 422 conjointement par le dispositif et par le taux de charge de l'installation. L'étude des effets sur les médianes
 423 montre que V0 assure une meilleure nitrification que V1 et V2, qui eux fournissent des distributions de qualités
 424 de rejet non différenciées statistiquement par l'outil. L'effet du taux de charge est relevé pour les deux
 425 nouveaux groupes identifiés : V0 et (V1+V2) avec une nitrification moindre pour un taux de charge organique
 426 croissant. Pour le paramètre NK par exemple, la médiane calculée par l'outil pour le groupe (V1+V2) avec un
 427 taux de charge inférieur à 70 % s'élève à 4 mg.L⁻¹, contre une médiane de 7 mg.L⁻¹ pour les taux de charge
 428 supérieurs à 70 %. L'outil n'identifie aucun effet significatif au niveau du paramètre N-NO_3^- .

429 En intégrant les données des 11 prélèvements complémentaires réalisés pour le dispositif V2, on obtient des
 430 conclusions équivalentes pour les paramètres carbonés et l'absence d'effet significatif pour le paramètre
 431 N-NO₃⁻. Pour les paramètres NK et N-NH₄⁺, l'effet du dispositif reste identique et les deux groupes V0 et
 432 (V1+V2) se distinguent à nouveau. Cependant, on observe la disparition de l'effet du taux de charge.

433 Les résultats de l'analyse sans les prélèvements complémentaires sont présentés sous forme de « boîtes à
 434 moustaches » à la *figure 4* avec les effectifs de chaque paramètre concerné fournis entre crochets. Les
 435 résultats correspondant au paramètre N-NH₄⁺ ne sont pas représentés, car ils sont très similaires à ceux du
 436 paramètre NK. Les distributions non différenciées par l'outil sont entourées sur la *figure 4*. Les statistiques
 437 descriptives complètes sont disponibles en annexe 1 sous forme de tableau.



438  Distributions non différenciées statistiquement par l'outil « In-linéaire généralisé »

439 *Figure 4 : Distributions sous forme de « boîtes à moustaches » des paramètres distingués par l'outil « In-linéaire*
 440 *généralisé », mesurés en sortie de traitement sur plateforme et exprimés en mg.L⁻¹. Sont représentés : la médiane (trait*
 441 *épais), les 25e et 75e percentiles (les deux extrémités des boîtes), vibrisses inférieure et supérieure (traits inférieurs et*
 442 *supérieurs), nombre de prélèvements (entre crochets).*

443 D'après les conclusions du modèle, il est possible de comparer V1 aux deux autres dispositifs pour les
 444 paramètres carbonés, et V0 aux autres dispositifs pour les paramètres NK et N-NH₄⁺. Les conclusions de l'outil
 445 apparaissent visuellement sur ces représentations avec, pour le dispositif V1, des concentrations médianes
 446 supérieures à celles des autres dispositifs pour les paramètres carbonés. Les concentrations médianes du
 447 paramètre DBO₅ sont assez proches pour les trois dispositifs, avec une plus forte dispersion pour le dispositif
 448 V1 visualisée par la taille du pavé délimitant les 25^{ème} et 75^{ème} percentiles. Les concentrations médianes les
 449 plus faibles sont obtenues pour le dispositif V0 pour les paramètres NK et N-NH₄⁺. Les dispositifs V1 et V2 ne
 450 sont pas distingués statistiquement par l'outil pour ces deux derniers paramètres, malgré la plus forte variabilité
 451 des mesures observée pour le dispositif V1.

452 En complément, les statistiques descriptives montrent que les concentrations médianes du rejet en nitrates
453 du dispositif V2 (50 mg.L⁻¹) sont plus élevées que celles du dispositif V1 (45 mg.L⁻¹). Bien que l'outil ne l'ait
454 pas identifié, ce dispositif V2 est généralement le siège d'une meilleure nitrification que le dispositif V1. Faute
455 de données, il ne peut être comparé à V0 pour ce paramètre.

456 De manière générale, les résultats montrent que, sur plateforme, le dispositif V0 fournit la meilleure qualité de
457 rejet, suivi de près par le dispositif V2. Le dispositif V1 fournit la moins bonne qualité. Cette affirmation repose
458 sur les résultats de l'outil pour les paramètres carbonés, et les statistiques descriptives montrent la même
459 tendance pour les paramètres azotés.

460 **3.2. Comparaison des rejets *in situ* des trois dispositifs**

461 Les performances des trois dispositifs à base de fragments de coco sont comparées en conditions réelles *in*
462 *situ* également à l'aide de l'outil « In linéaire généralisé » et des variables explicatives (1), (2) et (3)
463 mentionnées au paragraphe 2.5.

464 Le *tableau IV* résume les résultats obtenus et identifie les variables explicatives ayant un effet significatif sur
465 les variables dépendantes (ou paramètres).

466 L'analyse par le modèle des distributions des paramètres carbonés (MES, DCO, DBO₅) n'identifie aucun effet
467 significatif. Concernant les paramètres azotés en revanche, le modèle montre que les distributions des
468 paramètres NK et N-NH₄⁺ sont influencées par le dispositif. L'étude des effets sur les médianes montre que
469 V2 assure une meilleure nitrification que V1 mais une moins bonne nitrification que V0. Les médianes
470 calculées par l'outil s'élèvent pour le paramètre N-NH₄⁺ à 5 mg.L⁻¹ pour V0, 23 mg.L⁻¹ pour V1 et 17 mg.L⁻¹
471 pour V2. Le paramètre N-NO₃⁻ présente une médiane calculée plus élevée pour les taux de charge inférieurs
472 à 70 % que pour ceux supérieurs à 70 % (87 mg.L⁻¹ contre 64 mg.L⁻¹). Ce résultat est cohérent avec les
473 mécanismes de nitrification.

474 Les rejets des trois dispositifs sont également comparés aux classes de qualité des eaux usées traitées
475 définies selon les critères du GNP. Pour chaque paramètre étudié, des valeurs seuil [OLIVIER *et al.*, 2018a]
476 définissent trois classes de qualité : « acceptable », « médiocre », ou « inacceptable ». La classe de qualité
477 globale retenue pour un dispositif correspond à la classe la plus discriminante parmi les 80^{èmes} percentiles
478 pour les paramètres MES, DCO et DBO₅, et le 20^{ème} percentile pour le processus de nitrification. La classe de
479 qualité globale des rejets est « acceptable » pour les dispositifs V0 et V2 et « médiocre » pour le dispositif V1
480 [BOUTIN *et al.*, 2017a ; FALIPOU et BOUTIN, 2020]. Les conclusions de l'outil « In-linéaire généralisé » sont
481 retranscrites dans l'analyse de la nitrification, montrant bien que V2 assure une nitrification meilleure que V1
482 mais moins bonne que V0. Les différences observées au niveau des paramètres carbonés n'ayant pas été
483 identifiées par l'outil, elles sont à considérer comme des tendances.

484 **3.3. Analyse comparée des rejets mesurés sur plateforme vs *in situ***

485 Concernant les qualités des rejets des trois dispositifs, les conclusions sont identiques que les prélèvements
486 aient été réalisés sur plateforme ou *in situ* : V0 fournissant la meilleure qualité et V1 la moins bonne.

487 Pour aller plus loin dans cette comparaison de conditions de mesures, il est proposé de rechercher l'impact
488 des caractéristiques des eaux usées à traiter. Des parallèles sont donc réalisés entre les EUB utilisées sur
489 plateforme d'essai et celles observées classiquement en ANC. En l'absence de concentrations d'EUB *in situ*
490 mesurées simultanément à celles des eaux usées traitées, les valeurs retenues sont celles issues de la
491 bibliographie : OLIVIER et *al.*, 2019.

492 Au niveau des débits premièrement, les essais plateforme sont réalisés avec un débit correspondant à
493 150 L.j⁻¹.EH⁻¹. En conditions réelles [OLIVIER et *al.*, 2019], le volume journalier moyen rejeté par un usager
494 est de 100 L.j⁻¹, soit les 2/3 de la valeur retenue sur plateforme. Les débits *in situ* sont cependant extrêmement
495 variables avec des volumes rejetés par usager respectivement de 40 L.j⁻¹ et 188 L.j⁻¹ pour les 10^{ème} et 90^{ème}
496 percentiles.

497 Le *tableau V* regroupe les concentrations moyennes et médianes obtenues pour les paramètres MES, DCO,
498 DBO₅, N-NH₄⁺ et N-NO₃⁻ des EUB des essais sur plateforme, ainsi que celles des EUB des ménages types
499 [OLIVIER et *al.*, 2019]. Pour les résultats plateforme, toutes les données issues de l'ensemble des tests
500 réalisés ont été prises en compte, y compris celles correspondant aux prélèvements complémentaires pour
501 V2, constituant ainsi un jeu de 87 données pour chaque paramètre.

