



**TECHNIQUES
DE L'INGÉNIEUR**

Réf. : **W6601 V2**

Date de publication :
10 août 2024

Filières compactes d'assainissement non collectif - Conception pour un ANC durable

Cet article est issu de : **Environnement - Sécurité | Technologies de l'eau**

par **Roger LACASSE, Siegfried MAUNOIR,
Yan GILBERT, Cécile FAVRE, Charlotte TROADEC**

Résumé L'évolution des systèmes d'assainissement non collectifs s'est accéléré au cours du siècle dernier, de nombreux dispositifs ont vu le jour et certains sont même toujours en service. Cet article précise cette évolution dans le temps, d'un point de vue technique mais aussi réglementaire. La réglementation en vigueur de l'assainissement non collectif (notamment les arrêtés fixant les prescriptions techniques, ou encore les modalités du contrôle technique exercé par les communes, et la loi sur l'eau et les milieux aquatiques) est décrite. Le cadre normatif est lui aussi présenté, à travers deux normes : celle de « mise en œuvre des dispositifs d'assainissement autonome », et celle des « petites installations de traitement des eaux usées jusqu'à 50 PTE ».

Abstract The development of on-site sanitation systems has accelerated over the last century. Many devices have been developed, with some still in service. This article examines this evolution over time, from a technical as well as regulatory point of view. The regulations governing on-site sanitation (such as decrees governing technical requirements, technical control by municipalities, or the law on water and aquatic environments) is described. The regulatory framework is also presented according to two standards: the "implementation of independent on-site sanitation devices" and "small wastewater treatment systems for up to 50 PT."

Pour toute question :
Service Relation clientèle
Techniques de l'Ingénieur
Immeuble Pleyad 1
39, boulevard Ornano
93288 Saint-Denis Cedex

Par mail :
infos.clients@teching.com
Par téléphone :
00 33 (0)1 53 35 20 20

Document téléchargé le : **02/09/2024**

Pour le compte : **7200088792 - éditions ti // maud BUISINE // 78.203.50.108**

© Techniques de l'Ingénieur | Tous droits réservés

Filières compactes d'assainissement non collectif

Conception pour un ANC durable

par **Roger LACASSE**

*Vice-président projets spéciaux
Premier Tech Eau et Environnement, Rivière-du-Loup, Canada*

Siegfried MAUNOIR

*Directeur innovation et technologies
Premier Tech Eau et Environnement, Mèze, France*

Yan GILBERT

*Directeur IR&D
Premier Tech Eau et Environnement, Rivière-du-Loup, Canada*

Cécile FAVRE

*Responsable durabilité et relations institutionnelles
Premier Tech Eau et Environnement, Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine, France*

et **Charlotte TROADEC**

*Rédactrice technique
Premier Tech Eau et Environnement, Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine, France*

1. Normes et règlements applicables	W 6 601v2 - 2
2. Caractéristiques des eaux usées en ANC	— 4
3. Grandes familles de filières compactes	— 5
4. Postes de relevage	— 19
5. Infiltration des eaux usées traitées	— 20
6. Impact carbone des ouvrages d'ANC	— 23
7. Conclusion	— 24
8. Glossaire	— 24
9. Sigles, notations et symboles	— 24
Pour en savoir plus	Doc. W 6 601v2

En France, l'assainissement non collectif (ANC) assure le traitement des eaux usées produites par près de 20 % de la population dont l'habitation n'est pas raccordée à un réseau public de collecte. Chaque année, près de 100 000 dispositifs d'ANC sont installés, incluant pour moitié la réhabilitation d'installations défectueuses. Plusieurs types de filières sont utilisés : les filières traditionnelles (épandage et massif filtrant reconstitué) et, depuis l'entrée en vigueur de l'arrêté « prescriptions techniques » de septembre 2009, les « autres dispositifs » constitués de filières compactes d'ANC qui doivent être agréées selon les exigences de cet arrêté. La majorité des agréments sont basés sur les résultats des essais du marquage CE de ces produits selon la norme NF EN 12566-3+A2. Ces filières compactes, maintenant choisies pour environ 40 % des installations, sont regroupées en trois familles technologiques : les filtres

compacts, les microstations et les filtres plantés. En 2017, les résultats d'une vaste campagne de suivi des performances in situ des filières d'ANC en France ont permis de mettre en lumière des problématiques de conformité réglementaire. Les systèmes les plus performants étaient principalement de type filtre biologique. Différents éléments peuvent expliquer les problèmes rencontrés, mais le sous-dimensionnement de plusieurs composantes des filières défaillantes apparaît comme le plus important. De plus, l'arrivée récente sur le marché français de filières d'ANC de plus en plus compactes n'est pas de nature à améliorer cette situation. C'est dans ce contexte que cet article présente, pour chaque famille technologique, les critères fondamentaux de conception, les facteurs d'influence des performances et les besoins en opération et entretien assurant des performances durables, le tout en relation avec la réglementation actuelle et les caractéristiques des eaux usées produites en ANC. On y traite également des critères assurant une infiltration pérenne des eaux traitées et des facteurs d'influence de l'empreinte carbone propre aux familles technologiques.

1. Normes et règlements applicables

La loi sur l'eau de 1992 a imposé aux communes de définir un **zonage d'assainissement** sur leur territoire avec des zones d'assainissement collectif et des zones d'ANC. L'ANC est donc obligatoire et réglementé pour toute zone non raccordée à un réseau public d'assainissement pour traiter les eaux usées domestiques (eaux grises et noires) des installations desservant jusqu'à 20 équivalents habitants (EH). Un EH correspond à un rejet de 60 g/jour de DBO₅ (demande biochimique en oxygène après cinq jours), tel que défini par la directive européenne relative au traitement des eaux urbaines résiduaires de 1991. Plusieurs textes encadrent le secteur de l'ANC en France, notamment trois arrêtés, des normes et démarches volontaires mettant en avant les engagements des fabricants à commercialiser des produits de qualité.

1.1 Cadre réglementaire et normatif obligatoire

1.1.1 Arrêté « prescriptions techniques » de septembre 2009

L'arrêté du 7 septembre 2009 modifié fixe les prescriptions techniques applicables aux installations d'ANC recevant une **charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/jour de DBO₅ (20 EH)**. Le dimensionnement du dispositif, exprimé en EH, est égal au nombre de pièces principales de l'habitation. Cet arrêté définit différents types de traitement, dont celui par le sol ou par massif reconstitué et les autres dispositifs qui doivent faire l'objet d'un agrément avant leur commercialisation.

Pour être agréés, les performances épuratoires des dispositifs évalués doivent démontrer que 90 % des concentrations à leur sortie sont inférieures aux seuils réglementaires suivants : 30 mg/L en matières en suspension (MES) et 35 mg/L pour la DBO₅. Aucune valeur ne doit excéder 85 mg/L pour les MES et 50 mg/L pour la DBO₅.

Un cadre destiné aux opérateurs économiques pour la procédure d'agrément des dispositifs d'ANC [1] harmonise les pratiques d'évaluation par les deux organismes autorisés à délivrer les agréments : le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) et le CERIB (Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton). Deux modes d'évaluation des performances épuratoires des dispositifs soumis à l'agrément sont possibles : la procédure simplifiée pour les dispositifs marqués CE (voir section 1.1.4) et la

procédure longue, décrite à l'annexe 2 de l'arrêté, basée sur un protocole d'essais de 44 semaines, soit six semaines de plus que celui du marquage CE.

Les avis d'agréments sont publiés par les ministères en charge de l'écologie et de la santé sur le portail interministériel de l'ANC (voir « Pour en savoir plus », rubrique Annuaire).

1.1.2 Arrêté « agrément vidangeurs » de septembre 2009

Cet arrêté définit les modalités d'agrément obligatoire des professionnels réalisant les prestations de vidanges, transport et élimination des matières extraites des installations d'ANC. Un agrément est délivré par le préfet pour une durée de 10 ans et la liste des vidangeurs agréés est disponible sur le site Internet de la préfecture de chaque département.

Afin d'assurer la traçabilité des résidus, le vidangeur établit un bordereau de suivi des matières de vidange, destiné au propriétaire de l'installation, au vidangeur et au responsable de la filière d'élimination.

1.1.3 Arrêté « mission de contrôle » d'avril 2012

Cet arrêté définit les modalités des missions de contrôle des SPANC (services publics d'assainissement non collectif) sur les installations d'ANC afin d'évaluer leur conformité au regard des prescriptions réglementaires :

- contrôle des installations neuves ou réhabilitées comprenant un examen préalable de la conception et une vérification de la bonne exécution ;
- contrôle périodique du bon fonctionnement et de l'entretien des installations, aussi souvent que nécessaire avec un minimum d'un contrôle tous les 10 ans.

Une **installation existante est déclarée non conforme** si elle présente un danger pour la santé des personnes, un risque avéré de pollution de l'environnement, des dysfonctionnements majeurs, si elle est incomplète ou significativement sous-dimensionnée. En cas de non-conformité, la réhabilitation de l'installation doit être réalisée sous quatre ans, sans quoi le SPANC peut appliquer une pénalité. En cas de vente, l'installation d'ANC doit être mise en conformité au plus tard un an après la vente du bien immobilier.

1.1.4 Série de normes européennes NF EN 12566

Le règlement européen n° 305/2011 relatif aux produits de construction (RPC) fixe des exigences pour mettre en conformité des produits avec le marquage CE et assure la libre circulation de ces produits dans le marché intérieur européen. Afin d'apposer ce

marquage, des essais de type pour évaluer les performances des produits doivent être effectués par l'un des 17 organismes européens notifiés, dont le CSTB et le CERIB en France. Cette évaluation est définie par la série de normes harmonisées NF EN 12566 applicables aux **petites installations de traitement des eaux usées jusqu'à 50 EH**, citées au *Journal officiel de l'Union européenne*.

Cette série comprend sept normes, dont trois sont développées ci-dessous :

– **NF EN 12566-1+A1** (2004) « petites installations de traitement des eaux usées pour une population totale équivalente (PTE) jusqu'à 50 habitants – Partie 1 : fosses septiques préfabriquées ». Cette partie décrit les essais de performance à réaliser : étanchéité à l'eau et capacité nominale, efficacité hydraulique, résistance structurelle (pit test comme essai de référence) et durabilité des matériaux utilisés ;

– **NF EN 12566-3+A2** (2013) « petites installations de traitement des eaux usées pour une population totale équivalente (PTE) jusqu'à 50 habitants – Partie 3 : stations d'épuration des eaux usées domestiques prêtes à l'emploi et/ou assemblées sur site ». Les essais de performance à réaliser sont : étanchéité pour toutes les cuves de la gamme de produits, efficacité de traitement (protocole composé de 10 séquences d'essais pour une durée de 38 semaines + x (séquences d'acclimatation), avec 26 bilans journaliers des performances), résistance structurelle (cuve la plus contraignante de la gamme) et durabilité des matériaux ;

– **NF EN 12566-6** (2014) « petites installations de traitement des eaux usées pour une population totale équivalente (PTE) jusqu'à 50 habitants – Partie 6 : unités préfabriquées de traitement des effluents de fosses septiques ». Les essais de performance à réaliser sont identiques à ceux de la norme NF EN 12566-3+A2.

La série de normes NF EN 12566 fixe le débit de conception des dispositifs d'ANC à 150 L/j/EH d'eaux usées à traiter. Les résultats des essais réalisés font l'objet d'une **déclaration des performances (DdP)** par le fabricant selon les exigences de l'Annexe ZA de chacune des parties de NF EN 12566. Il s'agit d'une attestation de conformité de niveau 3, sans contrôle externe de la fabrication des produits marqués.

1.2 Cadre normatif français d'application volontaire

1.2.1 Conception des installations d'ANC

La norme NF P16-006 (2016) a pour but de guider la conception, le dimensionnement et le choix d'une filière d'ANC. Elle définit les caractéristiques de l'installation la plus adaptée à un site spécifique, répondant au besoin du maître d'ouvrage et aux exigences en lien avec la sécurité, la santé publique et la protection de l'environnement. Elle décrit également l'étude de conception comprenant une évaluation du site et des filières applicables.

1.2.2 Entretien des installations d'ANC

La norme NF P16-008 (2016) définit les principales prestations relatives à l'entretien des installations d'ANC. Elle établit les critères permettant d'effectuer le diagnostic des installations afin de contractualiser l'entretien et d'accompagner le prestataire dans l'établissement des opérations d'entretien et de maintenance.

1.2.3 Infiltration des eaux usées traitées

Le fascicule FD P16-007 (2016) établit des lignes directrices pour l'infiltration des eaux usées traitées en sortie de dispositifs d'ANC. Il s'agit d'un document à caractère informatif qui définit les cas où l'infiltration dans le sol des eaux traitées est possible. Les critères de décision sont spécifiques à la parcelle et prennent en compte

les principales contraintes émanant du sol, comme la perméabilité, la texture ou l'inclinaison de la pente, qui ont un impact sur la faisabilité et la réalisation du dispositif d'infiltration.

1.3 Démarches volontaires

1.3.1 Avis technique ou DTA

L'**avis technique (ATec)** est une démarche volontaire validant l'aptitude à l'emploi des procédés innovants de construction. L'avis est formulé par un groupe d'experts représentatifs de la profession : les groupes spécialisés (GS) de la Commission chargée de formuler les avis techniques (CCFAT) dont le CSTB instruit les demandes et assure le secrétariat. Pour le secteur de l'ANC, c'est le GS-17.1 « Réseaux et épuration » qui étudie les demandes. Lorsqu'un produit est marqué CE, l'ATec prend le nom de **document technique d'application (DTA)**.

L'ATec ou DTA doit être renouvelé tous les cinq ans (période initiale de trois ans) si toutes les exigences liées à ces ouvrages sont validées : suivi sur le terrain (remontées des différents acteurs) et performances *in situ* contrôlées annuellement par le CSTB en choisissant aléatoirement 10 filières d'ANC en fonctionnement depuis plusieurs années.

Tous les produits ayant un ATec ou DTA qui ne sont pas mis en observation (sans sinistralité avérée) sont présents sur la liste verte de la Commission prévention produits mis en œuvre (C2P) de l'Agence qualité construction (AQC) et sont considérés comme technique courante auprès des assureurs, au même titre que des filières traditionnelles. Ils ne nécessitent donc pas de déclaration spécifique par le prescripteur et l'installateur auprès de leurs assureurs.

1.3.2 Marques qualité

La marque qualité **QB** (Qualité pour le bâtiment) est une certification délivrée par le CSTB (QB09 pour l'assainissement). Cette démarche volontaire permet d'attester de la conformité des produits suivant les exigences générales établies. Pour obtenir et maintenir cette certification, des audits sur le site de fabrication sont réalisés périodiquement. Les contrôles visent les aspects suivants : dimensions, étanchéité et résistance des cuves et des accessoires ainsi que la manutention et le stockage sur parc.

La marque **NF ANC** est une autre démarche volontaire permettant d'évaluer les caractéristiques des produits. Le CERIB est mandaté par l'AFNOR (Association française de normalisation) pour délivrer cette certification. Pour les dispositifs de traitement, les performances épuratoires *in situ* sont évaluées ; néanmoins, à ce jour, aucun dispositif de traitement complet n'est certifié sous cette marque.

À retenir

– Les systèmes compacts d'ANC font l'objet d'un agrément ministériel selon les exigences de l'arrêté « prescriptions techniques » de septembre 2009 et de la série de normes européennes harmonisées NF EN 12566.

– Deux autres arrêtés encadrent les systèmes d'ANC : l'arrêté « agrément vidangeurs » (2009) et l'arrêté « mission de contrôle » (2012).

– Les fabricants de systèmes compacts peuvent choisir une démarche d'ATec ou DTA pour une plus grande fiabilité des ouvrages d'ANC.

2. Caractéristiques des eaux usées en ANC

Les eaux usées générées en ANC proviennent des **activités domestiques** des résidents d'habitations individuelles et regroupent l'ensemble des **eaux vannes et des eaux ménagères**. Les eaux de pluie ou de ruissellement sur la parcelle n'y sont pas incluses de même que celles provenant d'activités commerciales ou industrielles pouvant prendre place dans certaines habitations.

2.1 Quantité et qualité des eaux usées générées en ANC et leurs variations typiques

Que ce soit dans un contexte d'assainissement collectif ou autonome, le volume et la charge des eaux usées d'origine domestique générées par la population desservie sont sujets à des variations journalières, hebdomadaires et saisonnières plus ou moins fortes [2] [3] et [4]. En assainissement collectif, ces variations sont atténuées par le grand nombre d'utilisateurs concernés [5], alors qu'en ANC elles sont amplifiées par le faible nombre de résidents (majoritairement deux à cinq personnes par habitation) et leurs habitudes de vie [6].

En fait, au cours d'une même journée, les débits reçus par un dispositif d'ANC varient en fonction des usages des résidents qui correspondent à une série de pointes plus ou moins importantes en intensité et en durée : chasse d'eau, douche, vidange de baignoire, etc. Ces apports sont concentrés principalement en début et en fin de journée, avec des écarts importants entre les journées de semaine et de week-end. La production d'eaux usées en ANC peut même être nulle en raison de l'absence des occupants variant de quelques jours à quelques semaines, ce qui n'est pas le cas en assainissement collectif. D'ailleurs, les protocoles de démonstration ou de certification de la performance, décrits dans les normes existantes applicables aux filières d'ANC dans différents pays (NSF/ANSI 40, NQ 3680-910, CAN/BNQ 3680-600/2023, NF EN 12566-3+A2), reflètent cet état de fait, en répartissant le débit quotidien sur quelques séquences d'alimentation (9 à 11 heures par jour) et en intégrant des stress hydrauliques et une période d'inoccupation au cours d'un suivi variant entre 6 et 12 mois.

L'étude récente de caractérisation des eaux brutes de 15 habitations individuelles en France, publiée par l'Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) [5], démontre ce caractère fluctuant des caractéristiques des eaux usées en ANC. Les débits et concentrations des eaux usées provenant des occupants de ces habitations (un à six), ont été mesurés lors de deux campagnes distinctes : 1) mesures de débits horaires produits à la sortie de trois habitations durant près de deux ans et 2) caractérisation des débits et des concentrations des eaux usées brutes à chacun des 15 sites par la réalisation de bilans 24 heures durant au moins une semaine (sept jours consécutifs) pour un total de 23 bilans. Les résultats obtenus sont résumés au tableau 1.

Ces données indiquent qu'en France les filières compactes d'ANC reçoivent en moyenne la moitié du débit de conception (valeur théorique de 750 L/j pour 5 EH) mais que leur performance doit être assurée malgré les variations importantes de débits et de concentrations observées.

Au niveau des fluctuations horaires des débits, les mesures réalisées permettent de fournir plus de 1 500 valeurs de coefficients de pointe horaire, dont la moyenne s'établit à 7,9.

Également, une étude de caractérisation des eaux usées brutes, réalisées aux États-Unis à la sortie de 17 habitations individuelles

Tableau 1 – Caractéristiques des eaux usées brutes en ANC – France

Paramètres	Valeur moyenne	Gamme de variations
Nombre d'occupants	3,6	1 à 6
Débit (L/j)	311	14 à 977
MES (mg/L)	543	54 à 3 200
DBO ₅ (mg/L)	514	37 à 3 380
NTK* (mgN/L)	127	15 à 555
*Azote total Kjeldahl		

[3] et [7], indique aussi d'importantes variations de débits et de qualité en relation avec les habitudes de vie des résidents.

2.2 Charges unitaires en conditions *in situ*

En France et en Europe, le débit et la charge organique par EH correspondent à 150 L/j et 60 gDBO₅/j. Ces valeurs proviennent des données recueillies en assainissement collectif. L'étude récente de caractérisation des eaux brutes en ANC [5] indique que les charges hydrauliques et organiques mesurées par occupant correspondent à un débit moyen de 98 L/j (41 à 175 L/j) et à une charge organique moyenne de 45 gDBO₅/j (12 à 80 gDBO₅/j). Ces valeurs unitaires sont entre 25 et 35 % inférieures à celles généralement reconnues. Ces écarts peuvent s'expliquer par les activités extérieures des résidents d'une habitation (école, travail ou autre) et par la nature strictement domestique de ces eaux usées, sans apport d'activités commerciales ou industrielles comme en assainissement collectif. À noter que la valeur unitaire de 60 gDBO₅/j correspond au 80^e percentile de la distribution des valeurs mesurées lors de cette étude *in situ*. Pour les autres polluants, les charges moyennes par occupant sont les suivantes : 45 g/j pour les MES, 105 g/j pour la demande chimique en oxygène (DCO), 10,6 g/j pour le NTK et 1,3 g/j pour le phosphore total.

2.3 Comparaison des caractéristiques des eaux usées *in situ* et celles utilisées lors d'essais normalisés sur plateforme

En Europe, les performances des systèmes compacts d'ANC sont évaluées par un organisme européen notifié, selon un protocole d'essai intégré à la norme NF EN 12566-3+A2 (2013). Ces organismes utilisent une plateforme d'essais alimentée en eaux usées à partir d'un réseau collectif fournissant les volumes requis pour la réalisation de plusieurs essais en parallèle. Un débit de 150 L/j/EH est appliqué à l'entrée du système, lequel est supérieur à la valeur *in situ*. Les concentrations en eaux usées sur plateforme sont plus faibles qu'en conditions *in situ* et varient selon le réseau collectif concerné. Devant ce fait, il y a lieu de comparer les conditions d'essais sur plateforme à celles prévalant en conditions *in situ*.

