

ATTENTIVE



Conception et dimensionnement des FPV

Rémi Lombard-Latune

AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



Séminaire de restitution du projet

Attentive

17 et 19 octobre 2017
Martinique - Guadeloupe



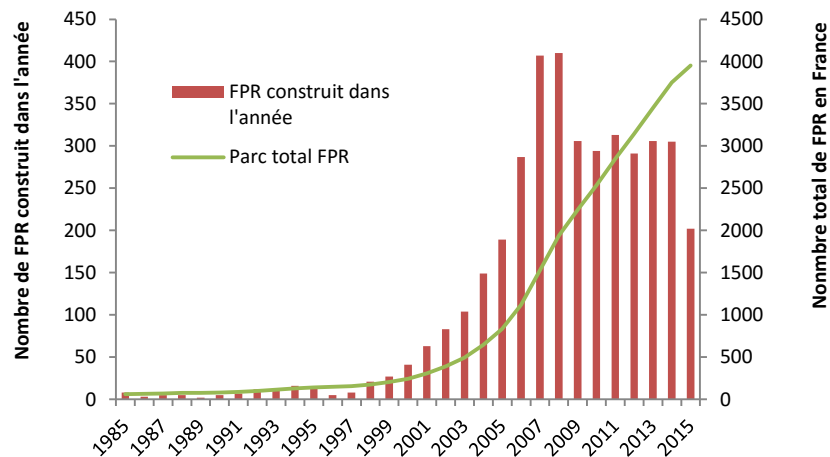
Plan de l'intervention

- Généralités sur le fonctionnement des FPV
- Performances des FPV
- Dimensionnement



Historique

- Années 50 : Käthe Siedel (Botaniste à Max Planck Institute, Plön), premiers essais de traitement des eaux à partir des plantes des zones humides.
- 1978 : le Cemagref étudie la station de Saint-Bohaire (41)
- Années 80 : le Cemagref conçoit les premières stations expérimentales
- Années 90 : essors de la filière grâce a un partenariat public/privé (SINT)