502 On remarque que les concentrations moyennes des eaux usées brutes sont systématiquement plus élevées,
503 d'un facteur 1,4 à 1,7 pour les données *in situ* par rapport aux données plateforme.

504 Les charges organiques journalières sont enfin calculées sur plateforme, ramenées à une capacité de 5 EH
505 pour le dispositif V0. Les charges moyennes obtenues sont présentées dans le *tableau VI* et comparées aux
506 charges correspondant au 90^{ème} percentile d'un ménage-type *in situ*. Le tableau présente également les
507 charges hydrauliques correspondantes.

508 L'écart entre les charges organiques sur plateforme et *in situ* est réduit à un facteur allant de 1,10 à 1,28, les
509 charges organiques étant systématiquement plus élevées en conditions de recueil *in situ*. Les débits plus
510 importants sur plateforme compensent partiellement les concentrations moins élevées que celles observées
511 *in situ*.

512 Ainsi, les charges organiques peuvent être considérées comme équivalentes entre les deux situations
513 plateforme et *in situ* et, en conséquence, l'hypothèse de rendements d'épuration équivalents devient
514 pertinente. Les concentrations d'entrée étant plus faibles sur plateforme, on observe en lien immédiat avec
515 l'hypothèse de l'égalité des rendements des concentrations de rejet plus basses sur plateforme qu'en situation
516 réelle. Ainsi, la concentration d'un rejet mesurée sur plateforme ne peut pas correspondre à celle mesurée *in*
517 *situ*. En revanche, l'hypothèse de rendements équivalents dans les deux situations, basée sur la comparaison
518 des charges organiques à traiter est retenue et développée par la suite.

519 **4. Discussion**

520 **4.1. Rendements des dispositifs**

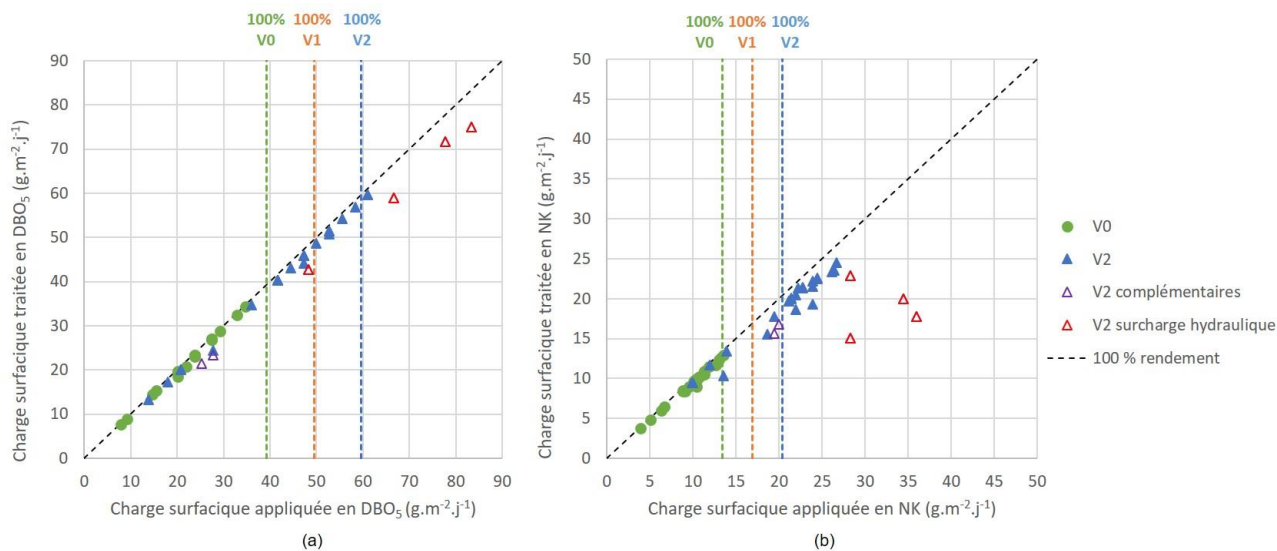
521 Les rendements globaux des dispositifs sont évalués à partir des données plateforme, qui seules permettent

522 de connaître à la fois les concentrations des EUB et du rejet. Pour les dispositifs V0 et V2, la connaissance
 523 des concentrations en sortie de fosse toutes eaux permet de calculer indépendamment les rendements
 524 respectifs de la fosse et du filtre. Ces différents résultats sont présentés par leur valeur moyenne dans le
 525 *tableau VII*.

526 Les rendements de la fosse calculés à partir des données recueillies sur plateforme sont supérieurs, de l'ordre
 527 de 20 %, aux hypothèses retenues, issues de la bibliographie, de 60 % pour les MES, 30 % pour la DCO et la
 528 DBO₅ et 0 % pour le NK. Cette différence est attribuée à la faible quantité de boues stockées dans la fosse et
 529 dont la dégradation anaérobie est à peine engagée du fait de la récente mise en eau du système. Ainsi
 530 l'équilibre faisant intervenir les deux processus de sédimentation et d'enrichissement des eaux par la re-
 531 solubilisation d'une partie de la matière organique n'est pas encore atteint. Ces rendements observés sur
 532 plateforme ne reflètent donc pas la réalité du terrain.

533 Pour les dispositifs V0 et V2 où les concentrations en sortie de fosse sont disponibles, les charges appliquées
 534 sur les filtres (*équation (3)*) et les charges traitées (*équation (4)*) sont calculées en utilisant les concentrations
 535 réelles d'entrée et de sortie des filtres. Les prélèvements complémentaires du dispositif V2 sont également
 536 considérés.

537 La détermination de ces charges permet, avec une visualisation graphique, de fournir des valeurs de
 538 rendement du filtre (*équation (5)*) grâce à des régressions linéaires. Plus les valeurs s'approchent de la
 539 bissectrice, plus le rendement est proche de 100 %. La *figure 5* représente les résultats obtenus pour les
 540 paramètres DBO₅ et NK.



541

542 *Figure 5 : Représentation des charges surfaciques traitées en DBO₅ (a) et en NK (b) par rapport aux charges appliquées*
 543 *correspondantes*

544 Les rendements obtenus pour chaque paramètre et chaque filtre de dispositif figurent dans le *tableau VII*.
 545 Cette méthode par régression linéaire, qui minimise les écarts à la moyenne, fournit une estimation du
 546 rendement plus précise que celle du calcul simple de la moyenne.

547 La représentation graphique visualise la grande indépendance entre les rendements des filtres et la charge
548 surfacique appliquée, observée pour tous les paramètres carbonés (*figure 5* pour la DBO₅ à titre d'exemple).
549 Elle est confortée par les coefficients de régression très proches de 1 (*tableau VII*).

550 En revanche, certains des points correspondant aux prélèvements complémentaires du dispositif V2
551 s'éloignent fortement de la bissectrice pour le paramètre NK (*figure 5*). Les quatre points incriminés
552 correspondent à la séquence d'essai en surcharge hydraulique à 200 %. Cela indique une sensibilité de la
553 nitrification pour des essais à charges hydrauliques importantes, appliquant le double du débit nominal du
554 dispositif (1500 L.j⁻¹). Il est à noter que cette situation expérimentale n'est pas retrouvée *in situ*, les volumes
555 journaliers maxima mesurés d'un ménage type de 4 à 5 EH ne dépassant pas 1000 L.j⁻¹ [OLIVIER et al., 2019].
556 Dans ces conditions de surcharge, le rendement en NK se limite à un taux de 62,6 % comparativement à celui
557 de 91,0 % mesuré pour le dispositif V2 sans considérer les prélèvements complémentaires.

558 L'indépendance entre les rendements obtenus par les filtres et la charge surfacique appliquée permet de
559 confirmer l'hypothèse, pour tous les paramètres carbonés, de l'équivalence des rendements du filtre entre les
560 deux situations plateforme et *in situ*. Cette équivalence n'est pas démontrée pour la fosse toute eaux. Ainsi,
561 pour prédire les rendements globaux atteints *in situ*, sont utilisés les rendements des fosses fournis par la
562 littérature et les rendements des filtres déterminés sur plateforme par les régressions (*équation (6)*). Les
563 prélèvements complémentaires du dispositif V2 ne sont pas considérés.