Cette comparaison a été réalisée et publiée dans le cadre d'un partenariat de recherche entre l'INRAE et Premier Tech [8]. Le tableau 2 présente les concentrations moyennes des eaux usées brutes provenant des quatre plateformes européennes localisées en France, en Belgique et en Allemagne. Malgré quelques écarts, aucune différence significative de la qualité des eaux usées utilisées sur ces plateformes n'a été constatée. Le tableau 2 montre aussi que les concentrations moyennes *in situ* sont 1,6 fois supérieures à celles utilisées sur plate-

Tableau 2 – Comparaison des concentrations des eaux usées brutes sur plateforme vs *in situ*

Conditions de mesures		Concentrations moyennes (mg/L)		
		MES	DCO	DBO ₅
<i>In situ</i> [5]	Moyenne	544	1 212	514
	80 ^e percentile	789	1 810	690
Plateforme	Moyenne des 4 plateformes	368	706	324
	Gamme EN 12566-3+A2	200 à 700	300 à 1 000	150 à 500

forme. Au niveau de la charge hydraulique, le débit par EH de 150 L/j utilisé sur plateforme correspond au 80^e percentile de la distribution des débits journaliers en conditions *in situ* [5], soit une surcharge de l'ordre de 1,5 par rapport aux conditions moyennes *in situ* (98 L/j par occupant).

Finalement, la comparaison des charges organiques journalières démontre que les essais réalisés sur plateforme sont représentatifs du 85^e percentile des valeurs *in situ* pour les MES et du 80^e percentile des valeurs *in situ* pour la DBO₅ (tableau 3). Considérant que les essais sur plateforme sont de courte durée (38 à 44 semaines), il est important que les **conditions d'essais** pour évaluer l'efficacité des technologies **soient représentatives d'au moins 80 % des situations prévalant en conditions réelles**.

Il faut noter qu'une autre étude de caractérisation des eaux brutes de la maison individuelle, réalisée par Veolia [9] sur 12 sites différents (147 bilans), présente une concentration moyenne plus élevée en DBO₅ égale à 634 mg/L et un 80^e percentile près de 800 mg/L. Toutefois, au niveau du débit unitaire moyen, l'étude de Veolia indique une valeur inférieure à celle mesurée dans l'étude de l'INRAE (84 L/j vs 98 L/j), ce qui correspond à des charges organiques moyennes comparables, de l'ordre de 50 gDBO₅/EH par jour.

À retenir

- Les débits et charges en conditions *in situ* d'ANC sont beaucoup plus variables qu'en assainissement collectif et incluent des périodes sans apport.
- Les charges unitaires moyennes sont aussi différentes de celles de l'assainissement collectif, avec un débit par occupant de 98 L/j et une charge organique de 45 gDBO₅/j.
- Les essais réalisés sur plateforme sont représentatifs des conditions *in situ* avec des charges appliquées correspondant au 80^e-85^e percentile des valeurs *in situ*.

Tableau 3 – Comparaison des charges organiques sur plateforme vs *in situ*

Conditions de mesures	Charge organique (g/j)	
	MES	DBO ₅
Moyenne des 4 plateformes	254	226
<i>In situ</i> [5]	260 85 ^e percentile d'un ménage type	230 80 ^e percentile d'un ménage type

3. Grandes familles de filières compactes

3.1 Description générale de la filière « filtre compact »

Une filière de type **filtre compact** comprend une étape de traitement primaire, généralement réalisée par une fosse toutes eaux (FTE), suivie d'un traitement secondaire effectué par filtration biologique.

Il n'est pas conseillé d'ajouter un bac dégraisseur en amont de la fosse à moins de conditions particulières : longueur des canalisations entre la sortie de l'habitation et la FTE supérieure à 10 m et pente inférieure à 6 % ou présence d'un effluent très chargé en huiles et graisses (par exemple cuisine commerciale). Dans ces situations, ce dispositif doit être dimensionné adéquatement et très bien entretenu.

3.1.1 Fosse toutes eaux

La FTE assure le **traitement primaire** des eaux usées (figure 1) et joue deux rôles : la **réétention des matières solides** permettant une réduction de la charge polluante et la **dégradation biologique anaérobie** à long terme des matières retenues. Ces fonctions réduisent le risque de dysfonctionnement prématuré du filtre situé en aval, assurant une fonctionnalité dans la durée.

3.1.1.1 Fonction de rétention : la décantation et la flottation

La matière solide arrivant dans la fosse se trouve sous trois formes [10] :

- déchets grossiers facilement décantables (matières fécales, papiers, débris divers), formant les boues au fond du réservoir ;
- matières flottantes (graisses et boues allégées par les gaz de digestion), constituant le chapeau en surface de l'eau ;
- éléments en suspension de petite taille dont la densité est proche de celle de l'eau et donc plus difficiles à retenir.

L'élimination des matières solides les plus denses repose sur la **décantation** tandis que les particules moins denses sont enlevées par **flottation**. Ce dernier phénomène est en fait une décantation inversée ; les mêmes principes lui sont applicables. Selon la concentration en solides et la nature des particules (densité et forme), on distingue **quatre types de décantation** : discrète, floculante, freinée et en compression [11].

Dans une FTE, les quatre types de phénomènes peuvent survenir simultanément, mais son dimensionnement repose essentiellement sur la théorie de décantation des particules discrètes, selon les lois de Newton et de Stokes.

Les coefficients de pointes de débit sont importants en ANC (section 2.1) et se situent en moyenne à 7,9, ce qui peut grandement perturber l'hydraulique de la FTE avec la remise en suspension de boues affectant les performances et l'accumulation des boues dans le réservoir. Il est donc nécessaire de la dimensionner sur la pointe la plus fréquente ou la plus probable.

La figure 2 présente un décanteur idéal et les différents éléments considérés pour l'analyse des trajectoires de particules.

On considère que, pour retenir au sein d'un décanteur une particule ayant une vitesse de chute V_0 , celle-ci doit parcourir une hauteur h à l'intérieur d'un temps t [12]. Le raisonnement mathématique suivant ce principe montre que V_0 doit être supérieur au rapport Q/S où S correspond à la surface en plan du décanteur, en excluant les zones d'entrée et de sortie, et Q , au débit. Ce rapport

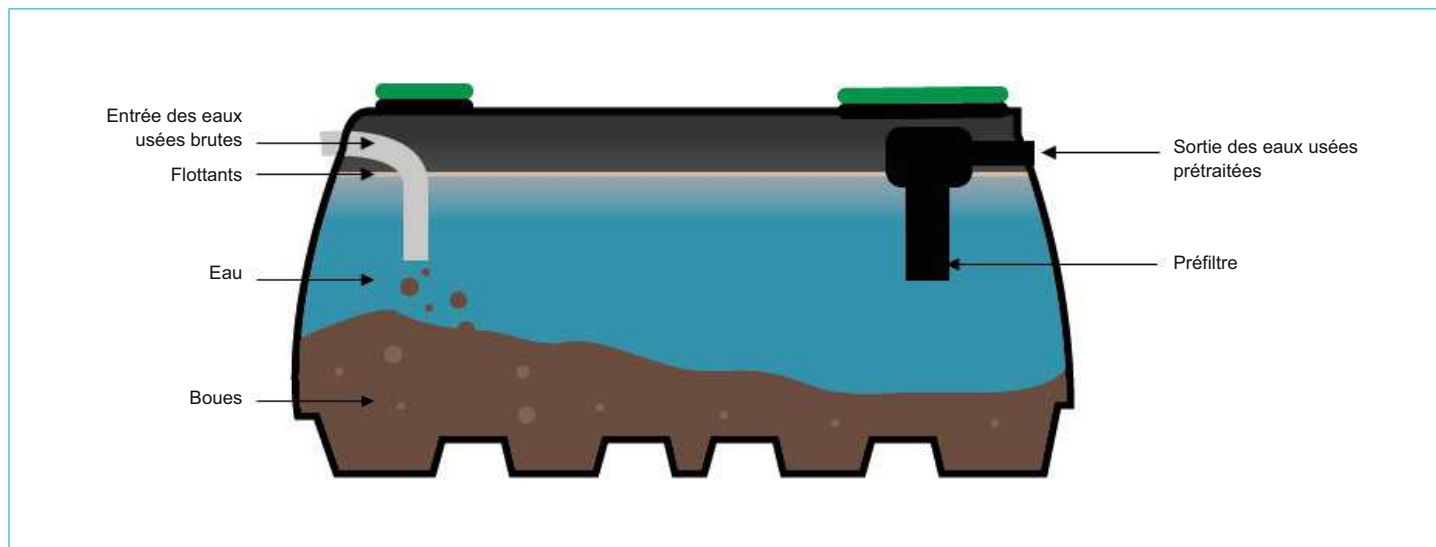


Figure 1 – Schéma d'une fosse toutes eaux (source : Premier Tech)

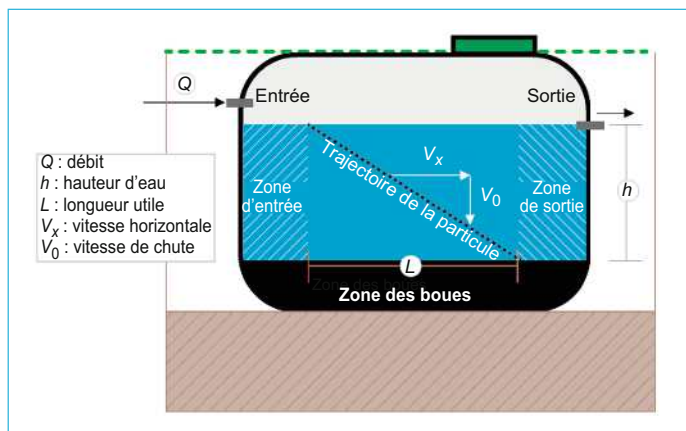


Figure 2 – Schéma d'un décanteur idéal

définit la vitesse ascensionnelle de l'eau ou **vitesse de Hazen** (V_a). Toutes les particules dont la vitesse de chute V_0 est supérieure à V_a seront retenues. Les particules dont la vitesse de chute est inférieure à V_a seront éliminées selon le rapport :

$$Xr = \frac{V_0}{V_a}$$

La décantation des particules discrètes est donc indépendante de la profondeur. Ainsi, pour un même volume, une FTE ayant une plus grande surface devrait théoriquement être plus performante, si le flux hydraulique est adéquatement réparti sur la surface de décantation pour limiter les turbulences et courts-circuits.

La conception d'une FTE doit demeurer simple et robuste pour réduire les besoins d'entretien et de maintenance. Ainsi, un système d'entrée et de sortie plongeant sous la surface de l'eau est nécessaire, alors qu'une hauteur d'eau de l'ordre d'un mètre est recommandée. En général, on retrouve un coude plongeant en entrée d'une profondeur adéquate (au-dessus de la limite de 50 % du volume utile servant à accumuler les boues) et pouvant avantageusement être dirigé vers la paroi amont afin de limiter les turbulences. De même, afin d'éviter tout départ de boues ou de flottants lors de pointes de débit, un **préfiltre** est requis en sortie de FTE (figure 1). Un préfiltre bien conçu ne doit pas se colmater rapi-

dement en fonctionnement normal et doit pouvoir être entretenu sans risque de départ de matière vers le traitement secondaire. Certains préfiltres possèdent ainsi un clapet automatique qui obstrue la sortie de FTE lorsque celui-ci est retiré pour l'entretien.

3.1.1.2 Fonction biologique : la digestion anaérobie

La FTE permet de solubiliser et de gazéifier une fraction importante des boues accumulées. Le processus de biométhanisation dans les FTE comprend une succession de phases qui aboutissent à la formation de produits gazeux à partir de la transformation de produits organiques par les microorganismes anaérobies naturellement présents (figure 3), ce qui permet de limiter la vitesse d'accumulation des boues et ainsi réduire la fréquence de vidange requise. Une FTE n'est pas un simple décanteur primaire retenant les particules, elle permet également le tassement et la minéralisation de cette matière.

La digestion anaérobie des boues se réalise lentement, car elle résulte d'une succession de réactions chimiques, enzymatiques et biologiques en plus d'être influencée par la température des eaux dans la FTE (12 à 15 °C en pays tempérés). Le délai de fermentation complète demande plus de deux ans à 15 °C et peut atteindre jusqu'à sept ans en conditions froides (4 °C) [10]. Ainsi, la FTE est parfaitement adaptée à l'ANC, car elle peut biologiquement fonctionner très longtemps, même sans être alimentée. Par ailleurs, il a été montré que la méthanisation ne démarre que trois mois à un an après sa mise en service, en raison des températures relativement basses prévalant dans la FTE.

Afin de favoriser le processus de biométhanisation, il faut assurer la plus grande surface de contact possible entre les boues et le surnageant [13]. À volume égal, il est préférable de privilégier des fosses de forme basse offrant une plus grande surface d'échange entre les boues et le surnageant. Une FTE bien conçue assure donc un équilibre entre les surfaces de décantation et de contact boues/surnageant, un volume suffisant pour l'accumulation des boues et le respect de critères dimensionnels limitant les courts-circuits et le soulèvement des boues accumulées.

3.1.1.3 Production de boues et taux d'accumulation

La quantité de boues accumulées dans une FTE résulte de la différence entre les apports de l'utilisateur et la dégradation des solides. Le taux d'accumulation des boues se stabilise lorsque la digestion anaérobie atteint son régime permanent. Une étude à long terme sur un parc de fosses en fonctionnement réel [13] a montré que le

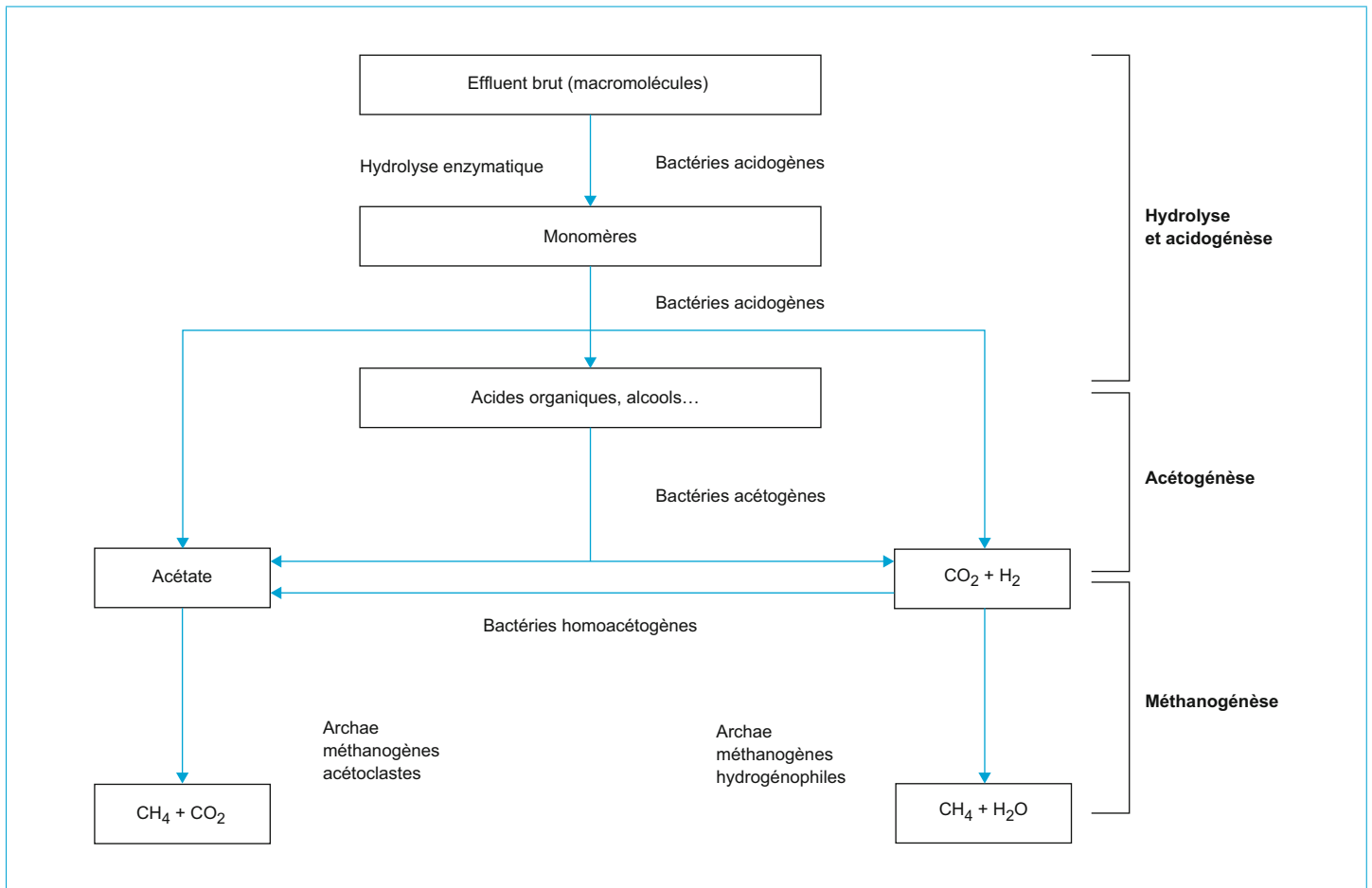


Figure 3 – Schéma simplifié de la digestion anaérobie de produits organiques

taux d'accumulation moyen des boues évolue pendant trois ans pour atteindre 0,15 L/pers.j (figure 4). À des fins de conception, un taux moyen de 0,20 L/pers.j est considéré pour tenir compte de températures moins favorables. Il faut noter que, plus les intervalles de vidange seront grands, plus les boues seront minéralisées et qu'une vidange après un an ou deux de fonctionnement arrête prématurément ce processus.

Cette évolution du taux d'accumulation est directement corrélée à la production de biogaz des boues (figure 4) qui ne démarre significativement qu'après environ deux ans de fonctionnement [13].

La figure 5 présente les intervalles de vidange en fonction du volume de la fosse et du nombre d'usagers, pour une intervention lorsque 50 % du volume utile est occupé par les boues. Pour une fosse de 3 m³ recevant les eaux de cinq usagers, la vidange devrait avoir lieu tous les quatre ans. Moins la charge entrante est importante, plus les intervalles de vidange seront grands. En réalité, les habitudes de vie des résidents influencent grandement ces fréquences ; pour un même nombre d'usagers, les boues peuvent s'accumuler plus ou moins rapidement [14]. Ainsi, un contrôle régulier de la hauteur des boues accumulées devrait être privilégié.

3.1.1.4 Caractéristiques des boues de FTE

Les boues sont composées de plus de 95 % d'eau, très riches en nutriments et à forte dominante organique. Soulignons ici que la production de matières fécales est d'environ 200 g/pers.j et que la

masse bactérienne représente environ 50 % en poids sec de ces matières. Le tableau 4 présente la composition moyenne des boues après deux ans de fonctionnement d'une FTE.

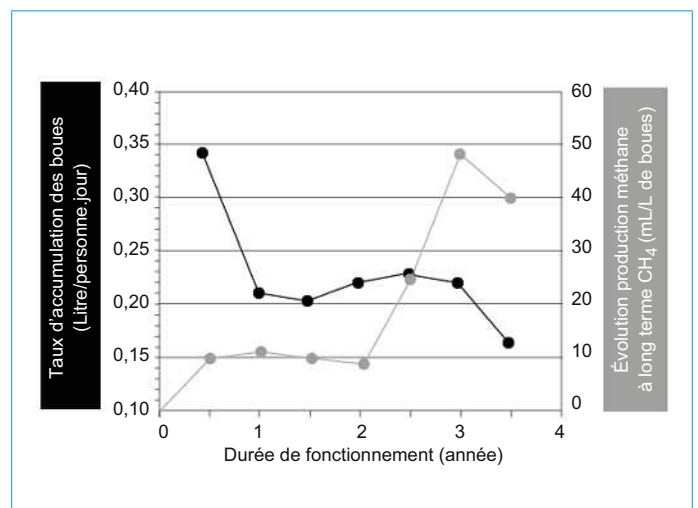


Figure 4 – Évolution du taux d'accumulation des boues et de la production de méthane dans une FTE

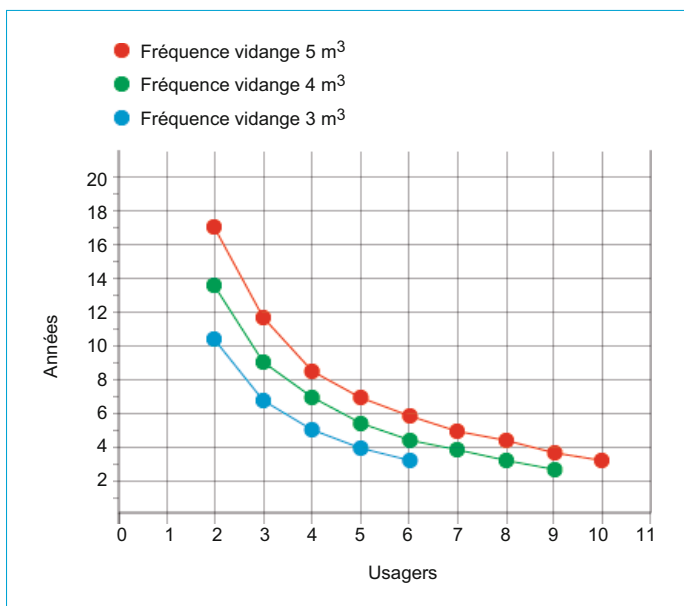


Figure 5 – Intervalles de vidange en fonction du nombre d'usagers pour différents volumes de fosse, considérant 0,20 L/pers.j [15]

Paramètres	Quantité
Matières sèches (g/L)	20 à 40
Matières volatiles (g/L)	15 à 30
Azote total (g/L)	0,6 à 2,0
Phosphore total (g/L)	0,15 à 0,6
pH	6 à 8
Coliformes fécaux (UFC/100 mL)	10 ⁸
Entérocoques (UFC/100 mL)	10 ⁸

3.1.2 Filtre compact

Le concept de filtre compact repose sur deux principes intégrés au sein d'une même étape de traitement : la rétention des particules *via* une **filtration physique** et la croissance aérobie de microorganismes sur un support sous forme de **biofilm**. Les filtres compacts opèrent en mode insaturé percolant. Les eaux à traiter sont distribuées sur la surface du lit filtrant pour ensuite s'écouler par gravité et capillarité à travers un réseau de pores. Ce mouvement de l'eau permet de naturellement entraîner l'air nécessaire au traitement biologique. L'eau traitée, qui se retrouve à la base du filtre, est drainée pour ensuite être évacuée dans le milieu récepteur *via* une sortie gravitaire ou à l'aide d'une pompe (figure 6).