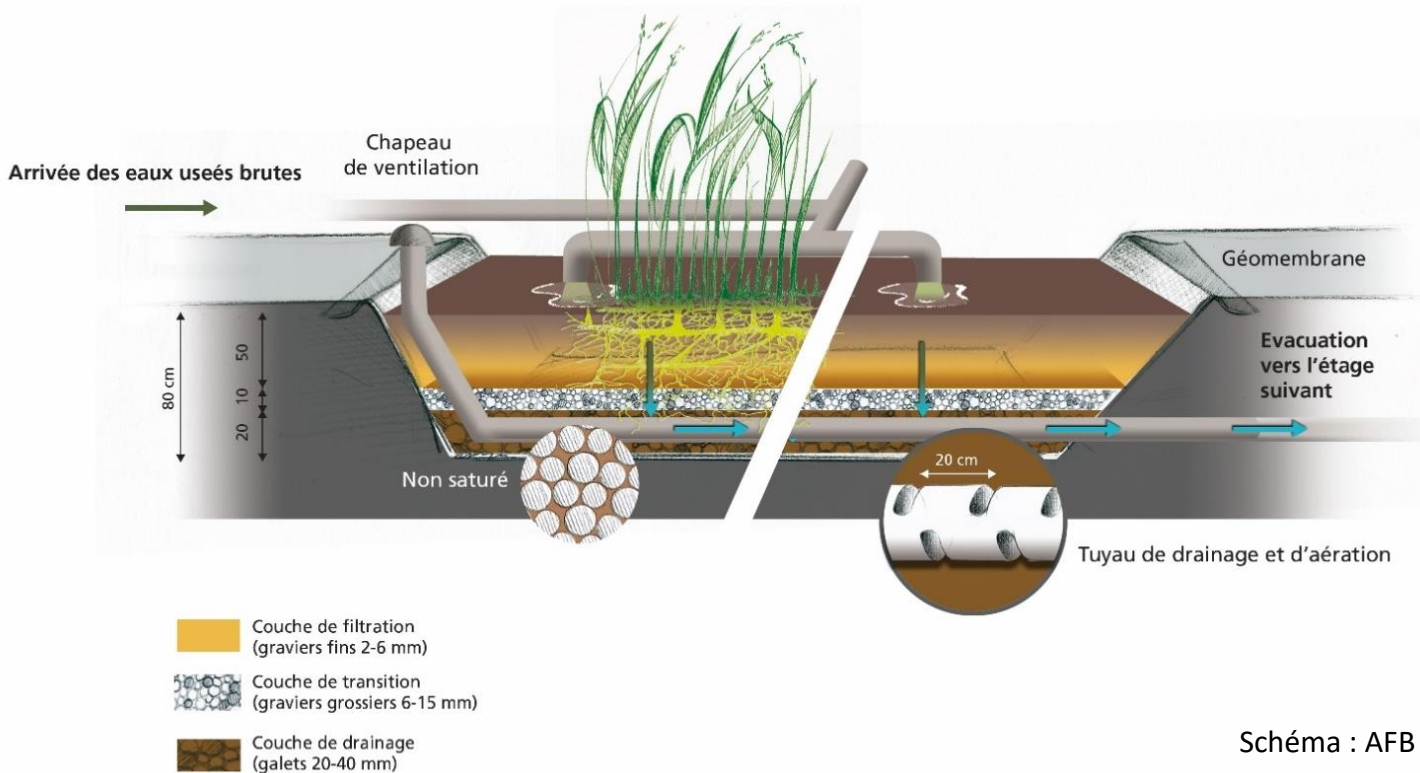


Données : BD ERU 2015

- 2006 : Premiers FPR dans les DOM (Hachenoua, Mayotte)
- 2010 : Début des actions DOM Onema/Irstea



Généralités sur les filtres plantés de végétaux (FPV)



- Alimentation eaux usées brutes : co-traitement **eaux + boues**
- Culture fixée sur support fin
- Filtre planté à écoulement vertical, non saturé → **milieu aérobie** → ~~odeurs~~



Généralités : processus mis en jeu

- Culture fixée sur support fin : milieu polyphasique (phase liquide, gazeuse, et solide, support de développement du biofilm)
- Processus de dégradation :
 - Biologique (biomasse)
 - Physique (filtration)
 - Chimique (adsorption)