564 Afin de pouvoir réaliser l'exercice pour le dispositif V1 malgré la méconnaissance des concentrations de sortie
565 de fosse, les rendements de la fosse sont approximés par les moyennes des rendements établis sur les autres
566 dispositifs (soit 82,6 % pour les MES, 51,5 % pour la DCO, 47,7 % pour la DBO₅ et 8,4 % pour le NK).
567 L'utilisation de ces rendements estimés permet de réaliser des régressions linéaires pour le dispositif V1 au
568 même titre que pour V0 et V2 et d'obtenir des rendements du filtre estimés pour chaque paramètre. Ces
569 rendements du filtre peuvent enfin être utilisés pour prédire les rendements globaux atteints *in situ* en utilisant
570 *l'équation (6)*.

571 Les rendements globaux *in situ* prédits sont présentés dans le *tableau VIII* ; ils sont de 0,3 à 4,1 % plus faibles
572 que les rendements globaux moyens obtenus sur plateforme (*tableau VII*).

573 Ces rendements globaux *in situ* sont enfin utilisés pour évaluer des concentrations d'entrée maximales
574 correspondant aux objectifs de qualité minimale du rejet *in situ*. Les concentrations ainsi définies sont alors
575 rapportées au percentile correspondant sur les distributions des concentrations en EUB disponibles [OLIVIER
576 et al., 2019]. Ces résultats sont également présentés dans le *tableau VIII*.

577 Ainsi, pour le paramètre MES et le dispositif V2 par exemple, la performance calculée de 97,5 % permet
578 d'atteindre l'objectif de rejet de 30 mg.L⁻¹ si la concentration en EUB ne dépasse pas 1200 mg.L⁻¹. Cette
579 concentration d'entrée correspond au 93^{ème} percentile de la distribution EUB disponible, signifiant ainsi que le
580 dispositif V2 permet de respecter l'objectif de rejet en MES dans 93 % des situations rencontrées sur le terrain.

581 Le dispositif V1 était muni d'un auget unidirectionnel lors des tests pour l'obtention de l'agrément. La méthode
582 d'analyse développée ci-dessus montre que, pour ce dispositif, l'atteinte des objectifs de rejet *in situ* est
583 obtenue dans moins de 50 % des situations vis-à-vis du paramètre MES et dans moins de 70 % vis-à-vis de

584 la DCO. En revanche, cette méthode confirme les performances des dispositifs V0 et V2.

585 Une généralisation de ces résultats à l'ensemble des dispositifs testés peut s'envisager sous réserve qu'ils
586 soient d'une configuration équivalente, constituée d'une fosse et d'un filtre. Elle est basée sur l'hypothèse
587 d'une qualité de rejet requise *in situ* dans 80 % des cas. Les rendements globaux minima à atteindre *in situ*
588 sont donc évalués à partir des 80^{èmes} percentiles des distributions EUB (soit 788 mg.L⁻¹ pour les MES et
589 690 mg.L⁻¹ pour la DBO₅) [OLIVIER et al., 2019] et des objectifs de qualité du rejet (*tableau VIII*). Ils
590 s'établissent à 96,2 % et 94,9 % respectivement pour les paramètres MES et DBO₅. Les rendements globaux
591 à atteindre sur plateforme peuvent être estimés en tenant compte des différences de performances des fosses
592 toutes eaux et en considérant les rendements des filtres équivalents sur plateforme et *in situ*. En utilisant
593 l'équation (7), on obtient des rendements globaux à atteindre sur plateforme de 98 % pour les MES et 96 %
594 pour la DBO₅.

595 **4.2. Facteurs d'explication d'ordre technique**

596 L'objectif de cette partie est d'identifier en quoi les modifications techniques apportées aux dispositifs
597 expliquent les résultats différents obtenus entre V0, V1 et V2, sachant que les rejets des dispositifs V0 et V2
598 sont classés comme étant « acceptables » par la méthode du GNP. Une analyse fine des paramètres azotés
599 permet de mieux cerner les conditions d'oxygénation dans le massif filtrant.

600 L'outil « In linéaire généralisé » est à nouveau utilisé pour identifier les potentiels effets des variables (2), (4),
601 (5), (6) et (7) mentionnées au paragraphe 2.5, incluant donc le type d'auget (variable (6)) et le type de matériau
602 (variable (7)) utilisés sur le filtre. L'effet de l'âge de l'installation (variable (2)) est toujours pris en compte.
603 L'effet de la charge surfacique (variable (5)) est recherché, cette charge surfacique est l'unité commune
604 permettant de regrouper ensemble les dispositifs. Elle est calculée à partir de l'équation (3) en utilisant les
605 rendements des fosses fournis par la littérature, et ce, quelle que soit la source des données. Les trois
606 variables « charge surfacique », « taux de charge » et « dispositif » sont dépendantes entre elles et les effets
607 du dispositif (variable (1)) et du taux de charge (variable (3)) ne sont alors plus recherchés. Toutes les données
608 disponibles (après démarrage de la nitrification sur plateforme) sont utilisées pour cette analyse. L'effet de la
609 source des données, c'est-à-dire plateforme ou *in situ*, (variable (4)), est également inclus dans l'outil.

610 L'outil identifie un effet de la source de données pour tous les paramètres à l'exception de la DBO₅ (*tableau IX*,
611 « analyse globale »). Les différentes médianes calculées par l'outil montrent, dans tous les cas, que les
612 concentrations de sortie sont plus faibles sur plateforme qu'*in situ* (à l'exception du paramètre N-NO₃⁻ où l'effet
613 inverse est logiquement observé). Cet effet était attendu au vu des concentrations d'entrée plus faibles sur
614 plateforme qu'*in situ* pour des charges appliquées équivalentes (paragraphe 3.3). L'âge n'est jamais un effet
615 identifié. En revanche, de nombreux effets conjoints à celui de la source de données sont identifiés : i) le type
616 d'auget pour les paramètres MES, DCO et NK, ii) la charge surfacique pour le paramètre N-NO₃⁻, et iii) le
617 matériau pour les paramètres DCO, NK et N-NH₄⁺.

618 Les variables « auget » et « matériau » ne sont pas indépendantes puisque les dispositifs munis d'auget
619 unidirectionnel sont garnis d'un unique matériau, le matériau 1 (*tableau II*). Afin d'étudier ces deux effets
620 séparément, l'outil a été réutilisé, d'abord uniquement sur les données correspondant au matériau 1 pour
621 analyser l'effet « auget », puis uniquement sur les données correspondant à un auget bidirectionnel pour

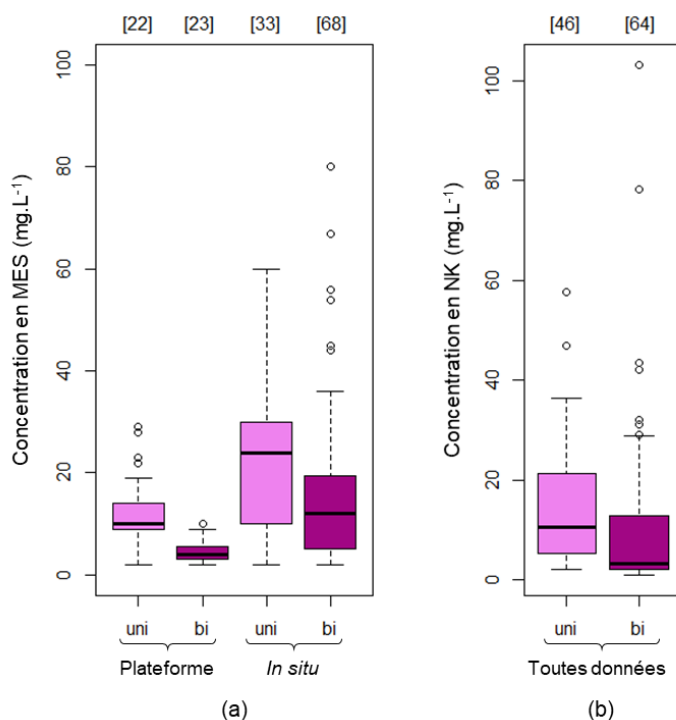
622 analyser l'effet « matériau ». Ces différents résultats sont également présentés dans le *tableau IX*.

623 Avec le jeu de données restreint au matériau 1, on observe, par rapport aux résultats avec le jeu de données
624 complet, l'apparition d'effets supplémentaires de la source des données, du type d'auget, et de la charge
625 surfacique sur le paramètre DBO₅, ainsi que l'apparition d'un effet de la charge surfacique sur le paramètre
626 DCO. Dans le cas d'effets conjoints triples à deux modalités (auget unilatéral ou bilatéral par exemple), la
627 pertinence de l'analyse des résultats est dépendante du nombre de données disponibles pour représenter
628 chacune des six situations. C'est pourquoi l'analyse des effets simples ou des effets conjoints doubles est
629 privilégiée, en l'occurrence ici l'impact simple du type d'auget sur la distribution des concentrations en NK et
630 l'impact conjoint de la source des données et du type d'auget sur les MES. Les médianes obtenues sont
631 regroupées dans le *tableau X*.