On y retrouve une microfaune voisine de celle d'une boue activée en aération prolongée en raison du long temps de séjour des boues qui s'y accumulent. Le filtre mûrissant avec le temps, il n'en sera que plus efficace avec l'âge, jusqu'à ce que la diminution de la porosité limite les écoulements. Dans cet écosystème, les protozoaires et métrazoaires jouent un rôle majeur, par la prédation des bactéries d'origine fécale et en forçant le renouvellement du biofilm par une consommation de la boue générée. Cela maintient l'activité de bactéries épuratrices et conditionne le rendement d'épuration.

Plusieurs types de matériaux, se regroupant en trois catégories, peuvent être utilisés pour assurer les fonctions de filtration et de support à la croissance des microorganismes : les matériaux de nature **minérale** (sable, zéolite), **organique** (coco, écorce de pin, tourbe, écale de fruits à coque, xylit) et **synthétique** (plastique). Indépendamment des matériaux, la performance et la durabilité d'un filtre compact sont fonction des mêmes facteurs en interaction, qui influencent son dimensionnement et sa longévité en conditions d'ANC [16] :

- la porosité du matériau filtrant (MF) ;
- l'écoulement des fluides dans le lit filtrant ;
- la résistance au tassement du MF.

Les filtres compacts sont généralement préfabriqués et montés dans des enveloppes en polyéthylène, béton ou polyester. L'intégration des composants doit y respecter des principes fondamentaux permettant d'assurer la performance du système dans le temps, dont l'absence de court-circuit du lit filtrant par les eaux usées, le drainage adéquat des eaux traitées et la circulation de l'air nécessaire au traitement aérobie sur toute la hauteur du lit filtrant. Quelle que soit la nature du MF, l'activité et la croissance de la biomasse produisent des boues qui s'y accumulent, nécessitant son remplacement ou sa régénération après un certain nombre d'années.

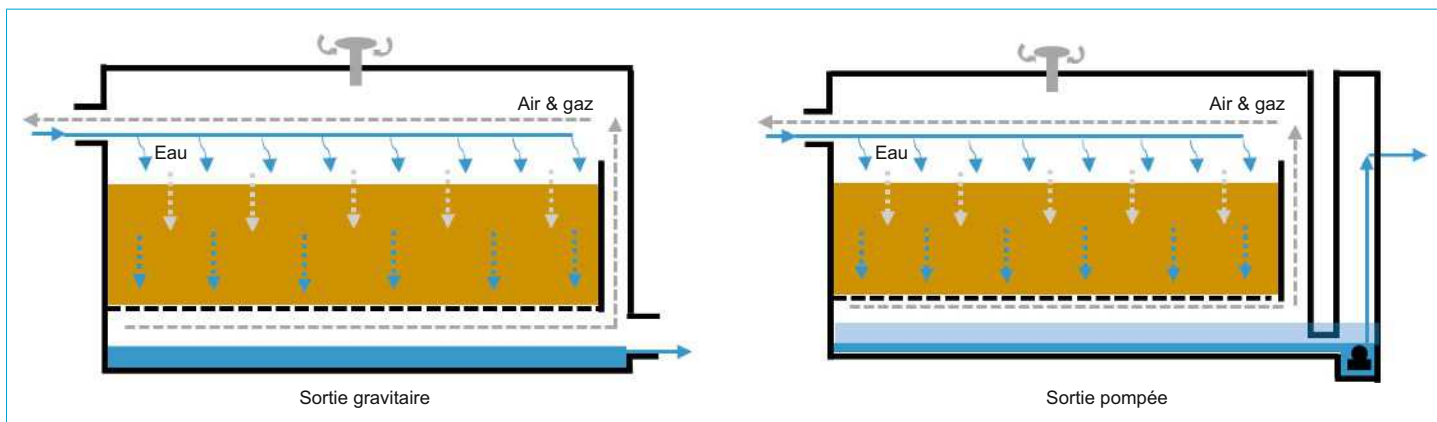


Figure 6 – Schémas de filtres compacts montrant les écoulements de l'eau et des gaz

3.1.2.1 Porosité du lit filtrant

La porosité du lit ou massif filtrant correspond à la fraction du volume qui n'est pas occupée par le matériau qui le constitue et qui se retrouve dans les vides présents. La distribution de la taille de ces vides (pores) et leur connectivité exercent une grande influence sur le fonctionnement et la performance du filtre, par un effet direct sur les écoulements de l'eau et de l'air et sur l'équilibre entre la dégradation des polluants et l'accumulation des boues.

La répartition de cette porosité dépend de la texture et de la structure interne du MF ainsi que de l'arrangement des particules entre elles (figure 7). L'écoulement des eaux au sein du lit est fortement influencé par cette porosité. Un matériau à forte porosité est généralement représenté par un réseau complexe de pores de formes irrégulières connectés entre eux. Les pores de taille plus importante (macropores) permettent l'écoulement de l'eau et de l'air et contribuent au transfert d'oxygène vers la phase liquide et

le biofilm présent en surface du support. Les pores plus petits (micropores) sont en général remplis d'eau, en raison de la capillarité plus importante, ce qui permet le maintien d'une humidité favorable au traitement biologique. La distribution idéale des tailles de pores dépend du niveau de traitement et de la longévité visés et correspond à un juste équilibre entre la microporosité et la macroporosité.

Pour les milieux filtrants constitués de particules, fragments ou fibres en vrac, la distribution granulométrique de ces éléments fournit une appréciation indirecte de la distribution de la taille des pores. Une grande présence de particules fines diminue la macroporosité, pouvant résulter en une restriction des écoulements fluides, une limitation de l'oxygénation et au colmatage prématuré du lit filtrant. Inversement, une grande macroporosité réduit le temps de séjour avec un effet négatif sur la rétention des MES et sur l'efficacité du traitement biologique. Il en est de même pour les MF synthétiques qui ont une très faible microporosité (par exemple tapis de fibres). La figure 8 illustre la répartition de la porosité pour cinq MF.

Les matériaux montrent des répartitions différentes de la porosité, résultant en un comportement épuratoire et une évolution différente, tous autres paramètres étant égaux. Le juste équilibre entre la micro et la macroporosité est difficile à définir avec précision, mais un matériel ayant une faible microporosité aura des performances moins stables dans les conditions très variables de l'ANC (section 2) et nécessitera un dimensionnement plus important afin d'obtenir une plus grande robustesse face à ces conditions.

La porosité d'un lit filtrant évolue avec le temps du fait de l'accumulation des boues produites dans les macropores et en plus grande proportion dans la partie supérieure du lit filtrant, en raison de l'écoulement gravitaire caractérisant les filtres compacts. Cette diminution de la macroporosité réduit l'espace disponible pour les écoulements fluides. Ainsi, selon les taux d'application, l'âge du système et la porosité du matériel, il peut être nécessaire d'entretenir périodiquement cette surface afin de maintenir une bonne conductivité hydraulique et assurer l'aération nécessaire au traitement. Il est important de souligner que ce colmatage préférentiel de surface est exacerbé lorsque les températures sont froides. Cela résulte de l'effet combiné du ralentissement de l'activité des organismes responsables du broutage du biofilm et de l'épaississement

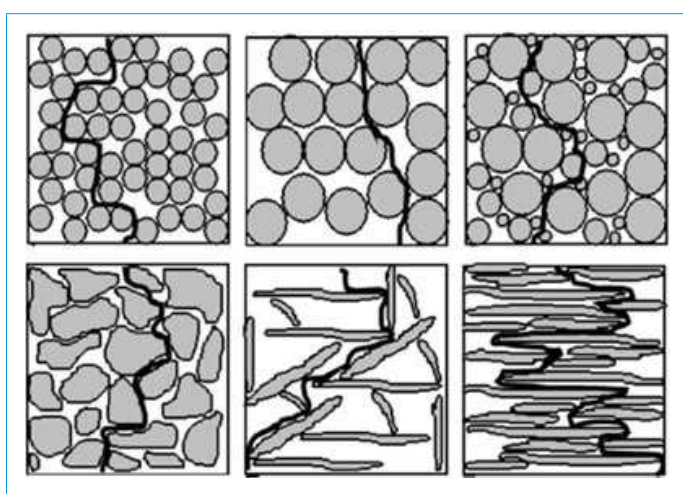


Figure 7 - Impact de la forme et de l'arrangement des éléments composant le lit filtrant sur la porosité et l'écoulement

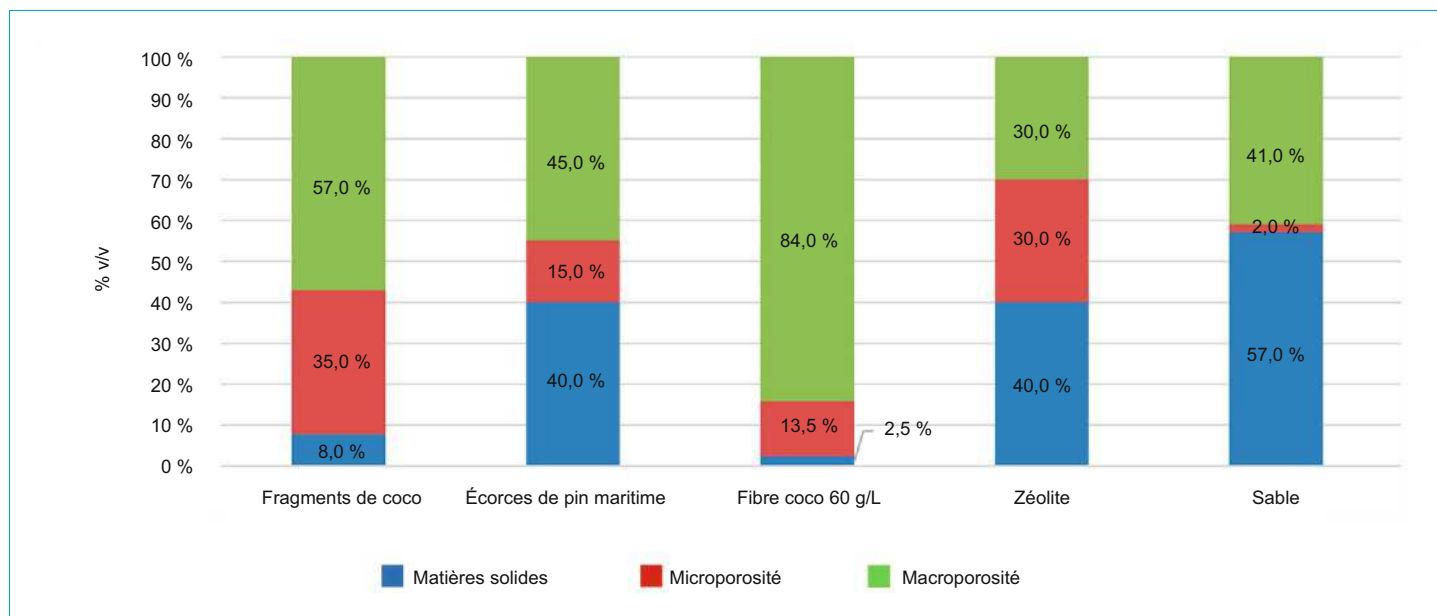


Figure 8 - Répartition de la porosité pour différents matériaux filtrants

de celui-ci en raison d'un changement métabolique des micro-organismes sous ces conditions de température [17] [18].

3.1.2.2 Écoulements de l'eau et de l'air

Le régime d'alimentation et la distribution de l'eau sur la surface ont des impacts significatifs sur l'écoulement de l'eau et de l'air dans le MF. Comme il s'agit de filtres non saturés à percolation, l'eau, en plus de s'écouler verticalement, diffuse latéralement par capillarité. L'importance de cette diffusion dépend des caractéristiques du MF et évolue dans le temps avec l'accumulation des boues au sein du lit. Il est donc possible de solliciter le volume d'un massif sans devoir distribuer l'eau à traiter jusqu'aux limites ou en tous points de sa surface. La réponse d'un matériau à un régime d'alimentation donné diffère selon ses caractéristiques physiques et celles de ses pores. Il faut donc ajuster ce régime (dose, fréquence) en fonction du MF choisi.

Plus le filtre est compact, plus les charges hydrauliques appliquées sont grandes et plus l'impact d'une distribution non équilibrée est significatif. À plus faible charge, la grande surface de lit filtrant permet d'absorber la variance d'une moins bonne distribution, alors qu'à plus fort taux d'application une meilleure distribution est nécessaire pour favoriser l'étalement des boues dans le massif tout en limitant la création de chemins préférentiels d'écoulement.

L'application des eaux peut se faire par gravité ou en créant des bûchées de volume contrôlé. En plus d'une diffusion passive de l'air dans le MF, cette pénétration de l'eau entraîne, par convection, l'air présent en surface du lit, ce qui permet de satisfaire les besoins en oxygène du traitement biologique. La convection étant le résultat de l'alternance des phases d'alimentation et de drainage du lit filtrant ; l'application des eaux par bûchée permet donc d'améliorer l'aération du filtre avec des impacts positifs sur les performances épuratoires à long terme.

L'aération du filtre est indispensable à l'activité bactérienne aérobie et nécessite un apport d'air frais. De plus, le dioxyde de carbone (CO₂) produit par la dégradation des polluants doit être évacué. Un branchement aux conduites de ventilation de l'habitation ou à une conduite de ventilation secondaire garantit généralement une circulation des gaz et une aération suffisante du filtre. Comme l'oxygène de l'air, le CO₂ produit par les microorganismes est entraîné dans le lit filtrant par les eaux qui y percolent, jusqu'en dessous de celui-ci. Sans connexion directe entre le dessous et la surface du lit filtrant, le seul chemin possible pour son évacuation est un passage à contre-courant des eaux et de l'air qui y descendent, ce qui ralentit l'oxygénation du lit filtrant, particulièrement lorsque les macropores sont occupés par la boue

accumulée. Au moins une cheminée de ventilation est nécessaire entre le fond et la surface du massif afin d'assurer l'évacuation des gaz viciés.

La bonne aération du lit filtrant requiert aussi un drainage adéquat de sa base en y maintenant des conditions non saturées même si l'humidité du MF y est plus grande. La saturation de la base du MF entrave la circulation des gaz et le maintien prolongé de ces conditions conduit au développement d'un biofilm anaérobie qui affecte les performances épuratoires, notamment par le décrochage de MES, et accélère le vieillissement du MF. Il faut donc assurer une rupture hydraulique entre le fond du lit filtrant et la zone de drainage de manière à optimiser son égouttement et le maintien de conditions non saturées.

3.1.2.3 Résistance au tassement des matériaux filtrants

L'évolution de la porosité est aussi influencée par la dégradation du MF et le tassement du lit. Selon leur origine, les matériaux peuvent se dégrader par action physique, chimique ou biologique.

Les matériaux d'origine organique montrent typiquement une dégradation biologique dont l'amplitude dépend de leur composition chimique et qui se traduit par une diminution de la taille des particules. Cela conduit à un tassement du massif filtrant et à une réduction de sa macroporosité au profit d'une plus grande microporosité. Tel qu'illustré à la figure 9, un contenu important en lignine (par exemple fragments de coco et écorces de pin maritime) se traduit par une lente perte de macroporosité.

En plus d'un affaissement associé à la dégradation du MF, l'accumulation de boues augmente la masse du lit filtrant, ce qui peut contribuer à augmenter le tassement. Le tout dépend de la nature du matériel (arrangement spatial), de la densité initiale du lit filtrant et de sa résistance mécanique. En général, les matériaux constitués de longues fibres libres montrent une résistance plus faible que ceux constitués de fragments en raison de leur arrangement spatial. Des essais réalisés avec des fibres de chanvre (chênevottes) ont montré des tassements de l'ordre de 25 à 30 % après seulement un an d'utilisation.

Les matériaux de type minéral peuvent se dégrader par précipitation de composés sur leur surface ou par transformation chimique ou biologique. En général, la dureté des matériaux filtrants en vrac d'origine minérale, combinée à la forme typiquement arrondie des particules, leur confère une résistance très grande au tassement. Les matériaux d'origines minérale de type fibre, comme la laine de roche, font toutefois exception à la règle, en raison de l'arrangement spatial des fibres qui amène une certaine compressibilité du matériel.

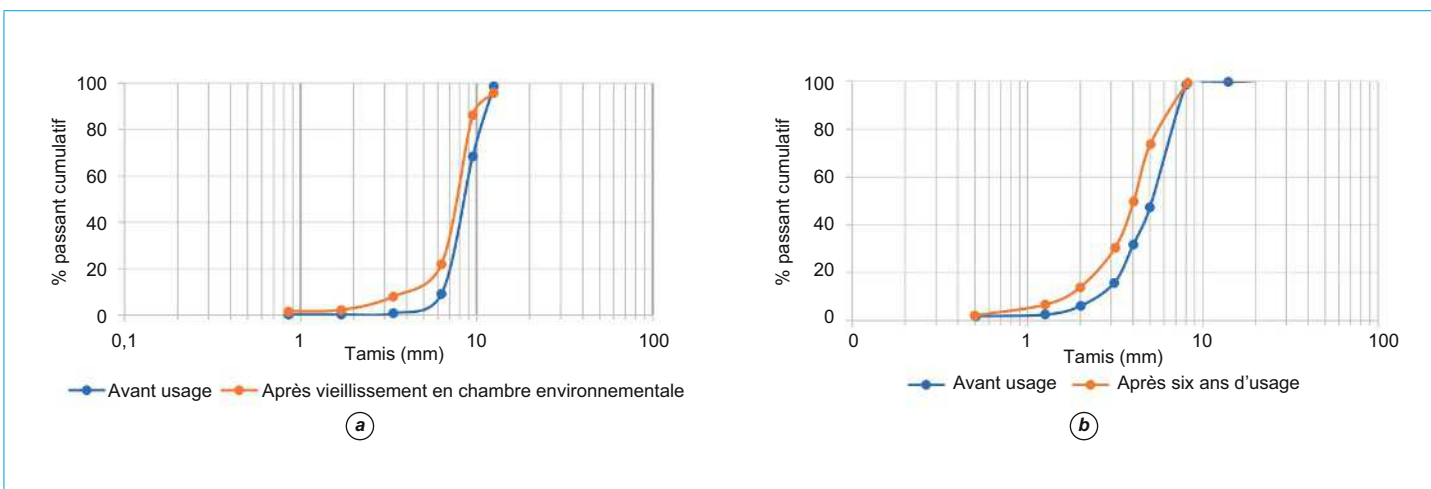


Figure 9 – Évolution de la granulométrie a) de fragments de coco et b) d'écorces de pin maritime

Comme pour les matériaux minéraux, la structure et l'arrangement des matériaux plastiques peuvent influencer la résistance à la compaction. Ainsi, par exemple des sphères rigides seront généralement plus résistantes à la compaction que des couches de fibres.

3.1.3 Performances et facteurs d'influence

3.1.3.1 Fosses toutes eaux

Pour l'ANC, il est préconisé une FTE avec un **volume utile minimum de 3 m³ jusqu'à 5 EH**, correspondant à 3 m² de surface utile (hauteur d'un mètre exigée par l'arrêté de 2009). Au-delà de 5 EH, et **jusqu'à 10 EH**, on préconise un **volume utile de 500 L par EH** supplémentaire. Il faut toutefois porter une attention particulière aux unités compactes utilisant des décanteurs primaires de volume inférieur ou ayant une surface utile réduite en raison d'une hauteur d'eau plus grande (par exemple 1,3 m). Même en respectant le volume minimum de 3 m³ pour 5 EH, les rendements de ces décanteurs primaires sont réduits, particulièrement en période de pointe, en raison de vitesses ascensionnelles accrues, pouvant entraîner le colmatage prématuré des filtres situés en aval.

Pour l'ANC des immeubles autres que les logements individuels, une étude particulière de dimensionnement doit être réalisée.

Les FTE bien conçues ont des rendements épuratoires de l'ordre de 70 % sur les MES et de 50 % sur la DBO₅ et la DCO. Les charges en azote et en phosphore sont peu réduites et le passage dans la FTE entraîne une ammonification de l'azote organique, avec 80 % de NH₄ en sortie. La FTE contribue à un enlèvement limité de la charge microbienne. La composition des effluents en sortie de FTE est présentée au tableau 5.

3.1.3.2 Filtre compact

La conception d'un lit filtrant performant et durable repose sur des paramètres clés : la nature du MF, sa porosité initiale ainsi que les taux de charge appliqués déterminent la surface minimum requise du filtre et conditionnent l'oxygénation et l'évolution de sa porosité. L'interdépendance de ces paramètres sur l'atteinte de performances durables complexifie l'analyse. Toutefois, sur la base du retour d'expérience, certains éléments fondamentaux peuvent être précisés.

La hauteur minimale d'un MF durable doit permettre un temps de contact suffisant pour le traitement des polluants en fonction des taux de charge appliqués et l'accumulation des boues sans relargage sur la durée de vie prévue du massif. Cette hauteur minimale correspond à 50 cm lorsque les surfaces sont comprises entre 0,5 et 1,0 m²/EH. Le temps de séjour au sein du lit filtrant

peut être contrôlé ou augmenté par l'introduction de zones de drainage et d'aération, qui créent des ruptures hydrauliques à la base de chacune des couches de MF.