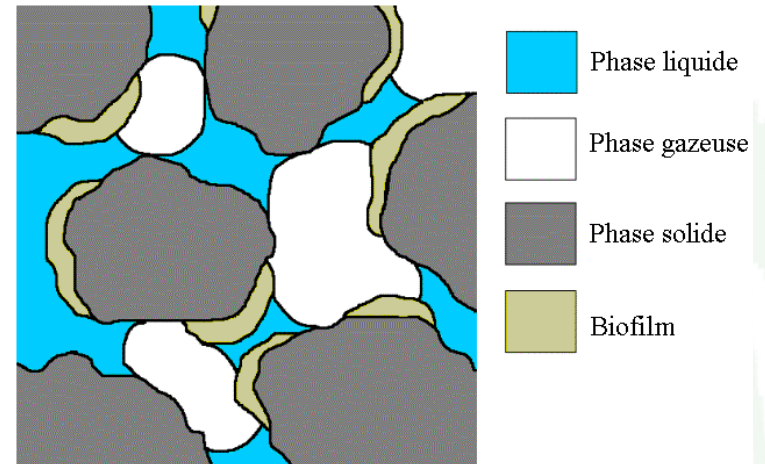


Schéma : Irstea



Généralités : maintien des conditions aérobies

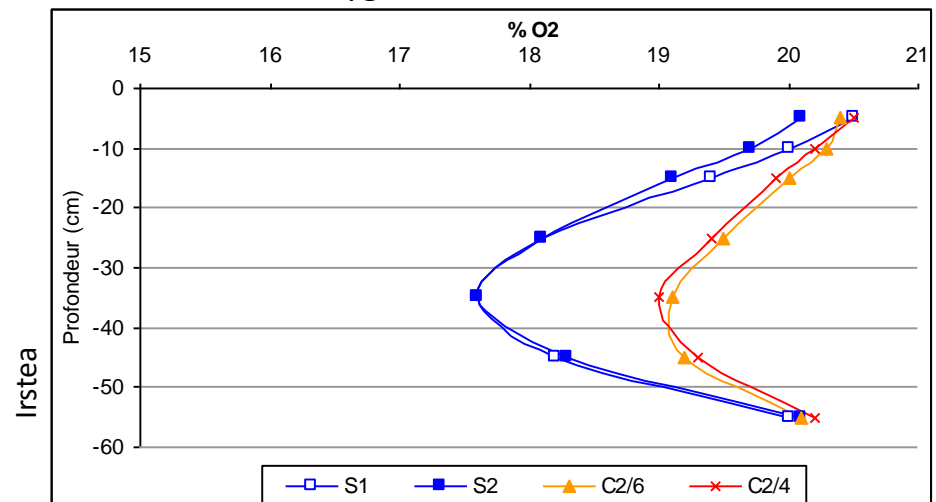
- Alimentation séquencée par bâchée (def : volume correspondant à une lame d'eau de 2,5 à 5 cm, avec débit supérieur vitesse d'infiltration → répartition et flaquage)
 - phénomènes convectifs
- Réseau d'aération/drainage
 - diffusion depuis le fond du filtre
- Action mécanique des tiges des végétaux sur le dépôt de surface, ménage des anneaux libre à travers lesquels les échanges gazeux peuvent se faire.
 - diffusion depuis la surface des filtres