632 Avec le jeu de données restreint à un auget bidirectionnel, on observe, par rapport aux résultats avec le jeu
633 de données complet, la disparition de l'effet de la source données sur les paramètres DCO et N-NO₃⁻, ainsi
634 que l'apparition d'un effet de la charge surfacique sur le paramètre NK. Il est alors possible d'analyser l'effet
635 simple du type de matériau sur la distribution des concentrations en DCO, ainsi que l'effet conjoint avec la
636 source de données sur celle du paramètre N-NH₄⁺. L'effet triple relatif au paramètre NK n'est pas analysé. Les
637 médianes obtenues sont également regroupées dans le *tableau X*.

638 4.2.1. Analyse de l'effet du type d'auget

639 Le *tableau X* montre que les médianes calculées sont systématiquement supérieures avec un auget
640 unidirectionnel (20 mg.L⁻¹ contre 9 mg.L⁻¹ pour les MES *in situ* par exemple), avec un facteur multiplicatif d'au
641 moins deux par rapport aux médianes obtenues en cas d'auget bidirectionnel. L'utilisation d'un auget
642 bidirectionnel permet donc d'obtenir des qualités de rejet améliorées au niveau des paramètres MES et NK.
643 Ce constat est visualisé par la représentation des distributions sous forme de boîtes à moustaches (*figure 6*).



644

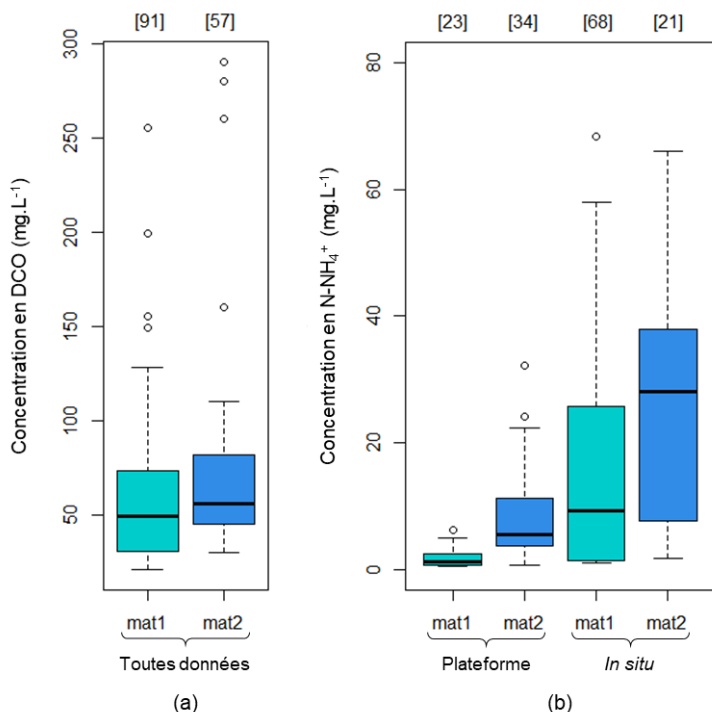
645 Figure 6 : Comparaison des distributions des paramètres MES (a) et NK (b) selon le type d'auget, unidirectionnel (uni) ou
 646 bidirectionnel (bi) [jeu de données restreint au matériau 1]. Sont représentés : la médiane (trait épais), les 25e et 75e
 647 percentiles (les deux extrémités des boîtes), vibrisses inférieure et supérieure (traits inférieurs et supérieurs), nombre de
 648 prélèvements (entre crochets).

649 À titre informatif, et bien que cet effet ne soit pas identifié par l'outil, l'analyse par les statistiques descriptives,
 650 réalisée mais non décrite ici, indique pour les autres paramètres mesurés *in situ* une tendance à l'amélioration
 651 de la qualité mesurée par le paramètre DCO en cas d'usage d'un auget bidirectionnel, alors que les
 652 concentrations en DBO₅ restent équivalentes. Vis-à-vis de la dégradation de l'azote, en considérant un jeu de
 653 données identique pour les trois paramètres azotés, la tendance à l'amélioration est également visible pour
 654 les paramètres NK et N-NH₄⁺. En revanche, les concentrations en nitrates ont tendance à être plus élevées
 655 avec l'usage d'un auget unidirectionnel comparé à un auget bidirectionnel. En l'absence des données EUB, il
 656 est difficile d'aller plus loin dans l'interprétation.

657 Ainsi, l'usage d'un auget bidirectionnel améliore la qualité des eaux usées traitées grâce à une meilleure
 658 distribution des eaux usées à traiter au sein du massif.

659 4.2.2. Analyse de l'effet du matériau

660 Les résultats du *tableau X* montrent des médianes plus élevées pour le jeu de données correspondant au
 661 matériau 2. Les médianes calculées par l'outil s'élèvent par exemple à 6 mg.L⁻¹ de N-NH₄⁺ pour le matériau 1
 662 contre 23 mg.L⁻¹ pour le matériau 2 *in situ*. Des représentations des distributions sous forme de boîtes à
 663 moustaches illustrent ces résultats (*figure 7*).



664

665 Figure 7 : Comparaison des distributions des paramètres DCO (a) et N-NH₄⁺ (b) (concentrations de sortie) selon le matériau
 666 [jeu de données restreint aux augets bidirectionnels]. Sont représentés : la médiane (trait épais), les 25e et 75e percentiles
 667 (les deux extrémités des boîtes), vibrisses inférieure et supérieure (traits inférieurs et supérieurs), nombre de prélèvements

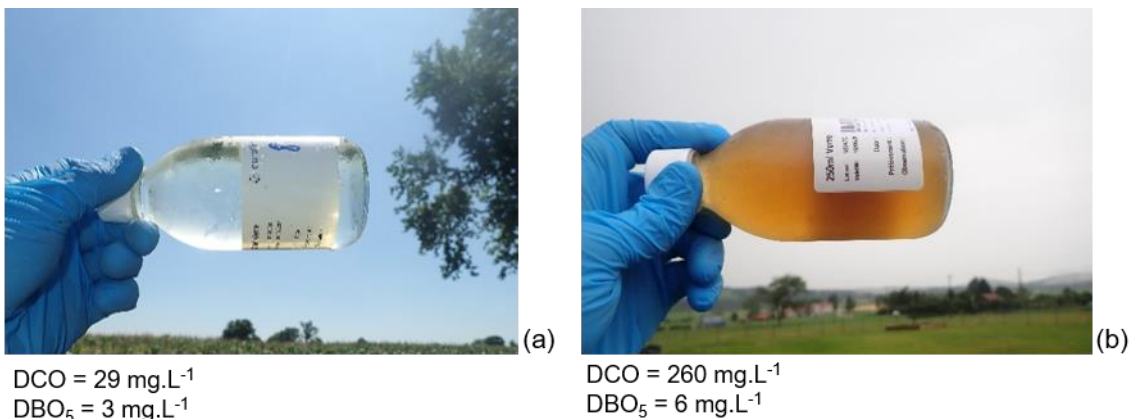
668 (entre crochets).

669 L'utilisation du matériau 2 conduit donc à une qualité d'eau usée traitée moins bonne qu'avec le matériau 1
670 pour le paramètre N-NH₄⁺ et dans une moindre mesure pour la DCO.

671 À titre informatif, et bien que ces effets ne soient pas tous identifiés par l'outil, l'analyse par les statistiques
672 descriptives des autres paramètres mesurés *in situ*, réalisée mais non décrite ici, indique des tendances
673 contradictoires entre elles, avec un intérêt pour le matériau 1 au regard des paramètres DCO, NK et N-NH₄⁺ et
674 un intérêt pour le matériau 2 au regard des paramètres MES, DBO₅ et N-NO₃⁻.

675 Pour expliquer ces résultats, plusieurs hypothèses ont été envisagées dont la présence de courts-circuits. Les
676 performances moindres du matériau 2 pour le paramètre DCO pourraient être expliquées par des écoulements
677 plus rapides réduisant localement le temps de contact et engendrant des concentrations des rejets plus
678 élevées. Toutefois, les valeurs *in situ* montrent des concentrations en MES non seulement plus faibles mais
679 également très stables lors de l'usage du matériau 2. Ces deux résultats étant contradictoires, l'hypothèse de
680 courts-circuits n'est pas retenue.