Les travaux réalisés par Premier Tech au cours des 40 dernières années, dont 30 en conditions *in situ*, ont permis d'évaluer le comportement de filtres compacts utilisant des matériaux organiques, minéraux et synthétiques, dimensionnés entre 0,3 et 1,0 m²/EH. Les résultats indiquent que, pour opérer un filtre compact avec un entretien « raisonnable » pour une période de 10 à 15 ans avant régénération (renouvellement ou nettoyage) du MF, le dimensionnement de celui-ci doit être supérieur à 0,5 m²/EH. Cela permet d'assurer un volume de macropores suffisant pour l'accumulation des boues produites, même en considérant l'affaissement et le vieillissement du MF.

Sans considération quant à la durée de vie en conditions réelles, la surface d'un lit filtrant peut être réduite davantage, tout en satisfaisant aux exigences réglementaires lors d'essais de courte durée sur plateforme. Ces surfaces réduites (< 0,5 m²/EH) vont entraîner un colmatage prématuré du filtre même si un entretien de la surface est réalisé, en raison d'un volume insuffisant de macropores pour l'accumulation des boues pendant au moins 10 ans. Le MF devra être régénéré plus fréquemment pour soutenir dans le temps les performances réglementaires. L'expérience vécue lors du développement par Premier Tech du filtre compact « textile-tourbe », dimensionné à 0,3 m²/EH est révélatrice. Ce système a fait l'objet d'un suivi selon le protocole en conditions « sollicitantes » de Veolia [20], d'un marquage CE et d'un suivi *in situ* de six installations pendant cinq ans. Les performances sur plateforme d'essai respectaient les exigences mais le maintien de celles-ci en conditions *in situ* ont nécessité des entretiens de l'ordre de deux à trois visites par année, avec une durée de vie maximale de cinq à huit ans. On peut donc questionner la durabilité de filtres dimensionnés à moins de 0,3 m²/EH, qui présentent des volumes de macropores trop faibles malgré des hauteurs de lit filtrant supérieures à 0,6 m.

Peu importe le type de MF, ce dernier doit épouser parfaitement les formes de la cuve qui le contient afin de limiter les possibilités de court-circuit du lit filtrant. L'accumulation d'une plus grande proportion des boues en surface du lit entraîne un risque éventuel de flaquage qui, progressivement, peut atteindre une paroi de la cuve, créant ainsi un écoulement préférentiel le long de celle-ci. Pour limiter ce risque, les bonnes pratiques consistent à maintenir une zone tampon d'au moins 100 mm entre les limites du système de distribution des eaux et les parois de la cuve. Ce risque de court-circuit est nettement accru lorsqu'il existe un espace ouvert entre la limite du lit filtrant et les parois de cuve permettant un passage direct des eaux uniquement prétraitées, voire de biomasse, vers l'exutoire.

Les systèmes de distribution doivent être accessibles, facilement démontables pour leur entretien et la régénération du MF et être réglables pour assurer le maintien d'une bonne distribution. De plus, les orifices de distribution doivent être conçus pour limiter leur blocage par pontage biologique (par exemple diamètre supérieur ou égal à 8 mm pour un orifice rond).

Pour assurer le renouvellement de l'air, évacuer efficacement les gaz produits et maintenir des conditions non saturées dans le lit filtrant, il est nécessaire que ce dernier soit adéquatement drainé *via* un plancher poreux qui ne restreint pas l'écoulement des fluides y circulant. Un média à très forte macroporosité (gravier lavé ou pièces en plastique) peut être utilisé à ces fins en assurant une hauteur libre de 50 à 75 mm entre la base du lit et le niveau maximal de l'eau.

3.1.4 Opération et entretien

3.1.4.1 Fosse toutes eaux

La maintenance d'une FTE vise à contrôler périodiquement la hauteur des boues décantées et des matières flottantes et à éliminer ces matières par une opération de vidange à l'aide d'un

Tableau 5 – Domaines de fluctuation des principaux paramètres analytiques FTE [3] [10] [19]

Paramètre	Domaine
DCO (mgO ₂ /L)	250 à 800
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	90 à 300
MES (mg/L)	20 à 180
NTK (mg/L)	30 à 100
Phosphore total (mg/L)	10 à 40
Coliformes fécaux (UFC/100 mL)	10 ⁵ à 10 ⁸
Entérocoques (UFC/100 mL)	10 ⁴ à 10 ⁷

camion hydrocureur, lorsque le volume de boues atteint 50 % du volume utile de la FTE. Ceci permet de réduire les risques de soulèvement et d'empotement de boues vers le traitement secondaire.

Le contrôle de la hauteur des boues dans une FTE devrait être fait *via* chacun des accès. Pour ce faire, différents modèles de détecteurs de niveau de boues existent sur le marché. Une simple pige ne permet pas la mesure en raison de la fluidité des boues. Le préfiltre de la fosse doit aussi être régulièrement contrôlé et nettoyé.

La fréquence de vidange d'une FTE est variable selon de nombreux facteurs : volume utile et configuration (géométrie) de la fosse, utilisation, etc. Pour une fosse de 3 m³ desservant 5 EH, il est recommandé d'effectuer un premier contrôle de la hauteur des boues quatre ans après la mise en service. Les contrôles suivants peuvent se faire tous les deux ans, ou sur la base de l'abaque prévisionnel de la figure 5.

Notons finalement que la FTE fonctionne sans apport d'énergie.

3.1.4.2 Filtre compact

Les filtres compacts étant basés sur un traitement aérobie des eaux usées, leur entretien doit inclure le contrôle de la fonctionnalité des dispositifs d'aération et de ventilation en s'assurant qu'il n'y a aucune entrave à la circulation des gaz. Il faudra retirer toute obstruction s'étant accumulée sur la prise d'air du filtre, s'assurer du bon fonctionnement de ces dispositifs et vérifier le dégagement sous le lit filtrant.

Un deuxième élément consiste à s'assurer du bon écoulement des eaux et de l'air au sein même du lit filtrant. Il faut d'abord contrôler la bonne distribution des eaux par le dispositif en le nettoyant pour s'assurer que les orifices de distribution ne sont pas bloqués et en ajustant le niveau des composants qui pourraient s'être déplacés avec le temps. Les boues s'accumulant principalement en surface du lit, il importe aussi de vérifier la présence de flaquage et de court-circuit potentiel. Au besoin, les matériaux de type vrac pourront être raclés sur une hauteur d'environ 15 à 20 cm afin de rétablir les écoulements fluides et la macroporosité nécessaires au traitement. Les matériaux plus rigides pourront être nettoyés et débarrassés des boues accumulées à l'aide d'une méthode adaptée. Cette opération devrait être réalisée en dehors du filtre, ce qui complexifie la maintenance et augmente les risques de contamination sur le site. Le récurage des boues de ce type de matériel au sein même du réservoir du filtre n'est pas recommandé en raison des risques de voir celles-ci se réaccumuler plus profondément dans le lit filtrant, voire se retrouver dans le milieu récepteur. La fréquence d'entretien des filtres est fonction de leur dimensionnement et de la macroporosité du MF : un entretien tous les deux ans est suffisant pour des filtres dimensionnés à 0,5 m²/EH alors qu'aucun entretien n'est requis lorsque la surface est de l'ordre de 1,0 m²/EH. Pour les filtres plus petits que 0,5 m²/EH, une fréquence accrue est recommandée.

Il importe aussi de qualifier l'état du MF qui, selon sa nature, pourrait s'être dégradé, contrôler le niveau d'affaissement du lit, indicateur important de perte de macroporosité, et juger de la qualité des écoulements (quantité de boues présentes, importance du flaquage). Selon l'ensemble de ces observations, une régénération complète du MF pourrait s'avérer nécessaire. Les filtres dimensionnés à plus de 0,5 m²/EH et utilisés selon les recommandations du fabricant ne devraient pas nécessiter de renouvellement complet avant une période de 10 à 15 ans, selon le niveau de sollicitation.

Les filtres compacts ne nécessitent pas d'apport d'énergie pour les besoins du traitement biologique. Toutefois, selon la topographie du site, il peut s'avérer nécessaire d'installer une pompe de relevage en sortie du filtre pour évacuer les eaux traitées. Cette pompe opère en bâchée de l'ordre de 50 à 100 L pour un temps de fonctionnement journalier de moins d'une heure à la capacité nominale d'un filtre et une consommation électrique de l'ordre de 0,05 kWh/jour pour un filtre de 5 EH.

3.2 Description générale de la filière « microstation »

La filière « **microstation** » est issue des procédés de traitement utilisés en assainissement collectif et regroupe l'ensemble des systèmes de traitement avec aération électromécanique pour les besoins du traitement biologique. Cette famille se subdivise en deux catégories de filières, les « cultures libres » ou « boues activées » (CL) et les « cultures fixées immergées » (CFI).

3.2.1 Cultures libres ou boues activées

Les procédés à CL utilisent l'activité aérobie de microorganismes maintenus en suspension pour l'enlèvement des polluants. Comme pour la majorité des systèmes compacts, les eaux usées cheminent d'abord par un décanteur primaire qui retient une fraction des matières grossières décantables ou flottantes (notons que certains systèmes n'ont pas de traitement primaire). Ainsi prétraitées, les eaux se dirigent vers un bioréacteur aéré, dans lequel évoluent des microorganismes maintenus en suspension (boues). Afin d'accélérer le processus de biodégradation des polluants, les boues sont concentrées dans un clarificateur, puis retournées en partie dans le réacteur aéré, d'où l'appellation « boues activées ». Les boues en excès (non recirculées) doivent être retirées du système. La conception d'un système de traitement à CL repose sur les principaux critères interdépendants suivants :

- l'âge des boues (θ_c) : le temps de séjour des boues au sein du bioréacteur influencé par leur taux de recirculation ;
- le temps de séjour hydraulique (*TSH*) : le temps de séjour moyen d'une goutte d'eau au sein du bioréacteur ;
- l'apport d'oxygène aux microorganismes, assuré par l'air injecté dans le système selon le taux de transfert d'oxygène des équipements d'aération utilisés ;
- le mélange induit par le type d'aération choisi, qui permet d'assurer un contact optimal entre les microorganismes et les polluants et de limiter les courts-circuits ;
- la conception du clarificateur.

Les systèmes à CL peuvent être exploités en mode continu avec un réacteur biologique suivi d'un clarificateur et des équipements de retour des boues vers le bioréacteur. Ils peuvent aussi être utilisés en mode séquentiel (réacteur biologique séquencé : SBR), une période étant réservée à la décantation dans le bioréacteur. Ces systèmes à CL sont munis d'un dispositif de soutirage des boues en excès permettant de les diriger et stocker dans le décanteur primaire pour une gestion commune avec les boues primaires. Certains fabricants rajoutent un dispositif à garnissage dans le clarificateur pour ralentir les particules qui sont toujours présentes dans l'eau traitée.

3.2.2 Cultures fixées immergées

Les procédés à CFI utilisent l'activité aérobie de microorganismes se développant et se fixant, sous forme de biofilm, sur un support de croissance pour l'enlèvement des polluants. Des microorganismes en suspension y sont aussi présents. Les eaux usées brutes sont prétraitées avant de rejoindre le réacteur aéré utilisant, dans la majorité des cas, des diffuseurs d'air du type « fines bulles ». L'approche technologique peut être catégorisée en lit fixe, lorsque le support n'est pas en mouvement dans le bioréacteur, en lit fluidisé, lorsque le support est mobile (par exemple MBBR : *Moving Bed BioReactor*) et en disques biologiques, lorsque le support est composé d'un assemblage à la verticale de plaques rugueuses partiellement submergées et en rotation autour d'un axe. Ce mouvement permet d'exposer, par alternance, les plaques colonisées par du biofilm à l'air ambiant pour assurer son aération.

Dans le cas des lits fixes, en plus de fournir l'oxygène requis par la biomasse, la turbulence créée par l'aération sous le media

permet de contrôler l'épaisseur du biofilm fixé et la diffusion efficace des polluants et de l'oxygène dans ce biofilm. Notons que l'aération du type « fines bulles » favorise un transfert d'oxygène plus efficace à l'eau usée, mais exerce des forces de cisaillement (curage) moins fortes qu'une aération avec des bulles plus grosses mais moins efficace en transfert d'oxygène.

La conception et le dimensionnement d'un système de traitement du type CFI reposent sur les mêmes critères qu'une CL à l'exception de l'âge des boues. Dans ce cas, la masse de microorganismes présente au sein du bioréacteur dépend principalement de la surface spécifique (m^2/m^3) du support de croissance. C'est la quantité de média d'une surface spécifique donnée qui détermine la quantité de biomasse développée au sein du procédé. Il existe plusieurs types de supports de croissance, de composition (polyéthylène, polypropylène), de géométrie (tubulaire, pastille, ruban) et de dimensions variées, chacun développant une surface spécifique qui lui est propre (100 à $1\,200\ m^2/m^3$) [21] [22].

Comme les CL, la fonction épuratoire de ces procédés repose sur la transformation biologique de la matière soluble présente dans les eaux usées. Il en résulte une croissance des microorganismes dans le bioréacteur (boues biologiques) qui s'ajoute à la rétention de particules solides difficilement dégradables. Pour assurer la qualité du traitement, ces boues sont séparées dans un clarificateur situé en aval du bioréacteur où une pompe ou un dispositif à émulsion d'air (*air lift*) les dirige vers le réacteur primaire. Notons que certains systèmes CFI intègrent un support de croissance dans le clarificateur, qui peut retenir une fraction importante des solides en suspension y cheminant, en raison de l'organisation tridimensionnelle du matériel utilisé. En présence d'un tel média, l'extraction des boues peut s'avérer difficile car, avec le temps, le risque d'agglomération des boues avec le média est bien réel. Sans système de soutirage des boues efficace, celles-ci nécessiteront, sur une base régulière, une intervention extérieure d'entretien pour les soutirer avec des outils adaptés afin de maintenir les performances du système.

3.2.3 Performances et facteurs d'influence

3.2.3.1 Cultures libres ou boues activées

Les procédés à CL ou à boues activées se déclinent dans plus d'une dizaine de versions variant principalement selon les taux de charges organiques appliquées (ou âge de boues), le temps de séjour hydraulique (*TSH*) ou le niveau de mélange. Les dispositifs à CL utilisés en France (portail interministériel sur l'ANC) ont des *TSH* variant entre 2 et 3,4 jours et une charge volumique de l'ordre de $0,1\ kgDBO_5/m^3$ par jour correspondant à des procédés à aération prolongée à faible charge : concentration des boues dans le bioréacteur (liqueur mixte) entre 2 et $5\ g/L$, charge volumique entre $0,1$ et $0,3\ kgDBO_5/m^3$ par jour pour un âge de boues de 20 à 40 jours [4]. Au niveau de l'oxygénation, il est reconnu que la concentration en oxygène dissous dans le bioréacteur doit être maintenue entre 2 et $4\ mg/L$ [23].

Selon la plage des concentrations en liqueur mixte, la décantation secondaire de ces boues est de type freiné (section 3.1.1.1). Pour les grandes stations d'épuration, la vitesse ascensionnelle, au débit moyen de conception de ces décanteurs, varie entre 8 et $16\ m^3/m^2$ par jour [4]. Toutefois, pour les dispositifs du type CL agréés en ANC, ces vitesses sont beaucoup plus faibles ($0,5$ à $1,6\ m^3/m^2$ par jour), en raison des hauteurs effectives réduites de ces décanteurs se situant entre 1 et 2 m, comparativement à des valeurs de 3 à 5 m pour les grandes stations [24]. Plus la hauteur d'eau du décanteur est réduite, plus il est difficile d'assurer une distance verticale minimale entre le point de sortie des eaux clarifiées et la surface du voile de boues, nécessitant la réduction de la vitesse ascensionnelle pour limiter l'entraînement de boues sédimentées lors de pointes hydrauliques.

D'un point de vue biologique, la qualité des floccs produits peut influencer grandement la séparation des boues. Par exemple, une aération trop importante par rapport aux charges à traiter produit

des floccs « légers » qui décantent plus difficilement. Cet excès d'oxygène favorise la nitrification quasi complète des composés azotés et la consommation de l'alcalinité associée, pouvant abaisser le pH à moins de 6 et la déstructuration des floccs biologiques qui décantent alors très difficilement [25]. Également, une faible charge à l'entrée accroît l'âge de boues avec des impacts significatifs sur la sédimentation et un potentiel de production de bactéries filamenteuses (foisonnement des boues) qui ne décantent pas [26]. Considérant les variations importantes des débits et des charges en ANC (section 2.1) et tous les paramètres d'influence, l'atteinte des performances de traitement réglementaire en conditions réelles nécessite un suivi fréquent des opérations des systèmes à CL pour les adapter aux conditions changeantes (par exemple réglage de l'aération et du taux de recirculation des boues selon les charges appliquées). Cela est possible pour les stations collectives, avec la présence régulière d'opérateur, mais beaucoup plus difficile en ANC par la réalisation d'une ou deux visites par année. Dans cette famille de produits à CL, la version du type SBR comprenant un décanteur primaire en amont peut être un peu mieux contrôlée. En fait, le fonctionnement par bûchée permet de tamponner les fortes variations de débit et charges, assurant ainsi la décantation des boues en fin de séquence, sans apport de débit à l'entrée. Toutefois, les versions de SBR sans traitement primaire utilisées en ANC sont problématiques. L'arrivée des eaux usées est maintenue durant toutes les phases de traitement, ce qui peut perturber la qualité des eaux usées décantées. Aussi, l'accumulation des boues dans le réacteur se traduit par une augmentation de la concentration de la liqueur mixte (jusqu'à $7-8\ g/L$) pouvant affecter les besoins en oxygène et la décantation de celle-ci. Une intervention externe fréquente est requise (trois à douze mois selon le dimensionnement) pour soutirer près de 80 % du volume du bioréacteur.

Finalement, pour les microstations, la taille et la configuration du décanteur primaire (qui assure le stockage des boues primaires avec les boues secondaires) peuvent avoir un impact significatif sur les performances. Ces boues mixtes, qui sont moins denses, nécessitent des vitesses ascensionnelles réduites [27] pour éviter leur transfert vers le réacteur secondaire. Une vidange de ces boues doit être effectuée lorsque leur volume atteint 30 % du volume du décanteur primaire. Un volume d'au moins $3\ m^3$ pour 5 EH est recommandé pour limiter les fréquences de vidange des boues. L'utilisation de traitement primaire de plus faible volume ou ayant une surface réduite malgré un volume de $3\ m^3$ (hauteur plus grande et vitesse ascensionnelle accrue) aura des impacts importants sur les performances de la filière avec des risques de rejets de boues vers le milieu récepteur, surtout si les vidanges ne sont pas réalisées aux fréquences requises. La section 3.4 présente les performances de dispositifs à CL observées en conditions réelles.

3.2.3.2 Cultures fixées immergées

Tout comme les dispositifs à CL, la qualité des eaux usées traitées produites par les systèmes à CFI est fortement influencée par la sédimentation des boues. En fait, la biomasse fixée sur le support de croissance est curée par le système d'aération pour contrôler son épaisseur, produisant ainsi une biomasse sous forme de particules agglomérées qui décantent généralement plus facilement que celle en suspension caractérisant les CL. Toutefois, l'efficacité du curage du support de croissance est fonction du type de média utilisé et du système d'aération choisi (section 3.2.2). Pour les bioréacteurs avec support de croissance en mouvement (MBBR), c'est l'entrechoc des médias entre eux et la vitesse de l'eau qui circule dans les alvéoles du média qui provoquent le décrochage d'une biomasse plus fine nécessitant la réduction des vitesses ascensionnelles pour la conception des décanteurs. De plus, comme le mouvement des médias dans le bioréacteur nécessite une aération supérieure aux besoins biologiques, la présence de fines bulles d'air entrave la décantation de la biomasse, les fines bulles d'air entraînant une partie de ces particules en surface du décanteur par flottation.

Tableau 6 – Paramètres de conception des CFI agréées pour l'ANC en France

Paramètre	Critères de dimensionnement	
	Support fixe	Support en mouvement
TSH décanteur primaire (j)	1,6 à 4,3 (3,0 en moyenne)	
Hauteur effective des bassins (m)	1,0 à 1,9	
Surface utile décanteur primaire (m ²)	1,5 à 2,8	1,9 à 2,1
TSH bioréacteur (j)	1,0 à 2,0	1,0 à 1,6
Charge volumique (kgDBO ₅ /m ³)	0,2 à 0,4	
Surface spécifique des médias (m ² /m ³)	100 à 200	500 à 860
Volume média/volume bioréacteur	41 à 83 %	20 à 45 %
Vitesse ascensionnelle décanteur (m/j)	1,0 à 2,0	0,7 à 1,2

Une revue des principaux paramètres de conception appliqués pour les filières de type CFI agréées en France via les agréments publiés sur le portail interministériel sur l'ANC est présentée au tableau 6 (filières de 4 EH à 6 EH, août 2023). Les performances en conditions réelles des CFI sont présentées à la section 3.4.

Notons finalement que les impacts potentiels associés à l'utilisation d'un décanteur de volume inférieur à 3 m³ (pour 5 EH) ou à une configuration limitant la surface de ce décanteur s'appliquent également au CFI (voir section 3.2.3.1).

3.2.4 Opération et entretien

L'opération et l'entretien des systèmes à CL en ANC nécessitent beaucoup d'attention. Plusieurs paramètres de fonctionnement assurant la qualité des eaux traitées sont influencés par les charges appliquées à l'entrée des unités, particulièrement variables en ANC. Pour les CFI, la biomasse fixée au support permet plus de stabilité des performances.