Rôle mécanique des végétaux



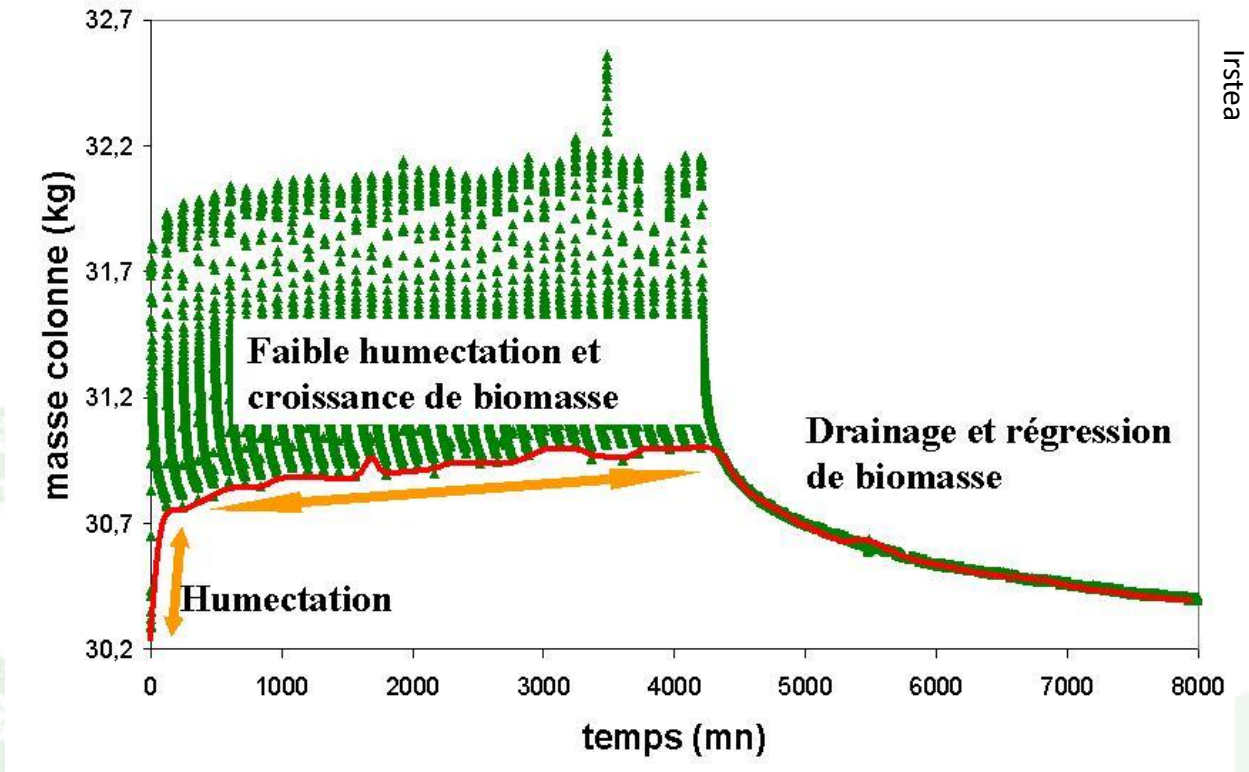
H. Brix

Profil d'oxygénation d'un FPV vertical





Généralités : gestion de la biomasse



Alternance : phase d'alimentation et phase de repos (!), 3,5J/3,5j
→ minéralisation de la biomasse accumulée

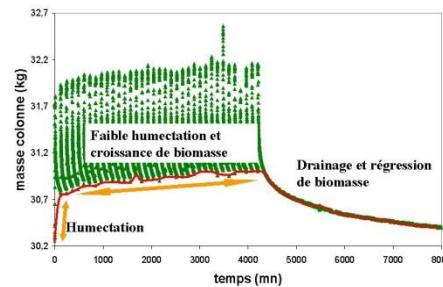
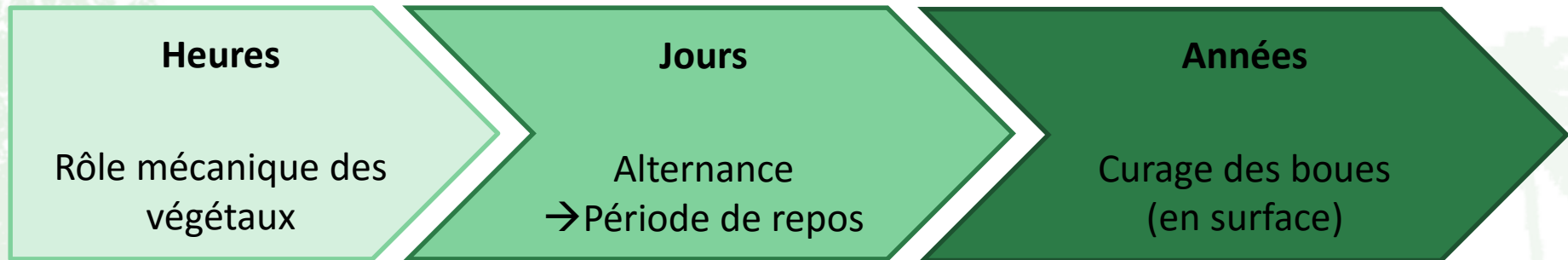


Généralités : pérennité du système

Les FPV sont des systèmes en équilibre qui tendent naturellement vers un colmatage...

→ Enjeu : gestion de la biomasse et des boues

Gestion à plusieurs échelle temporelle :



Étiage Guyane

Martinique - Guadeloupe



Généralités : variantes de FPV

- Hauteur de massif filtrant : 30 à 80 cm, > 50 cm réseau aération intermédiaire
→ Amélioration des performances sur C, MES, nitrification
- Recirculation : une partie des eaux traitées est renvoyée en tête de station
→ Dilution EU brutes, légère amélioration perf. C, MES, besoins plantes
- FPV NS/S : ajout d'un fond saturé : zone anaérobie → dénitrification
→ Amélioration MES, N total, (C), besoins plantes