681 Sachant que l'apport d'eaux usées à traiter sur les fragments de coco enrichit les eaux d'acides fulviques par
682 lessivage des tannins en entraînant leur coloration plus ou moins foncée [TEJANO, 1985], l'analyse des
683 données s'est alors orientée vers l'examen visuel de la coloration des eaux usées traitées. Des photographies
684 sont disponibles pour les données *in situ*, recueillies par les agents préleveurs. La *figure 8* montre deux
685 exemples de prélèvements de rejet de dispositifs V2 différents.



686

687 *Figure 8 : Coloration et concentrations respectives en DCO et DBO₅ de deux échantillons d'eaux usées traitées prélevés*
688 *in situ en sortie de deux dispositifs V2*

689 Cette similitude entre les concentrations importantes en DCO et la forte coloration appuie la thèse d'un effet
690 du lessivage des acides fulviques, responsable de concentrations des rejets élevées en DCO. Les trois
691 installations aux rejets fortement concentrés en DCO ont toutes un peu plus de 2 ans d'âge et cette hypothèse
692 de lessivage, connue pour des ouvrages récents [LACASSE, 2016] semble se prolonger davantage. Ce
693 lessivage visible plus longtemps, est peut-être à expliquer par les structures différentes des macro et
694 microporosités des deux matériaux (paragraphe 1.2), dont les sollicitations hydrauliques accentueraient les
695 conséquences au niveau du lessivage.

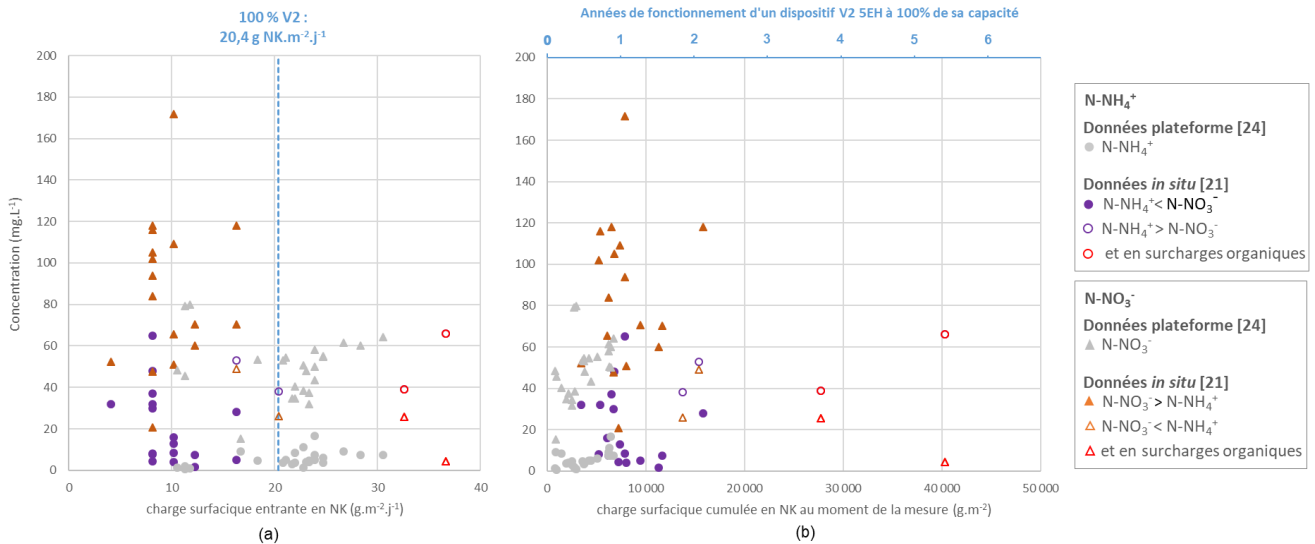
696 En complément, la présence d'acides fulviques pourraient également expliquer la nitrification modérée
697 observée en conditions *in situ*. Effectivement, TAN et LOPEZ-FALCON [2008] ont montré que la présence
698 d'acides fulviques dans les sols aurait un impact sur la dégradation des formes azotées en retardant les
699 processus de nitrification. Seules des études complémentaires *in situ* ou en laboratoire pour des aspects plus
700 fondamentaux permettraient de valider cet ensemble d'hypothèses autour des écoulements et du relargage
701 dans diverses compositions de fragments de coco.

702 Pour résumer, il n'est pas possible en l'état actuel de conclure sur le bénéfice du matériau 2 par rapport au
703 matériau 1. Effectivement, l'outil statistique identifie des concentrations en DCO et N-NH₄⁺ plus faibles pour le
704 matériau 1 que le matériau 2, sans effet conjoint de l'âge. La coloration et le lessivage des acides fulviques
705 est une hypothèse retenue pour expliquer ces écarts de concentrations. Toutefois, vis-à-vis des paramètres
706 réglementaires MES et DBO₅, le bénéfice du matériau 2 est visible à l'aide des statistiques descriptives
707 [FALIPOU et BOUTIN, 2020] et s'expliquerait par un développement bactérien plus intense stimulé par
708 l'oxygénation d'un matériau à plus forte porosité.

709 **4.2.3. Analyse de l'effet des charges appliquées sur la nitrification**

710 L'effet de la charge surfacique en DBO₅ ayant été identifié pour le paramètre N-NO₃⁻ (*tableau IX* : ligne
711 « Analyse globale »), il a semblé pertinent d'étudier en complément l'effet de la charge surfacique en NK sur
712 les paramètres azotés. Les effets identifiés avec cette nouvelle variable explicative sont les mêmes qu'avec
713 la charge en DBO₅, avec un effet conjoint de la source de données et de la charge surfacique en NK sur le
714 paramètre N-NO₃⁻. Par manque de données recueillies sur plateforme dans les catégories « < 40 % V2 » et
715 « 40 - 60 % V2 », seuls les résultats *in situ* sont étudiés en utilisant à nouveau le modèle « In-linéaire
716 généralisé ». L'outil identifie un effet de deux catégories de charges : « < 40 % V2 » d'un côté et les deux
717 autres catégories supérieures de l'autre. Les médianes calculées par l'outil pour le paramètre N-NO₃⁻ s'élèvent
718 à 100 mg.L⁻¹ pour la catégorie « < 40 % V2 » contre 58 mg.L⁻¹ pour les charges supérieures, montrant ainsi
719 une nitrification moindre avec une augmentation de la charge surfacique en NK.

720 La réflexion se poursuit désormais grâce à la connaissance des différentes formes d'oxydation de l'azote, qui
721 permet de les utiliser comme un indicateur de bon fonctionnement du système. Ce processus, en effet très
722 sensible aux conditions électrochimiques, est caractéristique d'un bon niveau d'oxydation qui règne
723 normalement dans un massif filtrant garni de matériau inerte [BOUTIN et *al.*, 1997]. Les mesures conjointes
724 des concentrations de nitrates et de sels ammoniacaux résiduels (exprimés sous forme élémentaire en azote)
725 constituent donc un indicateur pertinent. Si les concentrations de nitrates sont toujours supérieures à celles
726 des sels ammoniacaux, on peut conclure au bon fonctionnement du dispositif lié à un apport en oxygène
727 suffisant. Ainsi, les concentrations des rejets azotés (paramètres N-NH₄⁺ et N-NO₃⁻) du dispositif V2 sont
728 analysées en fonction de la charge surfacique entrante en NK (*figure 9*), soit journalière le jour de la mesure,
729 soit cumulée selon le nombre de jours de fonctionnement (en supposant que le nombre d'utilisateurs soit resté
730 constant pour les données *in situ*). Afin d'éviter des interférences avec les évolutions techniques identifiées
731 précédemment (auget et matériau), le choix d'analyse est volontairement restreint au dispositif V2
732 actuellement commercialisé dont les données portent, de plus, sur une plus large gamme de charge surfacique
733 (*figure 5*). Les données utilisées sont les résultats *in situ* ainsi que les données plateforme, à l'exclusion des
734 prélèvements à fort débit, ces derniers représentant des conditions non rencontrées *in situ* (paragraphe 4.1).



735

736 *Figure 9 : Concentrations des rejets azotés (N-NH₄⁺ et N-NO₃⁻) du dispositif V2 en fonction de la charge surfacique entrante*
 737 *en NK, soit journalière au jour de la mesure (a), soit cumulée selon le nombre de jours de fonctionnement (b).*

738 Les charges surfaciques journalières en NK appliquées lors des essais sur plateforme ne montrent pas de
 739 situation de nitrification incomplète à des valeurs de charges surfaciques atteignant 30 g.m⁻².j⁻¹ (*figure 9(a)*).
 740 En conditions *in situ*, les charges appliquées sont généralement plus faibles, en excluant les deux conditions
 741 de fortes surcharges organiques (160 à 180 % de la capacité nominale). Pourtant, deux cas de nitrification
 742 incomplètes sont observés pour des charges surfaciques variant entre 15 et 20 g.m⁻².j⁻¹.