Pour les deux types de microstation, les fréquences de vérification ou d'entretien ainsi que les consommations en énergie (surpresseur et pompe de recirculation s'il y a lieu) publiées dans les agréments sur le portail interministériel sur l'ANC sont présentées au tableau 7.

À noter qu'en conditions réelles les systèmes autonomes sont sollicités, en moyenne, à environ 50 % de leur capacité, ce qui double l'intervalle de temps moyen entre les vidanges.

3.3 Filtres plantés

3.3.1 Filières types

3.3.1.1 Description générale

Les **filtres plantés** font partie des filières à cultures fixées sur supports fins, comme les filtres à sable ou les filtres compacts. Ils sont généralement composés de deux massifs filtrants dont le premier est à **écoulement vertical** et le deuxième à **écoulement horizontal**.

Ces massifs sont constitués de matériaux granulaires minéraux à la surface desquels des **végétaux adaptés** sont implantés. L'épuration des eaux est possible grâce à la biomasse des **microorganismes** qui se développent dans les massifs. Les végétaux permettent d'accompagner ce processus en jouant principalement un rôle mécanique par l'oscillation des tiges entraînant la création d'interstices pour le maintien de la perméabilité du massif [FD P16-004].

En ANC, les filières existantes présentent différentes configurations : avec ou sans cuve de traitement primaire, avec alimentation gravitaire au fil de l'eau ou par bâchées, avec ou sans alternance de l'alimentation des filtres, avec ou sans filtre horizontal en aval du filtre vertical.

Tableau 7 – Entretien et maintenance des microstations

Paramètre	CFI	CL
Inspection visuelle (bullage et fonctionnement général)	3 à 6 mois	3 mois
Nettoyage du filtre du surpresseur et remplacement au besoin	6 mois	6 mois
Visite d'entretien	12 mois	6 mois
Fréquence théorique de vidanges des boues selon agréments publiés (volume maximum des boues correspondant à 30 % du volume du bassin)	8 à 22 mois (11 mois en moyenne)	4 à 10 mois (7 mois en moyenne)
Consommation en énergie (kWh/an)	303 à 950 (640 en moyenne)	180 à 420* (270 en moyenne)

* Les SBR ne sont pas aérés en continu, ce qui diminue la consommation en énergie.

3.3.1.2 Filtre à écoulement vertical

Les filtres verticaux sont réalisés dans des enceintes étanches (polyester, polyéthylène) ouvertes sur le dessus. Il peut s'agir de cuves préfabriquées ou d'enceintes fabriquées *in situ* ou de fouilles creusées dans le sol de la parcelle, étanchéifiées par la mise en place d'une membrane en plastique.

Les matériaux de garnissage des filtres verticaux sont du sable, des gravillons et des graviers. Il faut utiliser des **matériaux non calcaires, lavés et exempts de fines**. La hauteur utile totale des matériaux filtrants est comprise entre 0,3 m et 1,0 m et les granulats sont disposés en une ou plusieurs couches dont la granulométrie est croissante du haut vers le bas des massifs.

Généralement, un réseau de drainage est disposé en fond de filtre, avec une remontée des tuyaux à l'air libre au-dessus des filtres renforçant l'aération du massif.

Le filtre à écoulement vertical est planté de végétaux non envahissants adaptés aux zones humides, l'espèce la plus courante étant le roseau commun (*Phragmites australis*). D'autres espèces végétales adaptées à des contextes climatiques ou géographiques spécifiques sont possibles.

L'alimentation des filtres est réalisée gravitairement ou par pompage en un ou plusieurs points d'alimentation en surface. Développés initialement pour l'assainissement des petites collectivités [28], les filtres verticaux proposés en ANC sont dimensionnés de 1 à 3 m²/EH. Le schéma type d'un filtre planté à écoulement vertical est présenté sur la figure 10 [29].

Parmi les filières plantées agréées en France, on trouve deux autres types de traitement primaire : une FTE ou une cuve de pré-filtration remplie de plaquettes de bois.

3.3.1.3 Filtre à écoulement horizontal

Le filtre horizontal est systématiquement placé en aval du filtre à écoulement vertical qui, lui-même, peut être précédé d'une FTE.

Tout comme les filtres verticaux, les filtres horizontaux sont réalisés dans des enceintes étanches ouvertes sur le dessus. Le dimensionnement des filtres horizontaux proposés est de 1 à 2 m²/EH.

Comme il est indiqué dans le FD P16-004, les granulats utilisés sont généralement homogènes sur toute la hauteur du massif à l'exclusion des zones d'entrée et de sortie, où des gravillons ou des graviers sont mis en œuvre pour une distribution et récupération des effluents [29]. Les matériaux filtrants sont non calcaires avec une hauteur utile totale variant entre 0,4 m et 0,7 m. Un système de siphon en sortie de filtre permet de régler la hauteur d'eau. Le filtre à écoulement horizontal est planté de végétaux non envahissants adaptés aux zones saturées d'eau. Le roseau commun ou d'autres espèces peuvent être utilisés.

Typiquement, l'alimentation des filtres horizontaux se fait au fil de l'eau, généralement en un seul point d'alimentation. Le schéma type d'un filtre planté à écoulement horizontal est présenté sur la figure 11 [29].

3.3.2 Principes épuratoires fondamentaux

3.3.2.1 Filtre à écoulement vertical

Dans les massifs filtrants verticaux, se produit une filtration mécanique des particules ainsi qu'une dégradation biologique de la matière organique par les microorganismes hétérotrophes qui s'y développent, entraînant une diminution de la charge carbonée. Les massifs sont aérés par diffusion et convection de l'air. La convection est prépondérante si le filtre est alimenté par bâchées.

Tel que présenté à la figure 12 [30], les mécanismes intervenant dans le fonctionnement d'un filtre planté réfèrent à des phénomènes physiques, chimiques et biologiques interagissant entre eux et avec leur environnement naturel (climat) et humain (gestion des ouvrages). Le comportement des filtres plantés verticaux a été caractérisé, notamment sur l'évolution de la perméabilité au cours du temps [31].

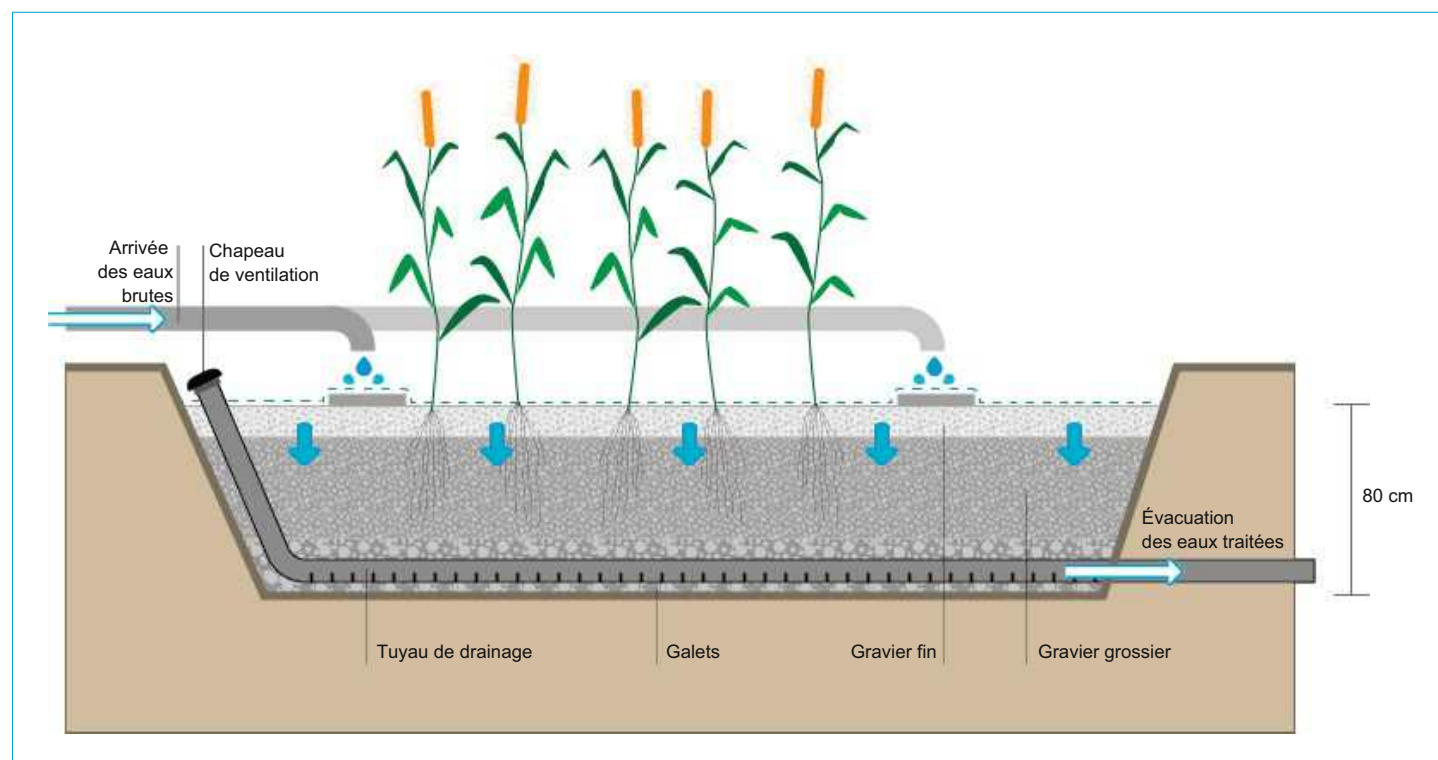


Figure 10 – Schéma type d'un filtre planté à écoulement vertical

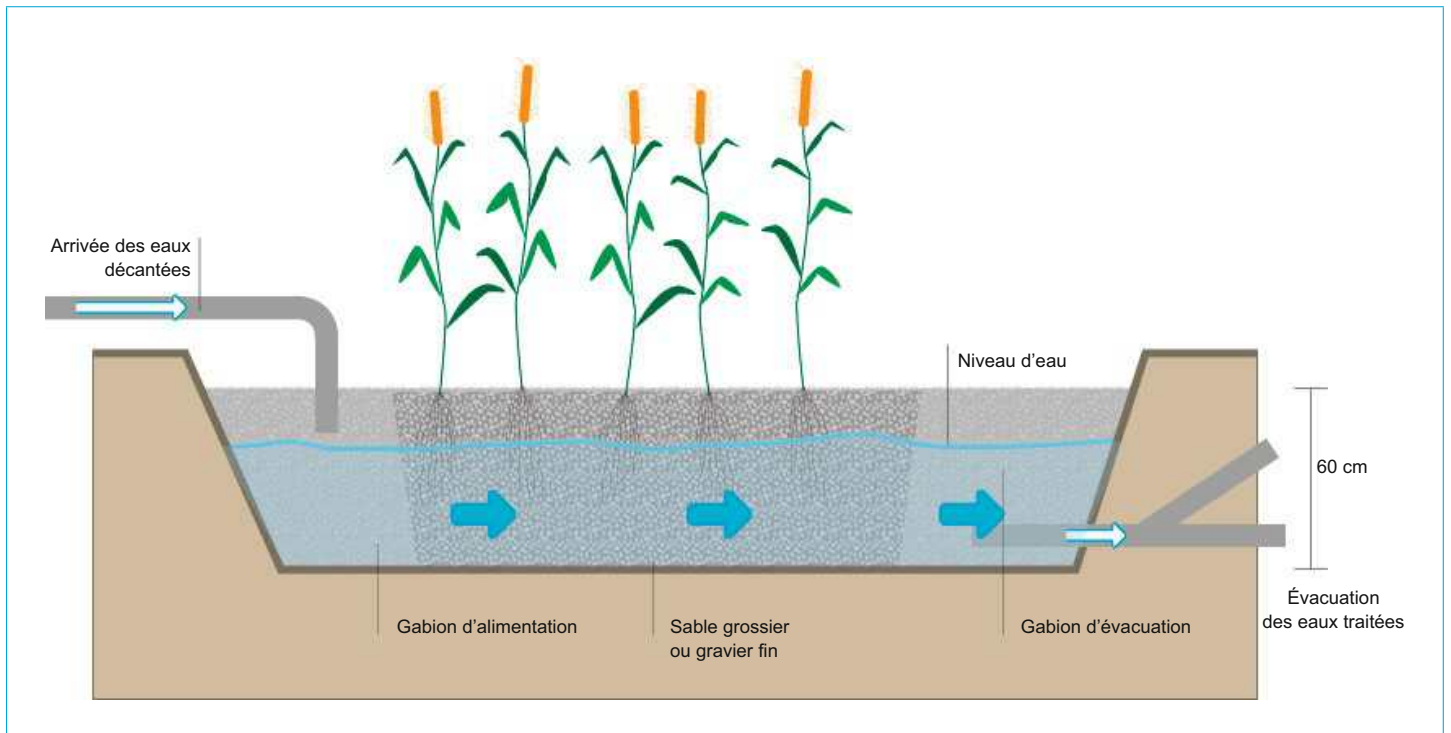


Figure 11 – Schéma type d'un filtre planté à écoulement horizontal

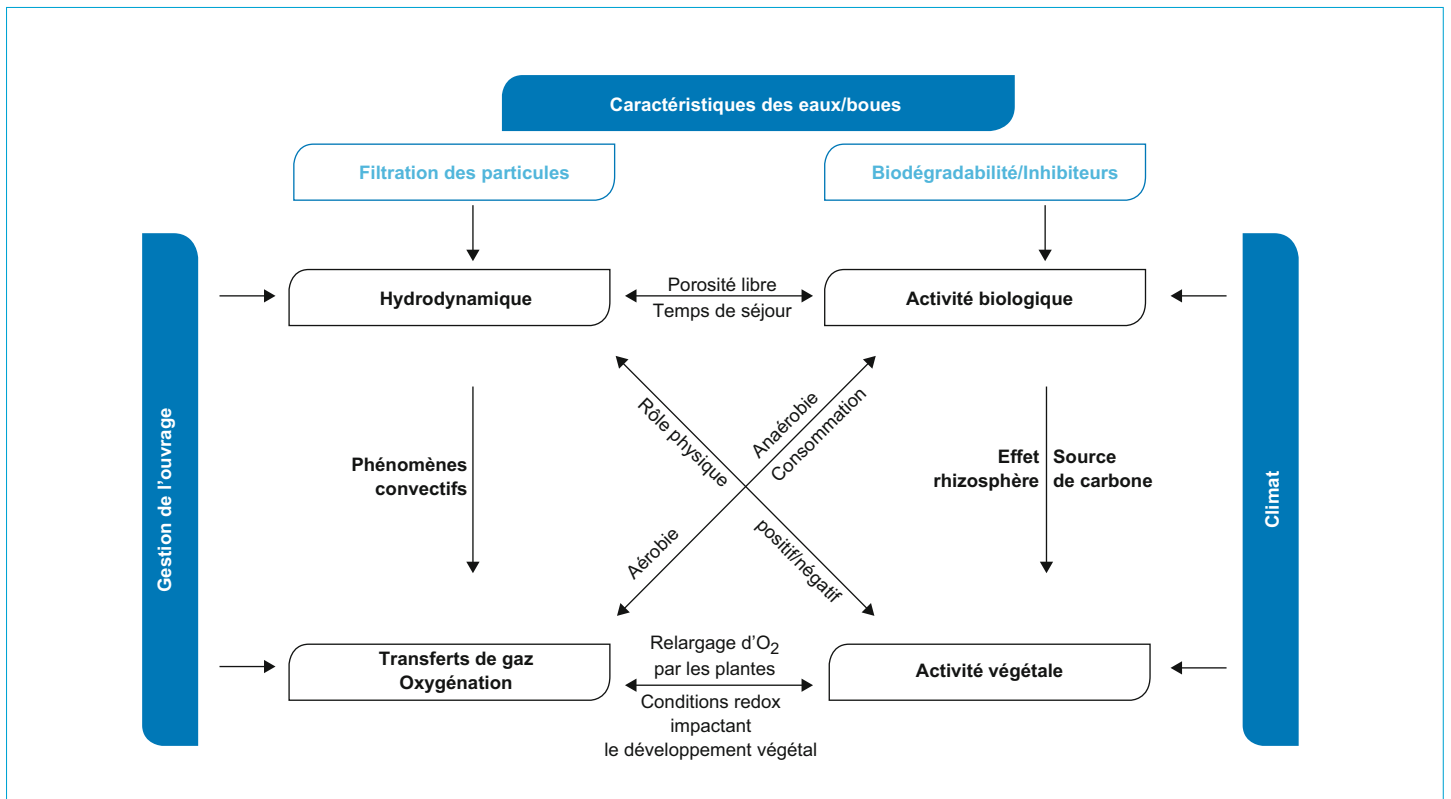


Figure 12 – Interdépendance des mécanismes impliqués dans les filtres plantés et des facteurs extérieurs

Pour un filtre vertical recevant directement les eaux usées brutes, les phases d'alternance entre alimentation et repos sont fondamentales pour contrôler la croissance de la biomasse au sein des filtres, y maintenir des conditions aérobies et minéraliser le dépôt organique en surface.

3.3.2.2 Filtre à écoulement horizontal

Les filtres horizontaux disposés en aval des filtres verticaux sont alimentés en continu et fonctionnent :

- en conditions saturées et aérobies en partie supérieure, l'oxygène étant apporté essentiellement par diffusion à travers la surface ;
- en conditions saturées et anoxiques, voire anaérobies, en partie inférieure.

L'écoulement principal de l'eau s'effectue essentiellement de façon horizontale dans le milieu filtrant saturé sous un faible gradient hydraulique selon les paramètres de la loi de Darcy (section transversale du filtre et perméabilité) [32].

Les microorganismes aérobies et anaérobies fixés sur les granulats et sur les racines et rhizomes des plantes assurent la dégradation de la pollution organique résiduelle issue des traitements situés en amont.

En raison de son fonctionnement en milieu saturé, le filtre à écoulement horizontal est plus sensible au colmatage biologique que le filtre vertical [33].

3.3.3 Rôle des végétaux

Il est admis que les végétaux ne jouent aucun rôle direct significatif dans l'épuration des eaux ([FD P16-004] et [34]). Les particules arrivant sur les filtres sont retenues par filtration et la pollution carbonée est consommée par les microorganismes. Les plantes, quant à elles, synthétisent leur matière organique par photosynthèse. Ainsi, les termes de « phyto-épuration » ou « végétaux épurateurs » rencontrés parfois sont abusifs et ne sont pas justifiés sur le plan scientifique.

Dans les filtres verticaux, les végétaux permettent cependant :

- de maintenir la percolation au travers de la couche de dépôts présente à la surface du filtre, particulièrement dans les filtres alimentés par les eaux usées brutes, sans toutefois améliorer la perméabilité d'origine ;
- de maintenir une hygrométrie, une température et un ombrage favorables à l'action des microorganismes dans la couche de dépôts en surface. En hiver, ce rôle est actif si une couche de chaume est laissée en surface.

Ainsi, le rôle des végétaux est essentiellement physique. Leur oscillation sous l'action du vent crée des interstices à la base des tiges, ce qui facilite le passage et l'acheminement de l'eau sur toute la surface. Une fois développé, le réseau racinaire favorise la répartition de l'eau dans l'ensemble du massif.

L'assimilation des nutriments (azote et phosphore) par les plantes est négligeable par rapport aux charges présentes dans les eaux usées et saisonnière en climat tempéré. Les racines et les racelles exsudent des sels minéraux et enzymes qui peuvent favoriser l'activité des microorganismes et constituent des surfaces de support pour les microorganismes épurateurs, mais leur contribution aux rendements épuratoires n'est pas quantifiée [FD P16-004].

Par ailleurs, les végétaux favorisent l'intégration paysagère des dispositifs et contribuent à réduire les quantités d'eau rejetées au milieu naturel par évapotranspiration. Toutefois, en France métropolitaine, les volumes d'eau infiltrés sont largement supérieurs aux volumes perdus par évapotranspiration.

3.3.4 Performances et facteurs d'influence

Comme tout filtre biologique, les filtres plantés sont soumis à l'influence de facteurs physicochimiques et biologiques, pouvant être liés aux conditions environnementales et d'usages.

Pour les filtres verticaux, la **capacité d'oxygénation** du massif filtrant est primordiale et la conception doit prendre en compte ce paramètre (choix des matériaux, dimensionnement, répartition des effluents sur la surface).

Pour les filtres horizontaux, c'est la **qualité du traitement situé en amont** qui devient primordiale et qui va déterminer leur dimensionnement et leur fonctionnement.

Bien entendu, le choix de végétaux adaptés à chaque configuration est également important dans le fonctionnement des filtres.

Les performances en conditions réelles des filtres plantés sont présentées à la section 3.4.

3.3.5 Opération et entretien

Les dispositifs alimentés obligatoirement par bâchées (auget basculant ou pompe) devront être munis d'un système d'alarme en cas de dysfonctionnement. En présence d'un traitement primaire par FTE, les vidanges de celle-ci sont à réaliser lorsque 50 % du volume utile est occupé par les boues. Pour les autres ouvrages de traitement primaire, il faut se référer aux consignes du fabricant.

Pour les procédés le nécessitant, l'alternance de l'alimentation des filtres est un point essentiel à respecter pour un bon fonctionnement. Elle est en général réalisée hebdomadairement par l'usager *via* la manipulation de vannes manuelles. Des systèmes automatisés peuvent également être proposés.

L'accumulation des boues sur les filtres et la nécessité de curage qui en découle dépendent du dimensionnement et de l'usage. Pour les filtres verticaux utilisés en assainissement collectif et recevant directement les eaux brutes, l'accumulation de boues en surface est de l'ordre de 15 mm/an, nécessitant un curage après 10 ans d'utilisation [35] [36]. Cette périodicité de 10 ans est reprise dans les guides des fabricants de dispositifs d'ANC.