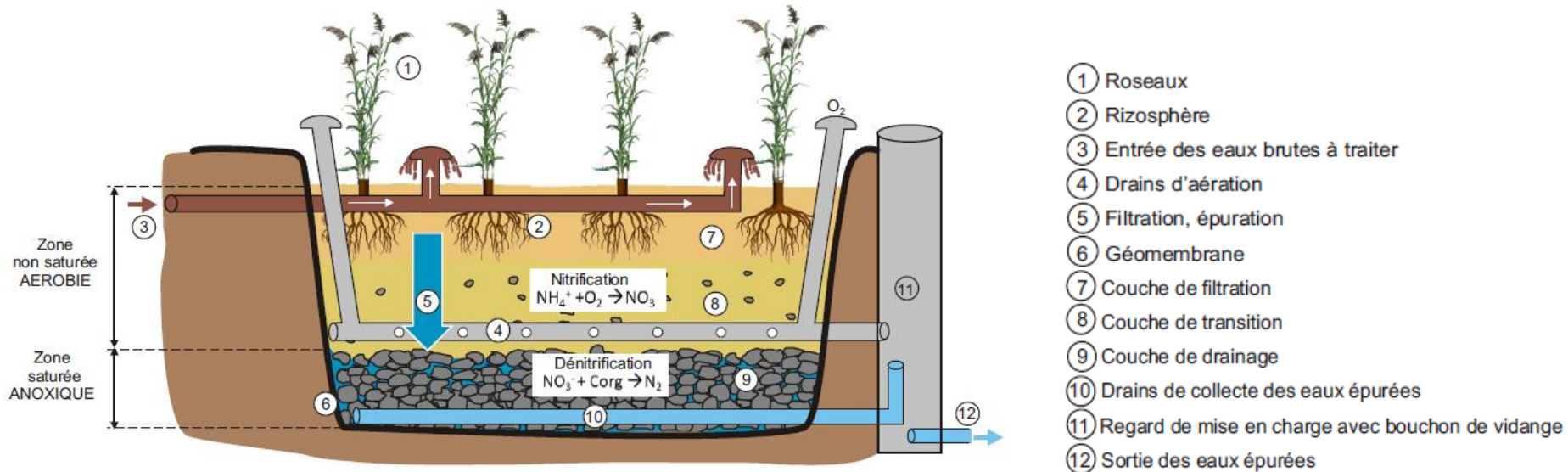
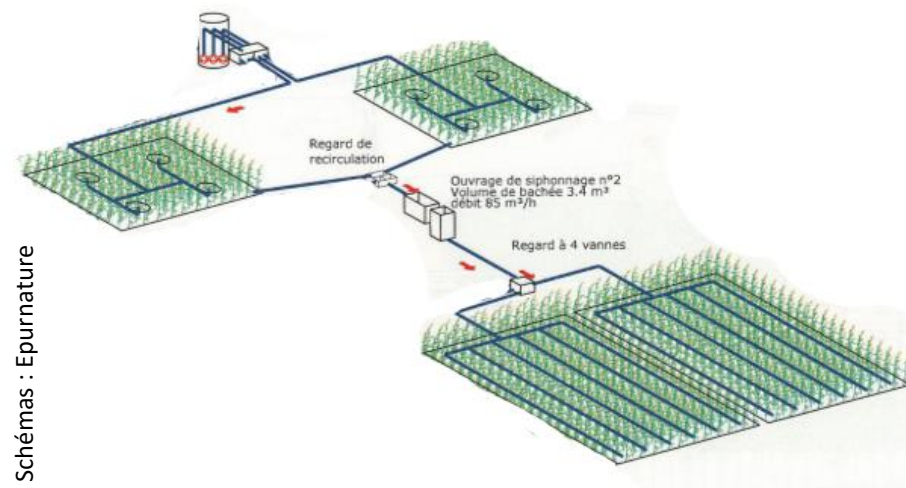