743 La *figure 9* permet également de comparer les résultats plateforme et *in situ* en fonction de la charge surfacique
 744 en NK cumulée depuis la mise en route des différents systèmes. Cette forme d'analyse par le biais des charges
 745 surfaciques cumulées est complémentaire à celle basée sur les charges surfaciques journalières ; elle doit
 746 être interprétée avec prudence puisqu'elle positionne de façon identique les deux situations suivantes : i)
 747 longue durée et faible charge appliquée et ii) courte durée et forte charge appliquée. Ces deux conditions de
 748 fonctionnement conduiront pourtant à des vieillissements différents. Par exemple, les seules valeurs
 749 maximales disponibles au-delà de 18 000 g NK.m⁻² (*figure 9(b)*) concernent des dispositifs jeunes (en
 750 fonctionnement depuis à peine 2,5 ans) et en nette surcharge organique. Pour les charges cumulées
 751 inférieures à 18 000 g NK.m⁻², deux cas de nitrification incomplète sont observés. En complément, malgré
 752 l'importance des charges cumulées appliquées jusqu'à 40 000 g NK.m⁻², aucun dispositif n'a montré de signe
 753 de flaquage ou de difficultés d'écoulement en conditions *in situ*.

754 Cette analyse des données en fonction de la charge cumulée montre également que les résultats plateforme
 755 ne sont pas de durée suffisante pour atteindre une charge cumulée en NK conditionnant l'apparition de cette
 756 sensibilité. Le suivi *in situ* complémentaire est pertinent et contribue à évaluer le vieillissement des
 757 installations, les essais plateforme ne pouvant l'anticiper.

758 Pour mieux identifier les seuils de la nitrification, la réalisation de mesures complémentaires d'installations
 759 plus âgées fonctionnant à des taux de charge proches de la valeur nominale permettra une analyse étayée
 760 en lien avec les charges surfaciques cumulées. Les fortes concentrations en azote observées parfois en
 761 conditions *in situ* sont associées à des volumes d'eau restreints, conduisant de fait à une disponibilité en

762 alcalinité pouvant être insuffisante pour le bon déroulement de la nitrification. Globalement, une meilleure
763 compréhension des interactions physico-chimiques entre la dégradation des différentes formes de matières
764 organiques des fragments de coco et le développement de la biomasse responsable du traitement des eaux
765 usées permettrait de mieux appréhender le vieillissement des dispositifs.

766 **Conclusion**

767 L'étude réalisée a permis de comparer la qualité des rejets mesurés lors d'essais sur plateforme à celle
768 obtenue en conditions *in situ*, pour trois dispositifs à base de fragments de coco (V0, V1 et V2) utilisés en
769 France depuis 2010 en assainissement non collectif. Bien que la surface de filtration des dispositifs ait diminué
770 de V0 jusqu'à V2, les analyses statistiques des résultats sur plateforme ont permis de déterminer que pour les
771 paramètres carbonés (MES, DBO₅ et DCO), les dispositifs V0 et V2 sont équivalents alors que le dispositif V1
772 réalise de moins bonnes performances. Pour les paramètres azotés (NK, N-NH₄⁺), le dispositif V0 présente
773 les médianes les plus faibles comparativement aux dispositifs V1 et V2 dont la qualité des rejets n'est pas
774 significativement différente l'une de l'autre selon les résultats de l'outil « In linéaire généralisé ». Toutefois, une
775 plus grande variation des concentrations est constatée pour V1 (de 3 à 37 mg.L⁻¹ pour le NK par exemple)
776 comparativement à V2 (de 2 à 17 mg.L⁻¹ pour le NK par exemple). En conditions *in situ*, l'outil statistique ne
777 détecte pas de différence significative entre les trois dispositifs pour les paramètres carbonés, mais identifie
778 la même tendance que sur plateforme pour l'azote, soit que le dispositif V2 assure une meilleure nitrification
779 que V1 mais moins bonne que V0. Ces derniers résultats *in situ* sont en totale cohérence avec les résultats
780 déjà disponibles [Boutin *et al.*, 2017a ; FALIPOU et BOUTIN, 2020].

781 Afin d'approfondir la comparaison entre les deux conditions de mesures, la qualité des eaux brutes utilisées
782 sur plateforme a été comparée à celle observée en conditions *in situ*. Bien que les concentrations mesurées
783 sur plateforme soient très inférieures, d'un facteur 1,4 jusqu'à 1,7 selon les paramètres, à celles observées *in*
784 *situ*, les débits par usager appliqués sur plateforme (150 L.EH⁻¹.j⁻¹) sont plus importants qu'en conditions
785 réelles (100 L.EH⁻¹.j⁻¹) amenant à des charges organiques appliquées sur les filtres assez homogènes pour
786 les deux conditions. Sur cette base, l'hypothèse de l'équivalence des rendements obtenus sur plateforme ou
787 *in situ* est considérée comme valide, permettant ainsi de déterminer le rendement requis sur plateforme pour
788 assurer le respect des exigences réglementaires. Par exemple, un rendement d'élimination de 98 % des MES
789 sur plateforme permettrait d'assurer le respect de l'exigence de 30 mg.L⁻¹ en conditions *in situ* pour les
790 dispositifs du même type, constitués d'une fosse toute eaux et d'un filtre en série. Sur la base de ces premiers
791 résultats, il semble possible d'appliquer cette méthode à l'ensemble des dispositifs agréés en France. Cette
792 analyse pourrait être précisée en étudiant spécifiquement les résultats des prélèvements plateforme
793 complémentaires ou de prélèvements réalisés dans des conditions particulières.

794 Concernant l'impact des évolutions techniques des dispositifs à base de fragments de coco sur leur
795 performance, l'étude démontre clairement les avantages d'une distribution utilisant un auget bidirectionnel. La
796 réduction des surfaces filtrantes n'a pas d'effet sur la qualité des rejets exprimée à l'aide des paramètres
797 réglementaires MES et DBO₅, et la comparaison des deux compositions de média filtrants utilisés ne permet
798 pas de conclure sur l'avantage du matériau 1 par rapport au matériau 2, en raison des effets contraires
799 observés selon les paramètres mesurés avec les deux méthodologies statistiques utilisées. Des investigations
800 supplémentaires sont requises pour mieux comprendre les facteurs d'influence.

801 En ce qui concerne les paramètres azotés, les analyses réalisées permettent de constater que, malgré des
802 charges surfaciques appliquées en NK plus élevées sur plateforme (jusqu'à 30 g.m⁻².j⁻¹) qu'en conditions *in*
803 *situ* (5 à 20 g.m⁻².j⁻¹), ces essais sur plateforme ne permettent pas de prédire le vieillissement *in situ*, analysé
804 grâce au degré de nitrification. Le suivi de la qualité des rejets en conditions *in situ* est complémentaire aux
805 essais plateforme, car il permet d'identifier l'effet des charges appliquées cumulées en NK sur le maintien avec
806 le temps d'une nitrification adéquate (N-NO₃⁻ > N-NH₄⁺). Pour confirmer les tendances observées et les limites
807 applicables, des mesures supplémentaires *in situ* en conditions de charge proches des valeurs nominales sont
808 requises. Ce suivi pourrait utilement être complété par une analyse fine de la dégradation physicochimique
809 des fragments de coco et de son impact sur les processus de dégradation de la pollution azotée.

810 **Remerciements**

811 Les auteurs remercient Yves LE GAT (INRAE Nouvelle-Aquitaine Bordeaux) et Yan GILBERT (PTEE) pour
812 leur soutien et discussions autour des outils statistiques utilisés dans cet article. INRAE remercie tout
813 particulièrement les acteurs de l'étude de suivi *in situ* ayant recueilli les données de 2011 à 2016.

814 **Bibliographie**

815 AFNOR NF EN 12566-3+A2 (2013) « Petites installations de traitement des eaux usées pour une population
816 totale équivalente (PTE) jusqu'à 50 habitants — Partie 3 : Stations d'épuration des eaux usées domestiques
817 prêtes à l'emploi et/ou assemblées sur site » P 16-800-3, Publication AFNOR 67 p.

818 AYPHASSORHO H., BESSON A. et LEBENTAL B. (2014) « Mission d'évaluation de la procédure 547
819 d'agrément des dispositifs de traitement en assainissement non collectif et sur les prescriptions 548 techniques
820 pour une capacité inférieure ou égale à 20 EH » Rapport n°009159-01 CGEDD- IGAS, 5-92.