Le faucardage des végétaux est à réaliser tous les ans, les coupes pouvant être laissées sur le massif en tant que paillis, ou extraites et compostées. Le développement de végétaux préjudiciables et de plantes adventices doit être surveillé régulièrement et le désherbage manuel pratiqué dès que nécessaire.

En fin de vie des massifs filtrants, les médias granulaires minéraux devront être évacués et le filtre remis en état.

Le document AFNOR NF P16-008 décrit les opérations spécifiques à mener sur les filtres plantés en ANC. Bien entendu, les consignes des fabricants sont à respecter dans tous les cas.

3.3.6 Sécurité

Pour des raisons sanitaires, afin de limiter le risque de contact direct des personnes et des animaux domestiques avec les effluents bruts déversés à l'air libre sur le filtre vertical, une clôture ou barrière rigide permanente est exigée autour du filtre et une grille est placée sur le filtre, fixée horizontalement sur le pourtour [1].

Compte tenu du mode d'alimentation des effluents à l'air libre, la question de la prolifération d'insectes et notamment de moustiques est légitime mais les données publiées sont insuffisantes à ce sujet. Dans un filtre horizontal, le niveau d'eau doit être maintenu à environ 10 cm en dessous de la surface du filtre pour limiter le risque de prolifération d'insectes.

Dans certaines zones sensibles, il est recommandé que les feuilles, bractées ou autres organes aériens des filtres plantés ne retiennent pas l'eau de pluie, afin d'éviter tout risque sanitaire lié aux moustiques [37].

3.4 Comparatif des trois familles de filières compactes

3.4.1 Caractéristiques générales

Le tableau 8 présente une comparaison des caractéristiques générales des filtres compacts, des microstations et des filtres plantés.

3.4.2 Performances épuratoires

Plusieurs études ont été réalisées en Amérique du Nord et en Europe pour évaluer les performances des systèmes compacts d'ANC en conditions réelles.

Tout d'abord, une étude réalisée en France sur 246 sites de 2011 à 2016 a permis de comparer les performances de plusieurs types de systèmes, dont les CFSF (filtres) et les microstations du type CL et CFI [38]. Globalement, les filtres produisent une meilleure qualité d'eaux usées traitées pour tous les taux de charge appliqués (tableau 9). Des dépassements importants du seuil réglementaire en MES (30 mg/L) sont observés pour les CL même à une charge inférieure à 30 %. Pour les CFI, les dépassements en MES sont observés à des charges comprises entre 30 et 70 % alors que la valeur de 30 mg/L est légèrement dépassée pour les filtres soumis à des charges supérieures à 70 %. D'autres études présentent des constats similaires, dont :

- le suivi des performances de 23 systèmes CL et CFI en Belgique [39] indique que les MES excèdent en moyenne 100 mg/L pour les CL et atteignent jusqu'à 70 mg/L pour les CFI. La principale cause identifiée expliquant ces performances consiste en des départs de boues résultant d'un manque de maintenance régulière (vidange des boues) ;

- l'évaluation des performances *in situ* de 161 sites au Wisconsin [40], dont 93 étaient munis de microstations aérées et 68 de filtres, indique les taux de conformité aux critères de la norme NSF/ANSI 40 (MES ≤ 30 mg/L) suivants : 94 à 100 % pour les filtres vs 57 à 91 % pour les microstations. Pour la DBO₅ (≤ 25 mg/L), les taux de conformité varient entre 76 et 99 % pour les filtres vs 49 à 92 % pour les microstations. Des départs de boues ont été observés sur toutes les microstations aérées.

Dans la famille des CFSF, on retrouve entre autres les filtres plantés et filtres à base de fragments de coco pour lesquels les suivis *in situ* se sont poursuivis sur une base volontaire à la suite de cette étude *via* un ATec ou un DTA émis par la CCFAT.

Les résultats obtenus pour les filtres plantés au cours de l'étude de 2017 correspondent aux concentrations moyennes suivantes dans l'effluent traité : 8 mg/L en MES et 6 mg/L en DBO₅. Les suivis *in situ* effectués dans le cadre de l'ATec pour cette technologie [41] présentent des résultats comparables : 6,4 mg/L en MES et 3,2 mg/L en DBO₅.

Pour les filtres à base de fragments de coco, deux dispositifs ont été évalués lors de l'étude de 2017 et les résultats étaient les suivants : 22 mg/L en MES et 9 mg/L en DBO₅. En 2018, l'étude d'un troisième dispositif (ECOFLO PE2) a été entreprise par l'INRAE et une nouvelle fiche technique, similaire à celles publiées lors de l'étude de 2017, a été émise en 2020 [42]. Les résultats sont comparables à ceux présentés dans l'étude de 2017 même si ce troisième dispositif est plus compact que les deux premiers : 17 mg/L en MES et 8 mg/L en DBO₅. Les résultats du suivi *in situ* effectué par l'INRAE en 2018 et le CSTB de 2017 à 2023 dans le cadre du DTA pour ce troisième dispositif [43] sont les suivants :

- moyenne de 10,8 mg/L pour les MES et de 7,7 mg/L pour la DBO₅ ;
- centile 80 égal à 12 mg/L en MES et 9 mg/L en DBO₅.

À retenir

- Les systèmes compacts se regroupent en trois grandes familles technologiques : les filtres biologiques, les microstations aérées (CL et CFI) et les filtres plantés.
- Des critères fondamentaux de conception doivent être respectés pour assurer les performances à long terme de ces systèmes malgré les conditions très variables de charges hydraulique et organique en ANC : volume et surface minimums des cuves, simplicité d'opération et d'entretien et gestion des boues produites.
- Les résultats des performances *in situ* indiquent que les systèmes incorporant un filtre sont les mieux adaptés à l'ANC.

Tableau 8 – Caractéristiques générales des trois familles de filières d'ANC

Paramètre	Filtres compacts	Microstations	Filtres plantés
Cuves*	1 ou 2 cuves en béton, PE ou PRV ou bassins construits à même le sol avec membrane d'étanchéité	1 ou 2 cuves en béton, PE ou PRV	Enceintes préfabriquées ouvertes sur le dessus ou construites à même le sol avec membrane d'étanchéité Cuve de prétraitement dans certains cas
Emprise au sol (m ² /EH)	1,5 à 2,5	1,0 à 2,0	1,5 à 5
Surface des filtres (m ² /EH)*	0,11 à 1,0	s/o	1,0 à 4,0
Énergie (kWh/an)*	s/o sauf si relevage requis (18 à 32)	180 à 950	s/o sauf si relevage requis (18 à 32)
Distance d'un bâtiment (m)**	5	5	5 à 30 selon la capacité
Protection/nuisances	Système avec couvercles fermés et verrouillés et/ou Système enterré	Système avec couvercles fermés et verrouillés	Clôture requise autour de l'installation et grillage horizontal sur le filtre vertical (eaux usées à l'air libre)
* Portail interministériel sur l'assainissement non collectif ** Cadre de la procédure d'évaluation d'ANC [1] s/o : sans objet			

Tableau 9 – Résultats de l'étude du Groupe national public

Concentrations moyennes (mg/L)			Famille CFSF			Famille CFI			Famille CL		
			MES	DCO	DBO ₅	MES	DCO	DBO ₅	MES	DCO	DBO ₅
Taux de charge	< 30 %	C ⁽¹⁾	11	57	8	22	101	18	49	110	19
		n ⁽²⁾	24	24	14	53	53	33	43	43	24
	30 à 70 %	C	23	85	9	36	135	18	192	295	43
		n	368	367	217	242	242	146	211	213	120
	> 70 %	C	34	101	21	50	169	30	125	258	68
		n	212	213	77	93	93	62	28	28	14

(1) C : concentrations des eaux usées traitées
(2) n : nombre de valeurs

4. Postes de relevage

Lorsque l'écoulement gravitaire des eaux usées ne peut être assuré en raison des caractéristiques du site, un poste de relevage peut être nécessaire pour relever les **eaux usées brutes** en amont du traitement primaire, les **eaux usées prétraitées** en amont du traitement secondaire ou les **eaux usées traitées** en aval de la filière d'ANC pour leur rejet. Indépendamment de leur localisation, les postes de relevage doivent satisfaire aux exigences suivantes :

- spécifications de la série de normes NF EN 12050 (déformation maximale de 7,5 % lors de l'essai « pit test », étanchéité du poste, des raccordements et du couvercle d'accès). La norme NF EN 12050-1 concerne les postes d'eaux usées brutes et la norme NF EN 12050-2 s'applique aux autres postes ;
- pompe et équipements électriques classés IP68 et les raccordements électriques des postes, notamment leur étanchéité, conformes à la norme NF C15-100 ;
- présence d'une alarme de niveau haut en cas de défaillance ou de blocage de la pompe ;
- le tuyau de refoulement doit être muni d'un clapet antiretour de diamètre égal ou supérieur à l'orifice de sortie de la pompe. En région froide, il faut prendre les mesures nécessaires pour protéger l'installation du gel ;
- la hauteur manométrique de refoulement de la pompe sera déterminée selon la norme NF EN 12056-4 et le débit de la pompe pour assurer une vitesse d'écoulement comprise entre 0,7 et 2,3 m/s ;
- le couvercle d'accès devrait assurer une cote de passage d'au moins 550 mm de diamètre pour faciliter les interventions. Pour des cotes de passage inférieures, il est recommandé de vérifier auprès du fabricant les conditions de « démontabilité » de la pompe et des accessoires ;
- si des charges roulantes sont prévues, une dalle de répartition des charges est requise avec des accès conformes à la norme NF EN 124-1 (classes B125 et C250). Pour les charges non roulantes, la classe A15 s'applique sans considérer le critère de flèche sous charge ;
- le poste de relevage contient une ou deux pompe(s) et est muni ou non de barres de guidage pour manipuler la (les) pompe(s). Le choix dépend de la profondeur du poste et de la taille de l'installation. Pour les petites installations d'ANC (≤ 10 EH), les postes de relevage sont généralement munis d'une seule pompe sans barre de guidage. Une corde marine ou câble d'acier inox 316L permet de retirer et remettre la pompe en place. La zone

d'intervention manuelle ne peut en aucun cas être à plus de 50 cm de l'élévation du terrain naturel ;

- si le poste est installé en présence de nappe ou de sols saturés, celui-ci doit être ancré adéquatement ;

- tous les passages de tuyaux doivent être munis de joints étanches.

D'autres caractéristiques des postes de relevage présentées au tableau **10** dépendent de leur localisation dans la filière de traitement. Il faut souligner quelques exigences supplémentaires pour les postes de relevage associés aux filières agréées :

- les postes de relevage installés à la sortie d'un traitement primaire doivent impérativement faire partie de la filière de traitement faisant l'objet des essais d'évaluation des performances (NF EN 12566-3+A2). Si le dispositif de traitement secondaire a fait l'objet d'une évaluation selon la norme NF EN 12566-6, il est possible de définir ses conditions d'alimentation par une pompe d'eaux usées traitées (par exemple volume de bûchée représentatif des conditions d'essais) ;

- pour le relevage des eaux usées traitées, la pompe peut être intégrée dans la cuve d'un filtre compact, si cette pompe était présente lors des essais de marquage CE de ce filtre. Cette exigence permet de vérifier l'impact sur les performances d'un arrêt de 24 h de la pompe, qui a submergé le MF en tout ou en partie (deux séquences dans le cadre du protocole). Si un poste de relevage indépendant est utilisé en aval d'un filtre compact, celui-ci devra être conçu pour éviter toute saturation même partielle du milieu filtrant qui entrave l'aération et le drainage de celui-ci (voir section 3.1.2.2).

À retenir

- Selon les besoins, trois types de postes sont possibles : relevage des eaux brutes, prétraitées ou traitées.
- Ces postes doivent être accessibles pour leur entretien (pompe et flotteurs) et munis d'une alarme en cas de panne de la pompe.
- Pour les postes localisés en aval de filtres compacts, l'impact d'un bris de pompe ne doit pas nuire au bon fonctionnement du filtre.

Tableau 10 – Caractéristiques des postes de relevage selon leur position dans la filière d'ANC

Caractéristique	Usage du poste de relevage		
	Eaux usées brutes	Effluent prétraité	Eaux usées traitées
Type de pompe	Vortex (eau chargée)*	Vortex (eau peu chargée)	Vortex (eau claire)
Diamètre de passage minimum dans la pompe (mm)	50	32	25
Corps de la pompe	Inox 316 ou PP	Inox 316 ou fonte ou PP	Inox 304 ou fonte ou PP
Canalisation de transfert	PVC (pression)		
Diamètre minimum de la canalisation de transfert	DN 63	DN 40	DN 32
Vanne au refoulement	Obligatoire	Obligatoire	Pas obligatoire
Volume de bâchée recommandé (L/EH)	5	10	10
Brise jet	Requis en amont du traitement primaire	Requis en amont du traitement secondaire	Non requis
*Pompe broyeuse interdite			

5. Infiltration des eaux usées traitées

L'arrêté « prescriptions techniques » du 7 septembre 2009 précise que, pour les sols dont la perméabilité est comprise entre 10 et 500 mm/h, les eaux usées traitées doivent être infiltrées. Tout rejet en milieu superficiel doit être justifié et autorisé.

Cette priorité donnée à l'infiltration des eaux usées traitées s'explique par la qualité microbiologique de ces rejets. Deux études réalisées en conditions *in situ* au cours des 10 dernières années [44] [45] indiquent des valeurs médianes de l'ordre de 4 et 3 log UFC/100 mL pour *E.coli* et les entérocoques respectivement. Selon la référence [44], le 80^e percentile des valeurs mesurées atteint 5,2 et 4,6 log UFC/100 mL pour *E.coli* et les entérocoques. Cela justifie pleinement l'importance de prioriser l'infiltration et de limiter les possibilités de réutilisation de ces eaux usées traitées à l'irrigation souterraine de végétaux non comestibles. Pour envisager d'autres possibilités de réutilisation des eaux usées traitées issues de l'ANC, un **traitement tertiaire de désinfection** est nécessaire pour se prémunir du risque microbiologique.

5.1 Différents types de système d'infiltration

Les **principaux dispositifs d'infiltration** sont les suivants : les tranchées d'infiltration avec granulats, les lits d'infiltration, les noues empierrées ou végétalisées et les dispositifs sans granulat (FD P16-007).

La figure 13 illustre la section d'une tranchée classique d'infiltration et d'un lit d'infiltration avec granulats. La tranchée permet une sollicitation du fond et des parois ainsi qu'une aération passive *via* le sol au-dessus et autour de celle-là. Typiquement, ces tranchées ont une largeur de 0,5 m, une hauteur de 30 à 50 cm de granulats et un recouvrement au-dessus du granulat n'excédant pas 20 cm.

Les noues sont constituées de larges fossés près de la surface munis d'un tuyau d'épandage et remplis de galets ou de pierres intégrant souvent des végétaux.

Les dispositifs sans granulats (par exemple voûte) sont aménagés dans des tranchées (figure 14). Ils sont fabriqués en plastique selon différentes formes et se posent sur le fond de la tranchée scarifiée. L'alimentation en eaux traitées se fait en début de tranchée où une plaque (ou gravier) posée sur le sol au point de chute de l'effluent permet de limiter le ravinement. Un tuyau d'infiltration peut aussi y être installé et un accès visuel est recommandé pour apprécier la mise en charge éventuelle de la zone d'infiltration. Cet accès peut aussi faire office de mise à l'air.

Indépendamment du type de dispositifs, les tranchées d'infiltration s'installent perpendiculairement à la pente de la parcelle en suivant les courbes de niveau et la distribution des eaux usées traitées peut être réalisée de trois façons : gravitaire, par bâchées ou sous faible pression.

La distribution gravitaire comprend une conduite d'amenée, une boîte de répartition placée sur une assise solide et les tuyaux d'infiltration d'un diamètre d'au moins 75 mm avec une longueur maximum de 15 m et une pente comprise entre 1 et 2 %. Le granulat exempt de particules fines a une taille de 15 à 60 mm et une épaisseur d'au moins 15 cm sous le tuyau. Si des voûtes sont utilisées pour remplacer le granulat, leur longueur est limitée à 6 m.

La distribution par bâchée peut être réalisée par une chasse hydraulique ou une pompe de relevage intégrée ou non dans le dispositif de traitement secondaire. Le réseau de tuyaux est similaire au système gravitaire, mais la boîte de répartition peut être intégrée à la chasse pour une meilleure efficacité ou remplacée par une conduite de distribution étanche raccordant chaque tuyau d'infiltration.

La distribution sous faible pression nécessite des volumes de bâchées correspondant à au moins trois fois celui des tuyaux avec une pression sur les orifices de l'ordre de 0,6 à 0,9 m, ce qui nécessite de réduire le diamètre des canalisations d'infiltration (32 à 50 mm).

5.2 Principes fondamentaux selon le type de sol et la sensibilité du milieu récepteur

L'infiltration des eaux usées traitées dans un sol naturel nécessite une investigation appropriée pour choisir une solution technique adaptée aux conditions du site afin d'en assurer la pérennité. Ces

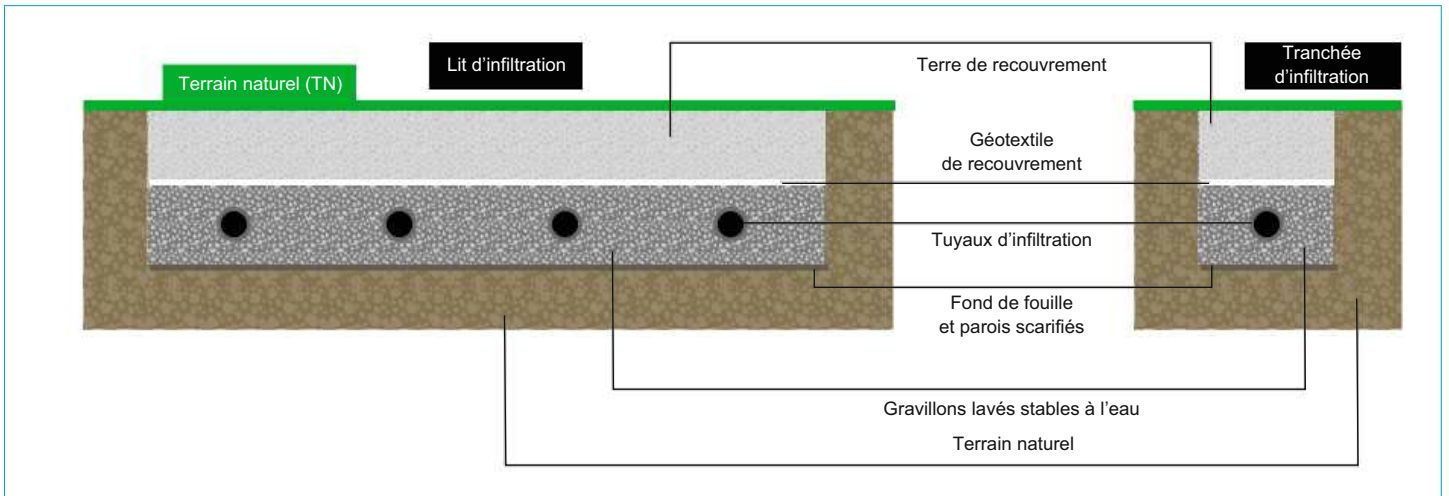


Figure 13 – Exemple de tranchée et de lit d'infiltration avec granulats

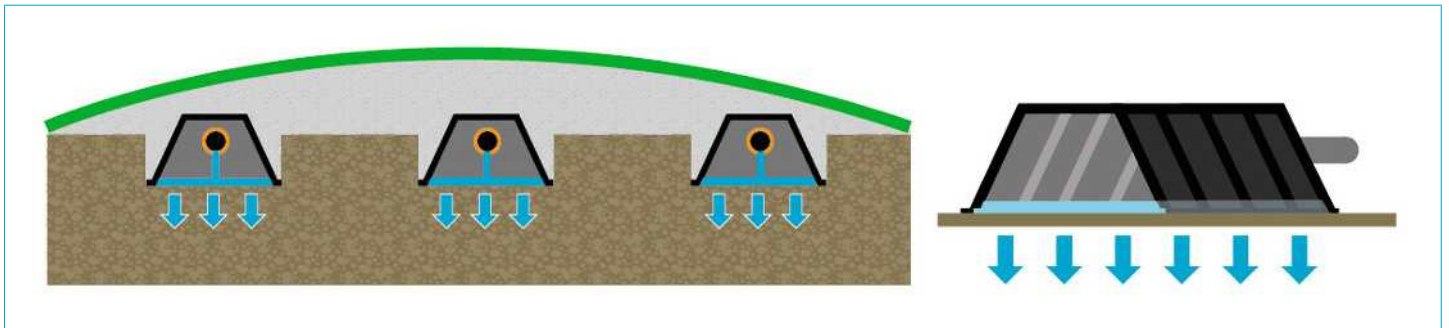


Figure 14 – Exemple de tranchées d'infiltration munies de voûte

investigations servent à déterminer l'aptitude du sol à l'infiltration en fonction des caractéristiques du sol et de la parcelle. La figure 15 présente le principe de fonctionnement hydraulique d'une infiltration où les eaux usées traitées transitent *via* trois zones : la zone d'interface avec le sol, la zone insaturée dans laquelle l'infiltration est principalement verticale et la zone saturée, caractérisée par un écoulement principalement horizontal en fonction du gradient hydraulique.