Schéma : Irstea

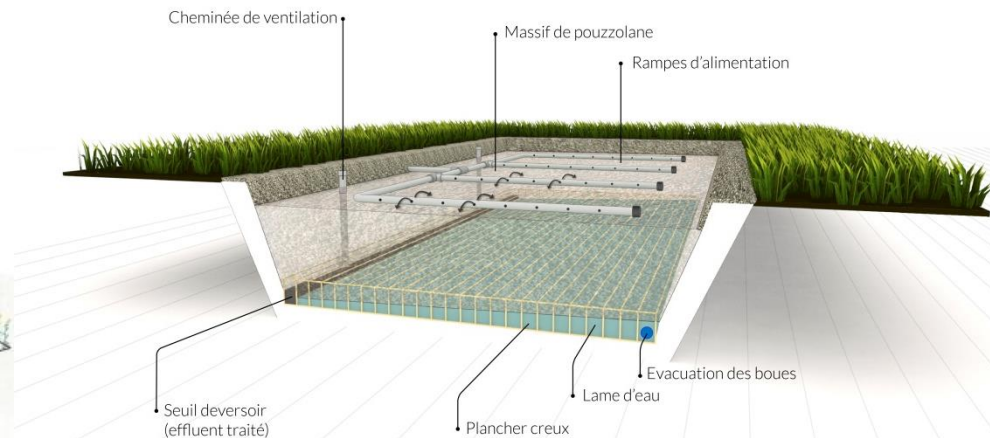


Généralités : variantes de FPV

- **Second étage FPV NS :**
Granulométrie plus fine, réseau d'alimentation différent
→ Amélioration des performances sur C, MES, nitrification
- **Second étage LB :**
1,5 m de pouzzolane, 2 réseaux d'alimentation en alternance
→ Nitrification complète, amélioration des performances sur C