821 BOUTIN C., DUCHÈNE P., LIÉNARD A., ALEXANDRE O., LAGRANGE C., LAKEL A. et ORDITZ D. (1997)
822 « Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités » Document technique FNDAE n°22, 98 p.

823 BOUTIN C., LACASSE R. et OLIVIER L. (2018) Suivi *in situ* de dispositifs d'assainissement non collectif à
824 base de fragments de coco. Assises nationales de l'ANC, Oct 2018, Dunkerque, France, disponible en ligne :
825 hal-02608041 v1

826 BOUTIN C., OLIVIER L., AGENET Ph., PARISI S., ARTUIT P., BRANCHU Ph., DECOUT A., DUBOIS V.,
827 DUBOURG L., DHUMEAUX D., JOUSSE S., LEVAL C., MOULINE B., PORTIER N., RAMBERT C., SOULIAC
828 L. et SZABO C. (2017a) « Assainissement non collectif : le suivi *in situ* des installations de 2011 à 2016. Fiches
829 techniques par dispositif » 69 p., disponible en ligne : hal-02609275 v1

830 BOUTIN C., OLIVIER L., AGENET Ph., PARISI S., ARTUIT P., BRANCHU Ph., DECOUT A., DUBOIS V.,
831 DUBOURG L., DHUMEAUX D., JOUSSE S., LEVAL C., MOULINE B., PORTIER N., RAMBERT C., SOULIAC
832 L. et SZABO C. (2017b) « Assainissement non collectif : Le suivi *in situ* des installations de 2011 à 2016 »
833 Rapport final 186 p., disponible en ligne : <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00054553>.

834 CHOUBERT J.M., CRETOLLIER C., GREGOIRE J.C., PAPIAS S., BOURGEOIS V., FORQUET N., CLEMENT
835 R., BUDZINSKI H., Le MENACH K., AUGAGNEUR S., BESSOULE J.J., Le GUEDART M., MASSON M.,

836 DHERRET L., AHYERRE M., BOUTIN C., COQUERY M. et BOUYER M. (2016) Avancement 2015 du Projet
837 BIOTRYTIS en vue du prochain rapport : « 1ère synthèse de 6 ZRVs de taille semi-industrielle en démarrage :
838 hydrodynamique, paramètres majeurs, micropolluants, indicateurs lipidiques », rapport d'étape interne Irstea

839 FALIPOU E. et BOUTIN C. (2020) « Fiche technique du dispositif Ecoflo®PE2 selon la méthodologie
840 d'évaluation de "Assainissement non collectif » 1 p., disponible en ligne : hal-02893424 v1

841 FALIPOU E., LAOUAR I., BOUTIN C., LE GAT Y. (2021) Scripts du modèle In-linéaire généralisé avec censure
842 à gauche, disponible en ligne : https://gitlab.irstea.fr/reversaal/loglinear-regression/-/tree/Mise_a_dispo_1

843 GILBERT Y., PETTIGREW D., BÉLANGER M.-C. et LACASSE R. (2015) « Determining factors for the
844 development of organic filtering media ». On-Site Wastewater Mega-Conference, NOWRA, Virginia Beach,
845 VA.

846 KARAMANEV D.G., BÉLANGER M.-C., CHAVARIE C., CHAOUKI J. et MAYER R. (1994) « Hydrodynamics
847 characteristics of a trickling bed of peat moss used for biofiltration of wastewater. » *The Canadian Journal of*
848 *Chemical Engineering*, 72: 411-417.

849 LACASSE R. (2016) « COD concentration at Ecoflo® coconut-based filter effluent. » *Premier Tech Aqua*,
850 *Technical note*.

851 LACASSE R., FAVRE C., BOUTIN C. et FALIPOU E. (2020) « Filtre compact en ANC. Analyse comparée des
852 3 filières à base de fragments de coco selon l'approche du GNP », Webconférence du 27 Mai 2020, Réseau
853 Idéal.

854 LOWE K.S., TUCHOLKE M., TOMARAS J., CONN K., HOPPE C., DREWES J. E., MCCRAY J. E., et
855 MUNAKATA-MARR J. (2009) « Influent Constituent Characteristics of the Modern Waste Stream from Single
856 Sources: Final Report ». Water Environment Research Foundation (WERF), 04-DEC-1. 202 p., disponible en
857 ligne : http://www.decentralizedwater.org/research_project_04-DEC-1.asp.

858 Ministre d'État, MEEDDM (Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer), MSS
859 (Ministère de la santé et des sports) (2012) « Arrêté du 7 mars 2012 modifiant l'arrêté du 7 septembre 2009
860 fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une
861 charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5 » *Journal officiel de la République*
862 *française*, NOR DEVL1205608A

863 OLIVIER L., ARTUIT P., BRANCHU P., DECOU A., DHUMEAUX D., DUBOIS V., DUBOURG L., JOUSSE S.,
864 LEVAL C., MOULINE B., PORTIER N., SOULIAC L., SZABO C. PARISI S. et BOUTIN C.
865 (2018a) « Assainissement non collectif en France : synthèse du suivi *in situ* des installations réalisés de 2011
866 à 2016 » *Techniques Sciences Méthodes* vol 7/8 pp 82-96

867 OLIVIER L., LAOUAR I., DUBOIS V., BRANCHU P., LE GAT Y. et BOUTIN C. (2018b) « Assainissement non
868 collectif en France : comparaison statistique de la qualité des eaux usées traitées » *Techniques Sciences*
869 *Méthodes* vol 7/8 pp 67-81

870 OLIVIER L., DUBOIS V. et BOUTIN C. (2019) « Caractérisation des eaux usées brutes générées par les

- 871 particuliers : quantité et qualité » Rapport Agence Française pour la Biodiversité. 69 p., disponible en ligne :
872 hal-02893358
- 873 TAN K. H. et LOPEZ-FALCON R. A. (2008) « Effect of fulvic and humic acids on nitrification Part 1: In vitro
874 production of nitrite and nitrate » Communications in Soil Science and Plant Analysis, pp 835-853, disponible
875 en ligne : <https://doi.org/10.1080/00103628709367866>
- 876 TEJANO E. A. (1985) « State of the Art of Coconut Coir Dust and Husk Utilization (General Overview) »
877 *Philippine Journal of Coconut Studies* 1: 1-
- 878 U.S. EPA. 2002. Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. EPA 625/R-00-008. U.S. EPA, Cincinnati,
879 OH p.4-38.

mg.L ⁻¹	MES			DCO			DBO ₅			NK			N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻		
	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
Moyenne	5	13	4	42	75	55	3	9	5	3	13	7	2	11	5	-	43	50
Médiane	4	10	4	44	70	49	3	7	4	3	8	6	1	6	5	-	45	50
80^{ème} percentile	6	18	5	50	86	63	3	14	5	4	21	10	3	18	8	-	49	59
Min	2	2	2	21	47	30	2	4	2	1	3	2	1	1	1	-	29	15
Max	10	29	10	77	150	110	9	25	12	8	37	17	6	32	17	-	52	80
Nombre de valeurs	23	22	24	23	22	24	23	22	24	23	22	24	23	22	24	0	22	24

881

882 Statistiques descriptives des concentrations de sortie sur plateforme (après le démarrage de la nitrification et sans prélèvements complémentaires pour V2)

Séquence	Description	Protocole norme NF EN 12566-3+A2 suivi de V0 et V1			Protocole de l'Annexe 2 de l'Arrêté de septembre 2009			Protocole suivi de V2
		% du débit nominal	Durée (semaines)	Bilan journalier	% du débit nominal	Durée (semaines)	Bilan journalier	Bilan journalier
1	Acclimatation de la biomasse	100	X	0	idem norme NF EN 12566-3 + A2	X (4 à 8)	0	0
2	Charge nominale	100	6	4		idem norme NF EN 12566-3 + A2	6	4
3	Sous charge	50	2	2			2	2
4	Charge nominale – coupure électrique 24 h**	100	6	5			6	5 + 1
5	Contraintes de faible occupation	0	2	0			2	0 + 1
6	Charge nominale	100	6	3			6	3 + 1
7	Surcharge***	150 (2 j)	2	2			2	2 + 1
8	Charge nominale – coupure électrique 24 h**	100	6	5			6	5 + 1
9	Sous charge	50	2	2			2	2
10	Charge nominale	100	6	3			6	3
11	Surcharge à 200%	na			200	4	4	+ 4
12	Stress de non-occupation	na			0 (5 j) 100 (2j)	2	2	+ 2
TOTAUX			X+38	26		X+44	44	26 + 11