5.2.1 Caractéristiques du site

Il est important de prendre en compte le contexte du site pour réaliser une infiltration dont principalement :

- la profondeur des fondations du bâti : une distance fondations-infiltration de 5 m est requise afin d'éviter la déstabilisation des fondations par saturation du sol ou par gonflement d'un sol argileux ;
- la présence de sols humides, de cours d'eau, de nappe affleurante ou de stagnation d'eau ;
- la présence d'un puits ;
- la prise en compte du relief (ou pente) du site, en évitant toutes zones en bas de talus ou en fortes pentes sujettes aux résurgences ;
- la considération du ruissellement en surface pour éviter l'écoulement d'eau parasite vers la zone d'infiltration.

Évidemment, les limites de propriétés et l'accessibilité au site sont aussi à considérer.

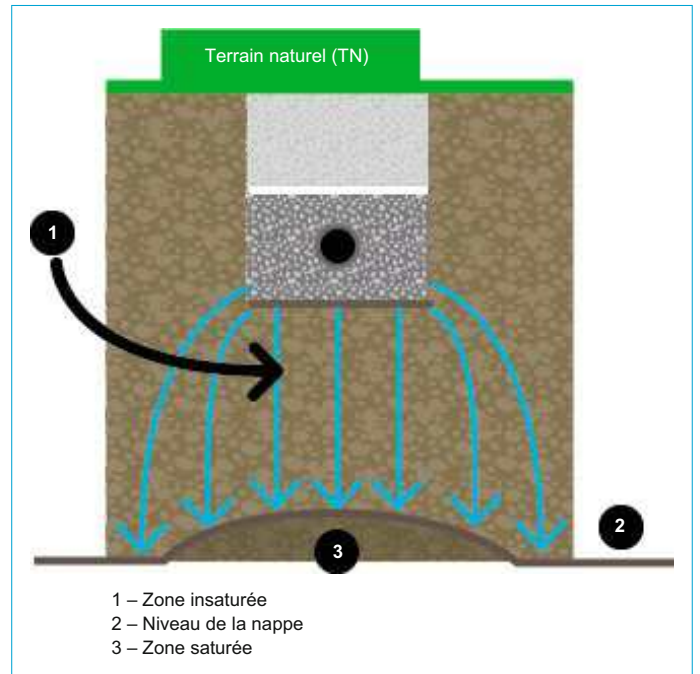


Figure 15 – Principe de fonctionnement hydraulique d'une infiltration

5.2.2 Caractéristiques du sol naturel

L'évaluation des caractéristiques du sol naturel est fondamentale pour déterminer son aptitude à une infiltration pérenne des eaux traitées. Plusieurs éléments sont à considérer :

- la réalisation de sondages à l'emplacement potentiel de la zone d'infiltration (tarière ou tractopelle) ;
- la détermination de la stratification du sol en précisant les caractéristiques dimensionnelles des principales couches et leur aptitude à l'infiltration dont leur structure (compacte, particulaire ou fragmentaire) et leur texture (argile, limon et sable). Si la roche mère se situe à faible profondeur, il est aussi important d'évaluer ses propriétés (altération, fissuration, etc.) ;
- le niveau haut de la nappe généralement constaté par la coloration du sol afin de déterminer la profondeur de sol non saturé apte à l'infiltration ayant une hauteur comprise entre 30 à 60 cm. Cette distance permet d'éviter la saturation potentielle de la zone d'infiltration par la remontée de la nappe au droit de celle-ci ;
- la perméabilité de la couche de sol insaturé retenue pour l'infiltration est réalisée par la méthode de Porchet à niveau constant, permettant de déterminer le coefficient de perméabilité saturée (*K*) en mm/h. Cette méthode est à la base de l'établissement des règles de dimensionnement des épandages. D'autres tests sont utilisés dans différents pays dont le test de percolation (T-test) qui détermine le temps de percolation de l'eau dans le sol, exprimé en min/25 mm ou min/cm. Indépendamment de la méthode utilisée, il importe de réaliser la détermination de la perméabilité de la couche de sol insaturé retenue en fonction de la profondeur prévue du dispositif d'infiltration.

Bien que la perméabilité du sol soit généralement le critère utilisé dans les réglementations pour classer les différents sols naturels, l'hétérogénéité de ces sols et les caractéristiques spécifiques de chacun des sites nécessitent que le concepteur réalise une analyse croisée de la perméabilité mesurée en fonction des autres paramètres de caractérisation du sol et du site. Ceci permet de déterminer l'aptitude du sol à l'infiltration à la base du dimensionnement de l'ouvrage et son positionnement sur le site.

5.3 Dimensionnement

En France, il n'y a pas de règles précises de dimensionnement de la surface d'infiltration. Les taux d'application définis se limitent aux épandages d'eaux usées prétraitées. Il existe quelques données de dimensionnement pour l'infiltration d'eaux usées traitées, mais elles se limitent principalement à des effluents de niveau secondaire (30 mg/L en MES et 35 mg/L pour la DBO₅). Peu de données existent pour l'infiltration d'eaux usées traitées de meilleure qualité.

Les travaux de LAAK [46] [47] ont permis de proposer des réductions des surfaces d'infiltration par rapport à celles appliquées pour un effluent de fosse septique (*surface EFS*), en fonction de la qualité des eaux usées exprimée en concentrations de MES et DBO₅, en appliquant l'équation suivante :

$$Surface = Surface\ EFS \times \sqrt[3]{\frac{DBO_5 + MES}{250}}$$

Sur la base de ce modèle, des surfaces d'infiltration pour différentes qualités d'eaux usées traitées ont été proposées [48]. Par exemple, pour un sol ayant une perméabilité de 20 mm/h et un effluent de 30 mg/L en MES et de 35 mg/L en DBO₅, la surface d'infiltration serait réduite à 60 % de la surface d'épandage d'un effluent de FTE (4,8 m²/EH). Pour des eaux usées traitées concentrées à 10 mg/L en MES et DBO₅, la surface d'infiltration est réduite à 40 % de la surface d'épandage (3,2 m²/EH). Toutefois, des travaux expérimentaux du CSTB [49] réalisés avec des eaux usées de qualité secondaire ont montré que l'approche précédente, appliquée à des sols ayant une perméabilité comprise entre 10 à 20 mm/h, surestimait les taux d'application. Les forces ioniques des eaux usées traitées sur la composante argileuse des

sols à plus faible perméabilité viennent réduire la capacité d'infiltration de ces sols.

Il va de soi que la qualité des eaux usées traitées peut avoir un impact sur la durée de vie d'un dispositif d'infiltration mais d'autres facteurs interviennent. Bien que les dispositifs d'assainissement agréés doivent satisfaire l'exigence réglementaire de 30 mg/L en MES et de 35 mg/L en DBO₅, des fluctuations importantes de la qualité des eaux usées traitées en conditions *in situ* sont observées, incluant des relargages de boues à la sortie de microstations qui vont colmater prématurément les surfaces d'infiltration (section 3.4.2). Ces variations de qualité sont liées à de nombreux facteurs dont principalement la nature même du procédé (séparation des boues et stockage), le volume et la configuration des décanteurs primaire et secondaire, la possibilité de court-circuit avec rejet d'eaux usées seulement prétraitées vers l'infiltration ainsi que l'entretien lié principalement à la fréquence de vidange des boues ou de maintenance d'un milieu filtrant.

Considérant tous ces éléments et les indications fournies au guide technique du CSTB [50] et à la fiche d'information sur l'infiltration des eaux usées traitées pour les installations de 20 EH et moins [51], les surfaces d'infiltration présentées au tableau 11 sont à considérer en fonction de la perméabilité du sol récepteur et du type de filière préconisée, le tout en présence d'une couche de sol non saturé d'au moins 30 à 60 cm sous l'infiltration.

Tel que présenté au tableau 11, les variations de surface sont importantes pour les différents types de sol et de filières. Les solutions à dimensionnement unique pour tous les types de sol sont à considérer avec beaucoup de précautions pour éviter le colmatage prématuré de la zone d'infiltration.

À retenir	
<ul style="list-style-type: none"> - L'infiltration des eaux usées traitées est la méthode privilégiée par l'arrêté de septembre 2009, mais aucun dimensionnement n'est imposé. - La pérennité d'un système repose sur la prise en compte des contraintes du site et sur la détermination adéquate de l'aptitude du sol à l'infiltration, basée sur sa perméabilité, texture et structure. - La qualité des eaux usées traitées et leur stabilité influencent le dimensionnement des zones d'infiltration. 	

<i>K</i> (mm/h) Dominante du sol	Techniques courantes (sous DTA ou ATec)* Surface (m ² /EH)	Techniques non courantes Surface (m ² /EH)
10 à 20 Sols argileux-limoneux	5,6 à 7	8 à 10
20 à 30 Sol à dominante limoneuse	3 à 3,6	5 à 6
30 à 50 Sol à dominante limoneuse	2 à 2,4	5 à 6
50 à 200 Sols limoneux sableux	1,8 à 2,4	3 à 4
200 à 500 Sols sableux	1,8 à 2,4	3 à 4

* Après validation des performances *in situ* durant au moins trois ans

6. Impact carbone des ouvrages d'ANC

6.1 Données de base et méthodologie de réalisation des ACV

L'analyse cycle de vie (ACV) permet d'évaluer les impacts environnementaux potentiels d'un produit tout au long de son cycle de vie, dont l'impact carbone exprimé en dioxyde de carbone équivalent ou CO_{2e}. C'est une méthode normalisée par la norme ISO 14044 de 2006 et précisée par la norme NF EN 15804+A2 spécifique pour les ouvrages de la construction.

L'ACV prend en compte l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit qui peuvent être scindées en cinq parties : matières premières, fabrication, mise en circulation, utilisation et fin de vie. Il s'agit d'une analyse multicritère permettant d'identifier et de comparer les éventuels transferts de pollution, d'une étape du cycle de vie à une autre, ou d'un enjeu environnemental à un autre. Différents indicateurs sont évalués lors de l'ACV, par exemple l'indicateur de réchauffement climatique, énergie ou en lien avec l'économie circulaire.

Une unité fonctionnelle (UF) est établie lors de la réalisation de l'ACV, afin d'explicitier et de quantifier précisément le service rendu par le dispositif étudié. Dans le cas de l'ANC, le service rendu est le traitement des eaux usées, conformément à la réglementation. Les recommandations méthodologiques pour la réalisation des ACV des systèmes d'ANC [52] proposent comme UF : « Traiter la charge de pollution des eaux usées domestiques reçues pendant une durée de vie de référence de 50 ans par un dispositif d'ANC d'une capacité nominale de Y EH, correspondant à un volume d'eau total à traiter de $2\,400 \times Y\text{ m}^3$ », où Y EH est la capacité nominale du dispositif étudié. La valeur de $2\,400\text{ m}^3$ correspond au rejet d'eaux usées d'un EH durant 50 ans. L'UF retenue doit permettre la comparaison de différents systèmes, en n'intégrant pas la notion de performance épurationnaire des systèmes, excepté le respect des seuils réglementaires.

L'ACV se déroule en quatre étapes débutant par la définition des objectifs et du champ de l'étude, l'inventaire de cycle de vie, qui consiste à réaliser un bilan entrée/sortie de toutes les ressources consommées et de tous les rejets dans l'environnement à chacune des étapes du cycle de vie. Puis les flux de consommation et d'émissions sont regroupés et agrégés en indicateurs d'impacts potentiels sur l'environnement. Et pour finir, une phase d'interprétation des résultats obtenus.

Une fois réalisée, l'ACV va notamment permettre à un fabricant d'identifier les leviers pour diminuer les impacts les plus importants du produit sur l'environnement et les axes d'amélioration dans le cadre d'une démarche d'écoconception selon la norme NF EN 16524.

6.2 Déclarations environnementales et sanitaires

6.2.1 Fiche de déclaration environnementale et sanitaire

Pour les produits de construction, l'ACV fournit les données permettant la rédaction d'une déclaration environnementale appelée « fiche de déclaration environnementale et sanitaire » (FDES) encadrée par la norme NF EN 15804+A2 et son complément national NF EN 15804+A2/CN (2022). C'est un document normalisé et un outil

permettant d'aider les professionnels dans leurs choix pour rendre un bâtiment plus durable, en calculant la performance environnementale d'une habitation, notamment dans le cadre de la réglementation environnementale 2020 (RE2020). Les FDES sont validées pour une durée de cinq ans par un vérificateur habilité par le programme INIES et sont rendues publiques sur la base de données en ligne INIES (voir « Pour en savoir plus », rubrique Annuaire).

Comme il s'agit d'une méthode normalisée, les informations présentées sont harmonisées d'une FDES à l'autre, permettant de réaliser des comparaisons entre des FDES de produits différents pour une même application, en s'assurant que l'UF est identique.

6.2.2 Données environnementales par défaut

Lorsqu'un produit est dépourvu de données environnementales spécifiques, des données environnementales par défaut (DED) peuvent être utilisées pour le calcul le plus complet possible de l'ACV d'un bâtiment. Attention, ces DED doivent être utilisées uniquement en l'absence de FDES car les impacts sont majorés par un coefficient de sécurité afin de couvrir l'incertitude sur la performance environnementale du produit installé. Ces DED sont mises à disposition par le ministère en charge de la construction et de la transition écologique.

6.2.3 Réglementation environnementale 2020

Cette nouvelle réglementation s'applique en France depuis le 1^{er} janvier 2022. Elle succède à la réglementation thermique RT2012 en étant plus ambitieuse et plus exigeante pour le secteur de la construction dont l'ANC fait partie. Elle s'applique aux constructions neuves afin d'agir sur l'impact environnemental des bâtiments et intervient dans la lutte contre le réchauffement climatique en réduisant progressivement les émissions associées aux constructions neuves. Elle tient compte de l'ensemble des consommations d'usages des bâtiments à savoir le chauffage, la ventilation, la climatisation, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage, le traitement des eaux usées, etc.

6.3 Facteurs d'influence significatifs selon le type de filière

L'impact environnemental peut s'avérer contrasté pour des dispositifs d'ANC différents ayant la même UF.

Selon une étude comparative des impacts environnementaux de systèmes d'ANC [53], il est observé des profils d'impacts différents pour les technologies de filtres compacts, filtres à sable ou encore microstations. Cette ACV comparative identifie l'origine des impacts environnementaux de ces différents systèmes d'ANC et met en exergue certains facteurs d'influence.

Pour les **filtres compacts**, les impacts environnementaux proviennent principalement de :

- la production et la gestion en fin de vie des cuves ;
- la durée de vie du MF qui détermine sa fréquence de remplacement avec les impacts associés à l'extraction et le retraitement du MF usagé et sa remise à neuf, à chaque remplacement ;
- la vidange des boues de la FTE.

Pour les **filtres à sable**, les impacts environnementaux proviennent essentiellement :

- du transport du sable et des graviers depuis le lieu d'extraction vers le site d'installation et en fin de vie vers le site de disposition. Ainsi, même si ces matériaux sont approvisionnés à proximité de l'installation, il s'agit de matériaux très lourds (volume important et densité élevée), impactant significativement les émissions lors du transport sur route par camion ;
- de la production et de la gestion en fin de vie de la cuve de la FTE et du réseau de distribution des eaux à traiter ;
- de la vidange des boues de la FTE.

Enfin pour les **microstations**, les impacts environnementaux proviennent principalement de :

- la consommation d'électricité du surpresseur assurant l'aération de ces systèmes, particulièrement ceux où cette aération est fournie en continu ;
- le remplacement et la fin de vie des équipements électromécaniques incluant les panneaux de contrôle ;
- la vidange des boues dont la fréquence est de l'ordre d'un à deux ans (section 3.2.4).

Pour les **filtres plantés**, les impacts environnementaux principaux attendus sont l'approvisionnement et la mise en place des matériaux constituant les filtres (sable, gravier), la fréquence d'enlèvement des boues sur le premier étage et la fréquence de remplacement de la matrice filtrante (enlèvement, élimination du sable usagé et remplacement avec du nouveau sable).

À retenir

- L'ACV permet l'évaluation des impacts environnementaux d'un produit tout au long de sa durée de vie, dont l'impact carbone.
- Pour les filtres compacts, l'impact carbone provient principalement de la fabrication des cuves, de la durée de vie et du remplacement du MF.
- Pour les microstations, l'impact carbone est principalement associé à la consommation d'électricité, au remplacement des composants électromécaniques et à la gestion des boues.
- Pour les filtres plantés, comme pour les filtres à sable, le transport par camion des granulats requis est un facteur déterminant.

7. Conclusion

Les débits et concentrations des eaux usées produites en ANC sont beaucoup plus variables qu'en assainissement collectif. Des périodes sans apport d'eaux usées, d'une durée de quelques jours à plusieurs semaines, sont présentes, ce qui nécessite des systèmes bien adaptés à ces conditions. La revue des trois grandes familles technologiques et des performances mesurées en conditions *in situ*, nous indique que les systèmes comprenant un filtre biologique sont beaucoup mieux adaptés à la réalité de l'ANC. Les systèmes de type « microstation » présentent des performances beaucoup plus variables en raison de dimensionnement ou d'entretien insuffisant se traduisant par des départs de boues vers le milieu récepteur. Toutefois, même en présence d'un milieu filtrant, les filtres compacts doivent être conçus en respectant des critères fondamentaux de dimensionnement (minimum de 0,50 m²/EH), de distribution efficace des eaux usées à traiter, d'aération et d'évacuation des gaz produits, de drainage du milieu filtrant et de protection contre les courts-circuits du lit filtrant.

Pour améliorer les performances *in situ* des systèmes d'ANC, il y aurait lieu de mieux encadrer la procédure d'agrément et la réalisation des essais d'évaluation des performances épuratoires de la norme NF EN 12566-3+A2 : 1) exiger qu'aucune vidange de boues ne soit réalisée durant les essais d'évaluation des performances sur plateforme, 2) fixer un calendrier de prélèvement incluant les périodes de stress pour une meilleure évaluation des performances sur plateforme, 3) considérer l'ensemble des résultats dans la déclaration de performance des fabricants. Également, l'entretien des systèmes relevant de la responsabilité des propriétaires devrait faire l'objet d'un contrôle par les SPANC beaucoup plus fréquent qu'actuellement et adapté aux types de système. Comme cela se pratique dans d'autres pays européens, l'obligation du recours à un professionnel pour l'entretien des systèmes d'ANC mériterait d'être considérée pour assurer, en conditions réelles, les performances réglementaires dans la durée.

8. Glossaire

Équivalents habitants (EH) ; population equivalent

Un EH correspond à un rejet de 60 g/j de DBO₅ (demande biochimique en oxygène pour cinq jours), tel que défini par la directive européenne relative au traitement des eaux urbaines résiduaires de 1991.

Filtre compact ; compact filter

Une filière de type filtre compact comprend une étape de traitement primaire, généralement réalisée par une fosse toutes eaux (FTE), suivie d'un traitement secondaire effectué par filtration biologique.

Microstation ; aerated treatment unit

La filière « microstation » est issue des procédés de traitement utilisés en assainissement collectif et regroupe l'ensemble des systèmes de traitement avec aération électromécanique pour les besoins du traitement biologique. Cette famille se subdivise en deux catégories de filières, les « cultures libres » ou « boues activées » (CL) et les « cultures fixées immergées » (CFI).

Perméabilité d'un sol ; soil permeability

Déterminée par la méthode de Porchet à niveau constant et exprimée par le coefficient de perméabilité saturée *K*, en mm/h.

Porosité d'un lit filtrant ; filtering bed porosity

La porosité du lit ou massif filtrant correspond à la fraction du volume qui n'est pas occupée par le matériau qui le constitue et qui se retrouve dans les vides présents.

Vitesse ascensionnelle ; surface overflow rate

Déterminée par le rapport du débit sur la surface en plan d'un décanteur en excluant les zones d'entrée et de sortie.