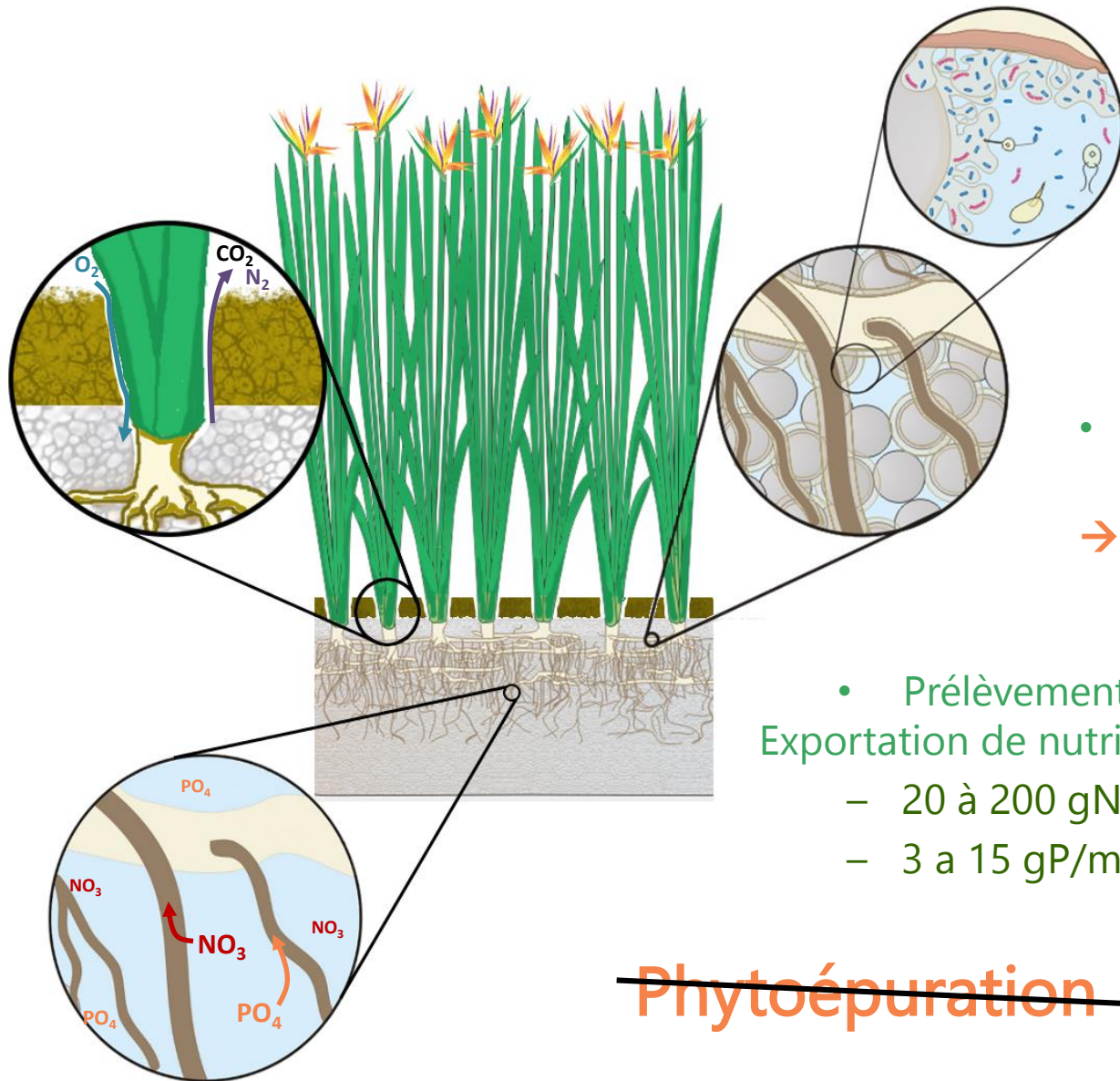


COMBIPUR®
LIT BACTÉRIEN AVEC ZONE DE DÉCANTATION





Généralités : le rôle des végétaux



- Support du développement bactérien

- Action mécanique sur la couche de dépôts
→ Rôle principal indispensable

- Prélèvements métaboliques
Exportation de nutriments

- 20 à 200 gN/m²/an

Rejet d'1 habitant :

→ 10-12 gN/jour

- 3 à 15 gP/m²/an

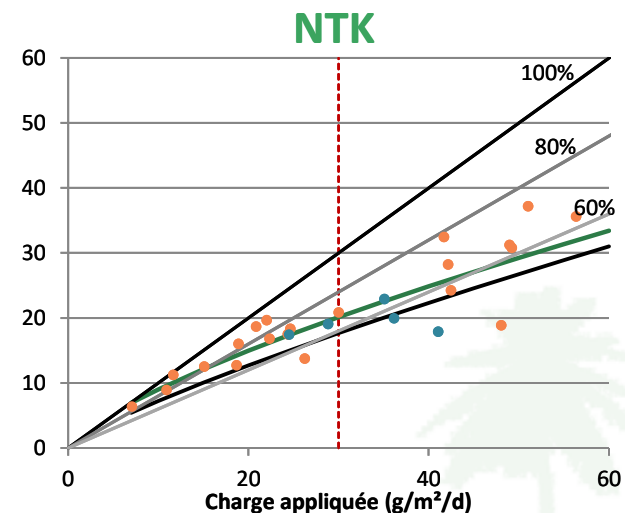
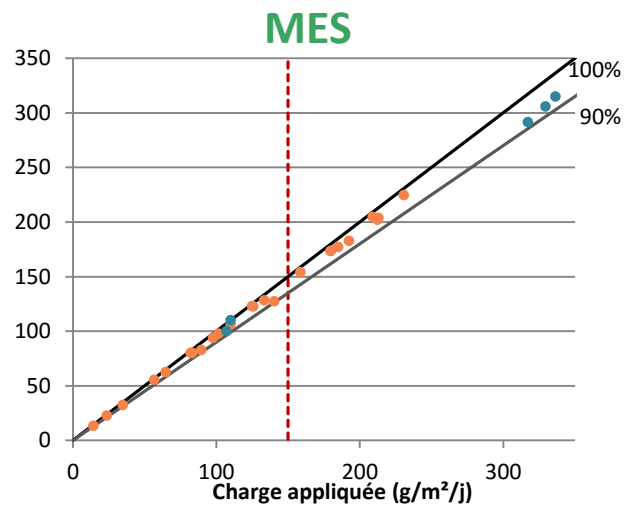
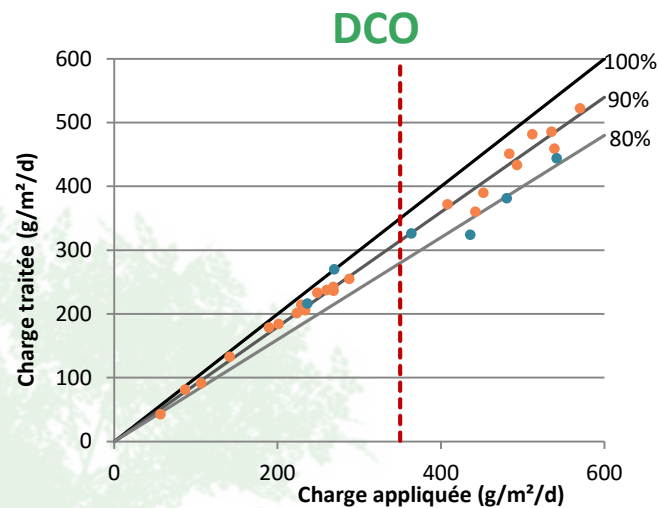
→ 2 gP/jour