* X est la durée indiquée par le fabricant pour obtenir une performance de fonctionnement normal
 ** Une coupure d'électricité de 24 heures est effectuée 2 semaines après le début de la séquence
 *** Une surcharge est exercée pendant 48 heures au début de la séquence

884 Tableau I : Description des protocoles d'essais sur plateforme

885

Dispositif		V0	V1	V2	Total par élément technique décrit
		S = 0,82 m ² .EH ⁻¹	S = 0,65 m ² .EH ⁻¹	S = 0,54 m ² .EH ⁻¹	
Élément technique					
Matériau	matériau 1 (macroporosité 49 %)	85 (10)	17 (5)	na	102 (15)
	matériau 2 (macroporosité 57 %)	na		22 (22)	22 (22)
Auget	unidirectionnel	24 (5)	9 (3)	na	33 (8)
	bidirectionnel	61 (5)	8 (2)	22 (22)	91 (29)
Total par dispositif		85 (10)	17 (5)	22 (22)	

886 *na : non applicable*

887 Tableau II : Nombre de prélèvements validés et (d'installations) en conditions *in situ*

888

Paramètres	Variables explicatives	
	Dispositif	Taux de charge
	V0, V1, V2	< 70 % ou > 70 %
Carbonés	Effet sur MES, DCO, DBO ₅	Pas d'effet identifié
Azotés	Effet sur NK, N-NH ₄ ⁺	Effet sur NK, N-NH ₄ ⁺

889 Tableau III : Identification de l'effet significatif des variables explicatives sur les données plateforme

890

Paramètres	Variables explicatives		
	Dispositif	Age	Taux de charge
	V0, V1, V2	< 2 ans ou > 2 ans	< 70 % ou > 70 %
Carbonés	Pas d'effet identifié	Pas d'effet identifié	Pas d'effet identifié
Azotés	Effet sur NK, N-NH ₄ ⁺	Pas d'effet identifié	Effet sur N-NO ₃ ⁻

891 Tableau IV : Identification de l'effet significatif des variables explicatives sur les données *in situ*

892

Concentrations (mg.L ⁻¹)		MES	DCO	DBO ₅	N-NH ₄ ⁺	NK
Plateforme	Moyenne	381	747	307	56	79
	Médiane	360	720	300	58	81
<i>In situ</i> (OLIVIER et al., 2019)	Moyenne	544	1212	514	81	128
	Médiane	417	962	412	69	110
Ratio valeurs moyennes <i>in situ</i> vs plateforme		1,4	1,6	1,7	1,4	1,6

893 Tableau V : Comparaison des concentrations des eaux usées brutes sur plateforme et *in situ*

894

	Charge hydraulique (L.j ⁻¹)	Charge organique (g.j ⁻¹)		
		MES	DBO ₅	NK
Plateforme : moyenne pour 5 EH	733	278	224	57
In situ : 90 ^{ème} percentile d'un ménage-type	568	305	281	73
Ratio valeurs moyennes in situ vs plateforme	0,77	1,10	1,25	1,28

895 Tableau VI : Comparaison des charges hydrauliques et organiques sur plateforme et *in situ*

896

Rendements			MES	DCO	DBO ₅	NK
Fosse septique toutes eaux	V0	moyenne	83,4 %	53,9 %	50,1 %	14,8 %
	V2		81,9 %	49,3 %	45,3 %	2,3 %
Filtre	V0	moyenne	90,7 %	86,4 %	97,6 %	94,9 %
		régression	92,5 % (R ² = 0,98)	86,5 % (R ² = 0,96)	97,8 % (R ² = 0,99)	94,7 % (R ² = 0,99)
	V2	moyenne	93,0 %	85,2 %	96,4 %	91,2 %
		régression	93,8 % (R ² = 0,99)	85,7 % (R ² = 0,95)	96,8 % (R ² = 0,99)	91,0 % (R ² = 0,96)
Dispositif	V0	moyenne	98,5 %	93,8 %	98,8 %	95,6 %
	V1		96,4 %	90,0 %	97,1 %	85,8 %
	V2		98,8 %	92,6 %	98,1 %	91,6 %

897 *NOTA : Les coefficients de régression, issus de l'équation existante entre les charges surfaciques traitée et*
898 *appliquée sont mentionnés entre parenthèses*

899 *Tableau VII : Rendements moyens de la fosse, du filtre, et du dispositif, calculés par dispositif à partir des*
900 *données plateforme disponibles. Rendements des filtres calculés à partir des régressions linéaires.*

901

		MES	DBO ₅	DCO
Rendements <i>in situ</i> globaux	V0	97,0 %	98,5 %	90,6 %
	V1*	92,4 %	96,0 %	85,9 %
	V2	97,5 %	97,8 %	90,0 %
Objectif de qualité de rejet <i>in situ</i> en France (mg.L⁻¹)		30	35	200
Percentile de la distribution EUB en-dessous duquel l'objectif de qualité du rejet est atteint [OLIVIER et al., 2019] (Concentration EUB correspondante en mg.L ⁻¹)	V0	86^{ème} (1000 mg.L ⁻¹)	99^{ème} (2333 mg.L ⁻¹)	88^{ème} (2116 mg.L ⁻¹)
	V1*	48^{ème} (395 mg.L ⁻¹)	88^{ème} (875 mg.L ⁻¹)	68^{ème} (1418 mg.L ⁻¹)
	V2	93^{ème} (1200 mg.L ⁻¹)	98^{ème} (1591 mg.L ⁻¹)	86^{ème} (2000 mg.L ⁻¹)

902 * résultats estimés à partir des rendements calculés sur plateforme des dispositifs V0 et V2

903 Tableau VIII : Caractéristiques des EUB *in situ* correspondant aux objectifs de qualité de rejet, déterminées à
904 partir des rendements globaux

Contexte de l'analyse		Paramètres	Variables explicatives				
			Age	Source des données	Charge surfacique en DBO ₅	Auget	Matériau
			< 2 ans ou > 2 ans	plateforme ou <i>in situ</i>	40 % V2, 40-60 % V2, > 60 % V2	unidirectionnel ou bidirectionnel	matériau 1 ou matériau 2
Analyse globale	Toutes données	carbonés	pas d'effet identifié	Effet sur MES, DCO	pas d'effet identifié	Effet sur MES, DCO	Effet sur DCO
		azotés		Effet sur NK, N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₃ ⁻	Effet sur N-NO ₃ ⁻	Effet sur NK	Effet sur NK, N-NH ₄ ⁺
Analyse spécifique de l'effet ...	Type d'auget : données matériau 2 exclus	carbonés	pas d'effet identifié	Effet sur MES, DCO, DBO ₅	Effet sur DCO, DBO ₅	Effet sur MES, DCO, DBO ₅	-
		azotés		Effet sur N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₃ ⁻	Effet sur N-NO ₃ ⁻	Effet sur NK	-
	Type de matériau : données auget unidirectionnel exclus	carbonés	pas d'effet identifié	Effet sur MES	pas d'effet identifié	-	Effet sur DCO
		azotés		Effets sur NK, N-NH ₄ ⁺	Effet sur NK, N-NO ₃ ⁻	-	Effets sur NK, N-NH ₄ ⁺

906 Tableau IX : Résultat des effets identifiés par l'outil « In linéaire généralisé » selon le jeu de données analysé

jeu de données restreint au matériau 1			Auget unidirectionnel	Auget bidirectionnel
MES	Plateforme	Médiane observée (médiane calculée)	10 (9,9)	4 (4,5)
		Nombre de données	[22]	[23]
	<i>In situ</i>	Médiane observée (médiane calculée)	24 (19,7)	12 (9,0)
		Nombre de données	[33]	[68]
NK	Toutes données	Médiane observée (médiane calculée)	10,7 (9,5)	3,4 (3,3)
		Nombre de données	[46]	[64]
jeu de données restreint à un auget bidirectionnel			Matériau 1	Matériau 2
DCO	Toutes données	Médiane observée (médiane calculée)	49 (42,8)	56 (58,6)
		Nombre de données	[91]	[57]
N-NH₄⁺	Plateforme	Médiane observée (médiane calculée)	1,3 (1,3)	5,6 (5,4)
		Nombre de données	[23]	[34]
	<i>In situ</i>	Médiane observée (médiane calculée)	9,4 (5,6)	28 (22,8)
		Nombre de données	[68]	[21]

908 Tableau X : Effet du type d'auget sur les médianes pour les paramètres MES et NK en mg.L⁻¹, avec un effet
909 conjoint de la source de données pour les MES. Effet du matériau sur les médianes pour les paramètres DCO
910 et N-NH₄⁺ en mg.L⁻¹, et avec un effet conjoint du type de données pour N-NH₄⁺.