9. Sigles, notations et symboles

Symbole, abréviation	Description	Unité
ACV	Analyse du cycle de vie	-
ANC	Assainissement non collectif	-
ATec	Avis technique	-
CERIB	Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton	-
CFI	Cultures fixées immergées	-
CFSF	Cultures fixées sur support fin	-
CL	Cultures libres	-
CO ₂	Dioxyde de carbone	-
CO _{2e}	Dioxyde de carbone équivalent	-
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment	-

Symbole, abréviation	Description	Unité
DBO ₅	Demande biochimique en oxygène après cinq jours	mgO ₂ /L
DCO	Demande chimique en oxygène	mgO ₂ /L
DTA	Document technique d'application	-
<i>E.coli</i>	<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL
EH	Équivalent habitant	
FDES	Fiche de déclaration environnementale et sanitaire	-
FTE	Fosse toutes eaux	-
INRAE	Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement	-
<i>K</i>	Coefficient de perméabilité saturée d'un sol	mm/h
MES	Matières en suspension	mg/L

Symbole, abréviation	Description	Unité
MF	Matériau filtrant	-
NTK	Azote total Kjeldahl	mg/L
PE	Polyéthylène	-
PRV	Polyester renforcé de fibres de verre	-
RPC	Règlement européen relatif aux produits de construction	-
SBR	Réacteur biologique séquencé	-
SPANC	Service public d'assainissement non collectif	-
<i>TSH</i>	Temps de séjour hydraulique	j
<i>V</i> ₀	Vitesse de chute des particules	m/h
<i>V</i> _a	Vitesse ascensionnelle de l'eau dans un décanteur ou vitesse de Hazen	m/h

Filières compactes d'assainissement non collectif

Conception pour un ANC durable

par **Roger LACASSE**

Vice-président projets spéciaux
Premier Tech Eau et Environnement, Rivière-du-Loup, Canada

Siegfried MAUNOIR

Directeur innovation et technologies
Premier Tech Eau et Environnement, Mèze, France

Yan GILBERT

Directeur IR&D
Premier Tech Eau et Environnement, Rivière-du-Loup, Canada

Cécile FAVRE

Responsable durabilité et relations institutionnelles
Premier Tech Eau et Environnement, Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine, France

et **Charlotte TROADEC**

Rédactrice technique
Premier Tech Eau et Environnement, Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine, France

Sources bibliographiques

- [1] MINISTÈRES EN CHARGE DE L'ÉCOLOGIE ET DE LA SANTÉ, CERIB ET CSTB. – *Cadre destiné aux opérateurs économiques pour la procédure d'agrément des dispositifs d'assainissement non collectif*. http://www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/16_10_2023_-_cadre_de_la_procedure_d_evaluation_anc_-_vf.pdf (2023).
- [2] METCALF et EDDY. – *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. 4th edition, McGraw-Hill, New York, USA (2014).
- [3] LOWE (K.S.), TUCHOLKE (M.B.), TOMARAS (J.M.B.), CONN (K.), DREWES (J.), MCCRAY (J.E.) et MONAKATA-MARR (J.). – *Influent Constituent Characteristics of the Modern Waste Stream from Single Sources: Final Report*. Water Environment Research Foundation (WERF), 04-DEC-1, 202 p. (2009).
- [4] CRITES (R.) et TCHOBANOGLOUS (G.). – *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. Ed. McGraw-Hill, USA, 1084 pages (1998).
- [5] OLIVIER (L.), DUBOIS (V.) et BOUTIN (C.). – *Caractérisation des eaux usées brutes générées par les particuliers : quantité et qualité*. Rapport Agence française pour la biodiversité. 69 pages, disponible en ligne : hal-02893358 (2019).
- [6] LACASSE (R.). – *The effectiveness of domestic wastewater treatment technologies in the context of new constraints imposed by lifestyle changes in North American families*. National Onsite Wastewater Recycling Association (NOWRA) (2009).
- [7] LOWE (K.S.), ROTHE (N.K.), TOMARAS (J.M.B.), DEJONG (K.), TUCHOLKE (M.B.), DREWES (J.) et MONAKATA-MARR (J.). – *Influent Constituent Characteristics of the Modern Waste Stream from Single Sources: Literature Review*. Water Environment Research Foundation (WERF), 04-DEC-1a, 256 p. (2007).
- [8] FALIPOU (E.), FAVRE (C.), LACASSE (R.) et BOUTIN (C.). – *Prédiction des performances in situ des dispositifs d'assainissement non collectif à partir d'essais normalisés*. Techniques Sciences Méthodes (TSM), numéro 5 (2022).
- [9] CAUCHI (A.) et VIGNOLES (C.). – *Caractéristiques des eaux brutes de la maison individuelle*. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, n° 354, p. 91-95 (2012).
- [10] PHILIP (H.), RAMBAUD (A.) et MAUNOIR (S.). – *Fonctionnement et performances des fosses septiques toutes eaux*. Techniques Sciences Méthodes, n° 11, p. 645-650 (1994).
- [11] DEGRÉMONT. – *Traitement de l'eau – Différents types de décantation*. Suezwater-handbook.fr.
- [12] PHILIP (H.), MAUNOIR (S.) et RAMBAUD (A.). – *La fosse septique : le réacteur anaérobie le plus répandu en France*. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, n° 308 « Les traitements anaérobies », p. 42-44 (2008).
- [13] PHILIPPI (L.S.), RAMBAUD (A.), PHILIP (H.) et CASELLAS (C.). – *Fonctionnement de fosses septiques en conditions réelles : enquête prospective durant 3 ans sur un parc de 33 installations dans le département de l'Hérault*. Techniques Sciences Méthodes, n° 12, p. 611-617 (1992).
- [14] LACASSE (R.) et BÉLANGER (G.). – *Suivi de l'accumulation des boues dans les fosses septiques individuelles*. 33^e Symposium sur les eaux usées – Réseau Environnement – St-Hyacinthe, 27 octobre 2010.
- [15] PHILIP (H.), RAMBAUD (A.) et BONTOUX (J.). – *The role and performance of septic tank in individual sanitation: effect of biological activators*. Wat. Sci. Technol., 19, p. 1287-1289 (1987).
- [16] GILBERT (Y.), PETTIGREW (D.), BÉLANGER (M.C.) et LACASSE (R.). – *Determining factors for development of organic filtering media*. National Onsite Wastewater Recycling Association (NOWRA) (2015).
- [17] LE BIHAN (Y.) et LESSARD (P.). – *Monitoring biofilter clogging: Biochemical characteristics of the biomass*. Water Research, Vol. 34, n° 17, p. 4284-4294 (2000).
- [18] LESSARD (P.) et LE BIHAN (Y.). – *Introduction to microbial wastewater treatment: Fixed film processes*. Université Laval, Québec (2003).
- [19] MONTFRONT (L.) et DIOCHIN (K.). – *Évaluation de la performance épuratoire des fosses septiques – Deuxième campagne expérimentale*. Rapport d'étude et de recherche CERIB n° 317.E (2014).
- [20] LAKEL (A.). – *Étude des performances de huit petites installations d'assainissement dimensionnées pour traiter une charge organique de 300 g de DBO₅/j et testées ensemble selon le protocole en conditions sollicitantes®*. Rapport final CSTB EN-CAPE 09.095 – V1 (2009).

- [21] HÉBRARD (G.) et ROUSTAN (M.). – *Les différents types de contacteurs gaz-liquide*. In: Transferts gaz-liquide dans les procédés de traitement des eaux et des effluents gazeux, ISBN 2-7430-0605-6, Lavoisier, p. 7-31 (2003).
- [22] MELCC (Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques du Québec). – *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique : Réacteur biologique à garnissage en suspension*. Gouvernement du Québec (2021).
- [23] DAE-SUNG (J.) et HEEKYUNG (P.). – *Control of the dissolved oxygen concentration in the activated sludge process*. Environ. Eng. Res., vol. 3, n° 2 (1998).
- [24] VOUTCHKOV (N.). – *Introduction to wastewater clarifier design*. 47 p., <http://www.sumCam.com> (2017).
- [25] CEMAGREF. – *Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions*. FNDAE, n° 33 (2004).
- [26] *Lesson 8: Filamentous bacteria*. https://water.mecc.edu/courses/Env108/lesson8_2b.htm.
- [27] ANDREOLI (C.V.) et VON SPERLING (M.). – *Sludge treatment and disposal: Chapter 2 Sludge characteristics and production*. IWA publishing, London (2007).
- [28] MOLLE (P.). – *Les filtres plantés de roseaux en assainissement : de la compréhension des mécanismes vers l'optimisation des procédés et la diversification des domaines d'application*. Sciences de l'environnement. Habilitation à diriger les recherches, université Lyon I (2015), <https://hal.inrae.fr/tel-02605072v1/document>.
- [29] Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. – *Groupe macrophytes et traitement des eaux*. Dans : Épuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes. Recommandations techniques pour la conception et la réalisation, version 1 (2005).
- [30] MOLLE (P.). – *Les filtres plantés de roseaux : évolution de la recherche et tendances actuelles*. Sciences Eaux & Territoires, n° 9 (2012).
- [31] FORQUET (N.). – *Étude du vieillissement des filtres plantés de roseaux*. Rapport de recherche INRAE UR-Reversaál, hal-03539113 (2019).
- [32] GRIL (J.-J.). – *L'épandage des eaux usées domestiques – Études préalables de l'aptitude des sols et règles de dimensionnement des installations*. Centre technique du génie rural des eaux et des forêts (CTGREF), rapport d'étude n° 50, 75 p. + annexes (1980).
- [33] SAMSO (R.), GARCIA (J.), MOLLE (P.) et FORQUET (N.). – *Modelling bioclogging in variably saturated porous media and the interactions between surface/subsurface flows: application to Constructed Wetlands*. Journal of Environmental Management, vol. 165, p. 271-279 (2016).
- [34] EPNAC (Groupe de travail national sur l'évaluation des procédés nouveaux d'assainissement des petites et moyennes collectivités). – *Lumière sur le véritable rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées* (2014).
- [35] Agence de l'eau Loire-Bretagne. – *Recommandations pour l'exploitation des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical et synthèse bibliographique* (2008).
- [36] BOIS (P.), LAURENT (J.), NUEL (M.) et WANKO (A.). – *Indicateurs de colmatage de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : étude comparative de quatre stations de traitement après 10 ans de fonctionnement*. Techniques Sciences Méthodes, n° 9, p. 43-55 (2015).
- [37] LOMBARD LATUNE (R.) et MOLLE (P.). – *Quelles plantes pour les filtres plantés de végétaux dans les DOM ? Rapport final ONEMA-IRSTEA* (2015).
- [38] OLIVIER (L.), ARTUIT (P.), BRANCHU (P.), DECOUT (A.), DHUMEAUX (D.), DUBOIS (V.), DUBOURG (L.), JOUSSE (S.), LEVAL (C.), MOULINE (B.), PORTIER (N.), SOULIAC (L.), SZABO (C.), PARISI (S.) et BOUTIN (C.). – *Assainissement non collectif en France : synthèse du suivi in situ des installations réalisées de 2011 à 2016 : Rapport final*. Agence française pour la biodiversité, étude du Groupe National Public, 248 p. (septembre 2017).
- [39] MOELANTS (N.), JANSSEN (G.), SMETS (I.) et VAN IMPE (J.). – *Field performance assessment of onsite individual wastewater treatment systems*. Water Science and Technology, 58(1), p. 1-6, DOI: 10.2166/wst.2008.325 (2008).
- [40] CONVERSE (J.C.). – *Effluent quality from ATUs and Packed Bed Filters receiving domestic wastewater under field conditions*. On-Site Wastewater Treatment X, Conference Proceedings, 21-24 March 2004 (Sacramento, California USA). ASAE Publication Number 701P0104, Ed. K.R. Mankin, p. 552-579 (2004).
- [41] CCFAT. – *ATEC 17.1/17-331_V2, Jardis-Assainissement*. http://www.cstb.fr/pdf/atec/GS17-R/AR117331_V2.pdf (2021).
- [42] FALIPOU (E.) et BOUTIN (C.). – *Fiche technique du Dispositif Ecoflo®PE2 selon la méthodologie d'évaluation de "Assainissement non collectif". Le suivi in situ des installations de 2011 à 2016*. <https://hal.inrae.fr/hal-02893424> (2020).
- [43] CCFAT. – *DTA 17.1/16-313_V3 Filtre Ecoflo® polyéthylène PE2*. <http://www.cstb.fr/pdf/atec/BATIPEDIA/UMLU-3.pdf> (2022).
- [44] FALIPOU (E.) et BOUTIN (C.). – *Analyse statistique de la qualité bactériologique des rejets d'ANC*. (2020).
- [45] VIGNOLES (C.). – *Étude des performances in situ de petites installations d'assainissement dans le département du Tarn*. Publication privée (2013).
- [46] LAAK (R.). – *Influence of domestic wastewater pretreatment on soil clogging*. Journal of water pollution control federation, vol. 42, n° 8, Part I (1970).
- [47] LAAK (R.). – *Rational basis for septic tank system design*. Ground water, vol. 22, n° 6 (1974).
- [48] LESAVRE (J.). – *Infiltration des eaux épurées*. Séminaire assainissement des eaux usées domestiques. DRASS-CNFP, La Réunion (Octobre 2009).
- [49] LAKEL (A.). – *Infiltration des eaux usées traitées : État de la technique*. Carrefour des gestions durables de l'eau, Dijon (23 et 24 novembre 2022).
- [50] LAKEL (A.). – *Cahier de l'ouvrage destiné à l'assainissement non collectif des immeubles d'habitation allant jusqu'à 20 pièces principales. Partie 1 : Modalités de conception d'ouvrages pérennes sous l'angle de la stabilité de leurs structures et de la robustesse dans leurs fonctionnements*. Hal-03795415v2 (2022).
- [51] CSTB. – *Commentaire technique n° 2 au cahier de l'ouvrage ANC : information sur l'infiltration des eaux usées traitées – installations ≤ 20 EH*. Validé par le comité du cahier de l'ouvrage (23 décembre 2022).
- [52] INRAE transfert. – *Recommandations méthodologiques pour la réalisation des ACV des systèmes d'assainissement non collectif*. Version 1.1, http://www.atep-france.fr/fr/wp-content/uploads/2023/10/Recommandations-méthodologiques_ACV-des-systèmes-d'ANC_INRAE-Transfert_v1.1_202310.pdf (2023).
- [53] PREMIER TECH. – *Évaluation des impacts environnementaux de systèmes d'assainissement non collectif*. Résumé de l'étude, http://www.premiertechaqua.com/sites/ptwe/files/prospace/ECOFLO_Analyse-du-cycle-de-vie.pdf (2017).

À lire également dans nos bases

ROUSSEAU (P.). – *Analyse du cycle de vie (ACV) – Présentation, méthodologie, applications et limites* [G 5 500] (2022).

Normes et standards

NF EN 12566-1+A1	2004	Petites installations de traitement des eaux usées pour une population totale équivalente (PTE) jusqu'à 50 habitants – Partie 1 : fosses septiques préfabriquées. AFNOR	NF EN 12566-3+A2	2013	Petites installations de traitement des eaux usées pour une population totale équivalente (PTE) jusqu'à 50 habitants – Partie 3 : stations d'épuration des eaux usées domestiques prêtes à l'emploi et/ou assemblées sur site. AFNOR
------------------	------	---	------------------	------	--

NF EN 12566-6	2014	Petites installations de traitement des eaux usées pour une population totale équivalente (PTE) jusqu'à 50 habitants – Partie 6 : unités préfabriquées de traitement des effluents de fosses septiques. AFNOR	NF C15-100	2002	Installations électriques à basse tension. AFNOR
NF P16-006	2016	Installations d'assainissement non collectif – Conception. AFNOR	ISO 14044	2006	Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Exigences et lignes directrices. ISO
NF P16-008	2016	Installations d'assainissement non collectif – Entretien. AFNOR	NF EN 15804+A2	2019	Contribution des ouvrages de construction au développement durable – Déclarations environnementales sur les produits – Règles régissant les catégories de produits de construction. AFNOR
FD P16-004	2011	Assainissement – Rôle potentiel des végétaux lors du traitement et du rejet des eaux usées. AFNOR			
FD P16-007	2016	Installation d'assainissement non collectif – Infiltration des eaux usées traitées. AFNOR	NF EN 15804+A2/CN	2022	Contributions des ouvrages de construction au développement durable – Déclarations environnementales sur les produits – Règles régissant les catégories de produits de construction. AFNOR
NF EN 124-1	2015	Dispositifs de couronnement et de fermeture pour les zones de circulation utilisées par les piétons et les véhicules. Partie 1 : définitions, classification, principes généraux de conception, exigences de performances et méthodes d'essai. AFNOR	NF EN 16524	2020	Produits mécaniques – Méthodologie de réduction des impacts environnementaux à la conception et au développement des produits. AFNOR
NF EN 12050-1	2015	Stations de relevage d'effluents pour les bâtiments et terrains – Partie 1 : stations de relevage pour effluents contenant des matières fécales. AFNOR	NSF/ANSI 40	2023	Residential wastewater treatment systems. ANSI
NF EN 12050-2	2015	Stations de relevage d'effluents pour les bâtiments et terrains – Partie 2 : stations de relevage pour effluents exempts de matières fécales. AFNOR	NQ 3680-910	2004	Traitement des eaux usées – Systèmes d'épuration autonome pour les résidences isolées, 2 ^e édition. BNQ
NF EN 12056-4	2000	Réseaux d'évacuation gravitaire à l'intérieur des bâtiments Partie 4 : sta-	CAN/BNQ 3680-600/2023	2023	Systèmes de traitement autonome des eaux usées domestiques. BNQ

Réglementation

Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau (version consolidée du 1^{er} juillet 2006).

Directive 91/271/CEE du Conseil, du 21 mai 1991, relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (version consolidée du 1^{er} janvier 2014). *JOUE* L135 du 30 mai 1991.

Arrêté du 7 septembre 2009 fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅ (version consolidée du 1^{er} mars 2021). *JO* n° 0234 du 9 octobre 2009, NOR : DEVO0809422A.

Arrêté du 7 septembre 2009 définissant les modalités d'agrément des personnes réalisant les vidanges et prenant en charge le transport et l'élimination des matières extraites des installations d'assainissement non collectif (version consolidée du 15 décembre 2010). *JO* n° 0234 du 9 octobre 2009, NOR : DEVO0920065A.

Arrêté du 27 avril 2012 relatif aux modalités de l'exécution de la mission de contrôle des installations d'assainissement non collectif (version consolidée du 1^{er} mars 2021). *JO* n° 0109 du 10 mai 2012, NOR : DEVL1205609A.

Règlement (UE) n° 305/2011 du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 2011 établissant des conditions harmonisées de commercialisation pour les produits de construction et abrogeant la directive 89/106/CEE du Conseil Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE (version consolidée du 16 juillet 2021). *JOUE* L88 du 4 avril 2011.

Arrêté du 4 août 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R. 172-6 du code de la construction et de l'habitation. *JO* n° 23 du 15 août 2021, NOR : LOGL2107359A (RE 2020).

Annuaire

Documentation – Formation – Séminaires (liste non exhaustive)

Portail interministériel sur l'assainissement non collectif :

<https://www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr/>

Commission chargée de formuler des avis techniques (CCFAT) :

<https://www.ccfat.fr/avis-technique>

Agence qualité construction (AQC) – Commission prévention produits mis en œuvre (C2P), *liste verte* :

<https://http://liste-verte-c2p.qualiteconstruction.com/>

Marque QB Assainissement :

<https://evaluation.cstb.fr/fr/certifications-produits-services/produit/assainissement/>

NF – ASSAINISSEMENT NON COLLECTIF (NF553) – Marque NF :

<https://marque-nf.com/non-classe/nf-assainissement-non-collectif-nf553-marque-nf/>

OFB (Office français de la biodiversité), *Les espèces exotiques envahissantes* :

<https://www.ofb.gouv.fr/les-especes-exotiques-envahissantes>

Données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment – INIES :

<https://www.base-inies.fr/iniesV4/dist/consultation.html>

Gagnez du temps et sécurisez vos projets en utilisant une source actualisée et fiable



RÉDIGÉE ET VALIDÉE
PAR DES EXPERTS




MISE À JOUR
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE
SUR TOUS SUPPORTS
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS
DANS CHAQUE OFFRE

- > + de 340 000 utilisateurs chaque mois
- > + de 10 000 articles de référence et fiches pratiques
- > Des Quiz interactifs pour valider la compréhension 

SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



Questions aux experts*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



Info parution

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

Les offres Techniques de l'Ingénieur

INNOVATION

- Éco-conception et innovation responsable
- Nanosciences et nanotechnologies
- Innovations technologiques
- Management et ingénierie de l'innovation
- Smart city – Ville intelligente

MATÉRIAUX

- Bois et papiers
- Verres et céramiques
- Textiles
- Corrosion – Vieillessement
- Études et propriétés des métaux
- Mise en forme des métaux et fonderie
- Matériaux fonctionnels. Matériaux biosourcés
- Traitements des métaux
- Élaboration et recyclage des métaux
- Plastiques et composites

MÉCANIQUE

- Frottement, usure et lubrification
- Fonctions et composants mécaniques
- Travail des matériaux – Assemblage
- Machines hydrauliques, aérodynamiques et thermiques
- Fabrication additive – Impression 3D

ENVIRONNEMENT – SÉCURITÉ

- Sécurité et gestion des risques
- Environnement
- Génie écologique
- Technologies de l'eau
- Bruit et vibrations
- Métier : Responsable risque chimique
- Métier : Responsable environnement

ÉNERGIES

- Hydrogène
- Ressources énergétiques et stockage
- Froid industriel
- Physique énergétique
- Thermique industrielle
- Génie nucléaire
- Conversion de l'énergie électrique
- Réseaux électriques et applications

GÉNIE INDUSTRIEL

- Industrie du futur
- Management industriel
- Conception et production
- Logistique
- Métier : Responsable qualité
- Emballages
- Maintenance
- Traçabilité
- Métier : Responsable bureau d'étude / conception

ÉLECTRONIQUE – PHOTONIQUE

- Électronique
- Technologies radars et applications
- Optique – Photonique

TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

- Sécurité des systèmes d'information
- Réseaux Télécommunications
- Le traitement du signal et ses applications
- Technologies logicielles – Architectures des systèmes
- Sécurité des systèmes d'information

AUTOMATIQUE – ROBOTIQUE

- Automatique et ingénierie système
- Robotique

INGÉNIERIE DES TRANSPORTS

- Véhicule et mobilité du futur
- Systèmes aéronautiques et spatiaux
- Systèmes ferroviaires
- Transport fluvial et maritime

MESURES – ANALYSES

- Instrumentation et méthodes de mesure
- Mesures et tests électroniques
- Mesures mécaniques et dimensionnelles
- Qualité et sécurité au laboratoire
- Mesures physiques
- Techniques d'analyse
- Contrôle non destructif

PROCÉDÉS CHIMIE – BIO – AGRO

- Formulation
- Bioprocédés et bioproductions
- Chimie verte
- Opérations unitaires. Génie de la réaction chimique
- Agroalimentaire

SCIENCES FONDAMENTALES

- Mathématiques
- Physique Chimie
- Constantes physico-chimiques
- Caractérisation et propriétés de la matière

BIOMÉDICAL – PHARMA

- Technologies biomédicales
- Médicaments et produits pharmaceutiques

CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

- Droit et organisation générale de la construction
- La construction responsable
- Les superstructures du bâtiment
- Le second œuvre et l'équipement du bâtiment
- Vieillessement, pathologies et réhabilitation du bâtiment
- Travaux publics et infrastructures
- Mécanique des sols et géotechnique
- Préparer la construction
- L'enveloppe du bâtiment
- Le second œuvre et les lots techniques