~~Phytoépuration~~ scientifiquement faux



Performances

- Temps sec
- Temps de pluie
- Cinétique nitrif. tropical
- Cinétique nitrif. tempéré

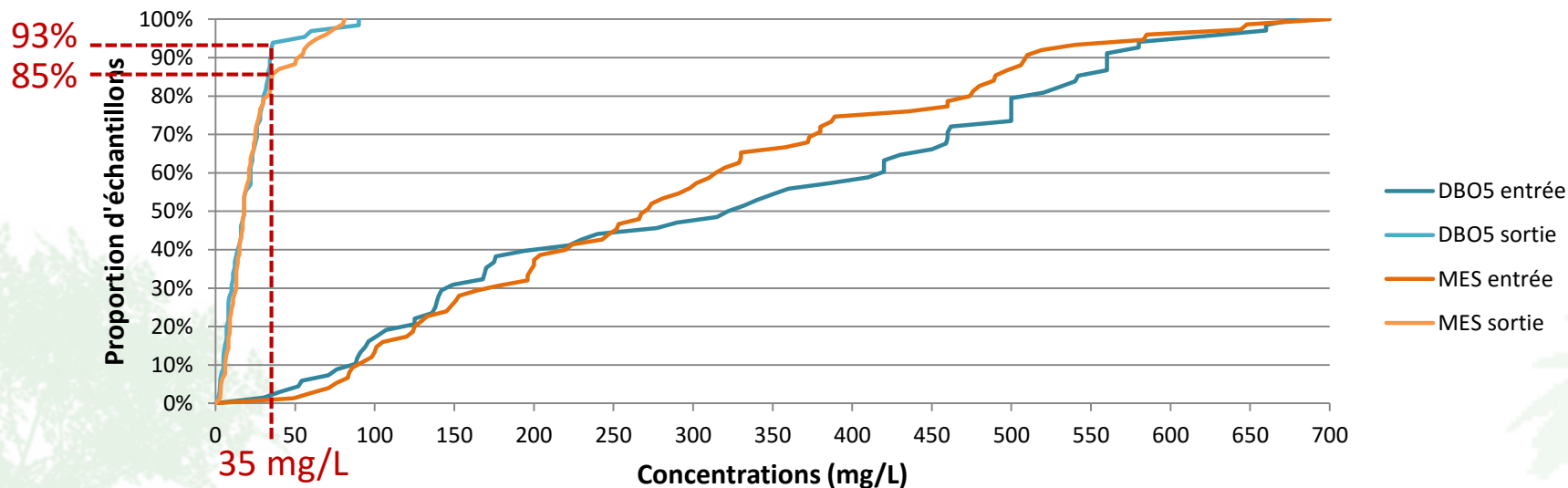


- Données station de Taupinière (sortie 1^{er} étage, NS/S), taux de charge plus important
- DCO : performances autour de 90%, impact temps de pluie
- MES : abattement important et stable, même en surcharge (zone sat)
- NTK : rendement baisse avec hausse charge,
- NTK : cinétique de nitrification haute que sur 1 étage en métropole (Molle *et al.*, 2008)



Performances

Dispersion des échantillons DBO5 et MES, entrée et sortie

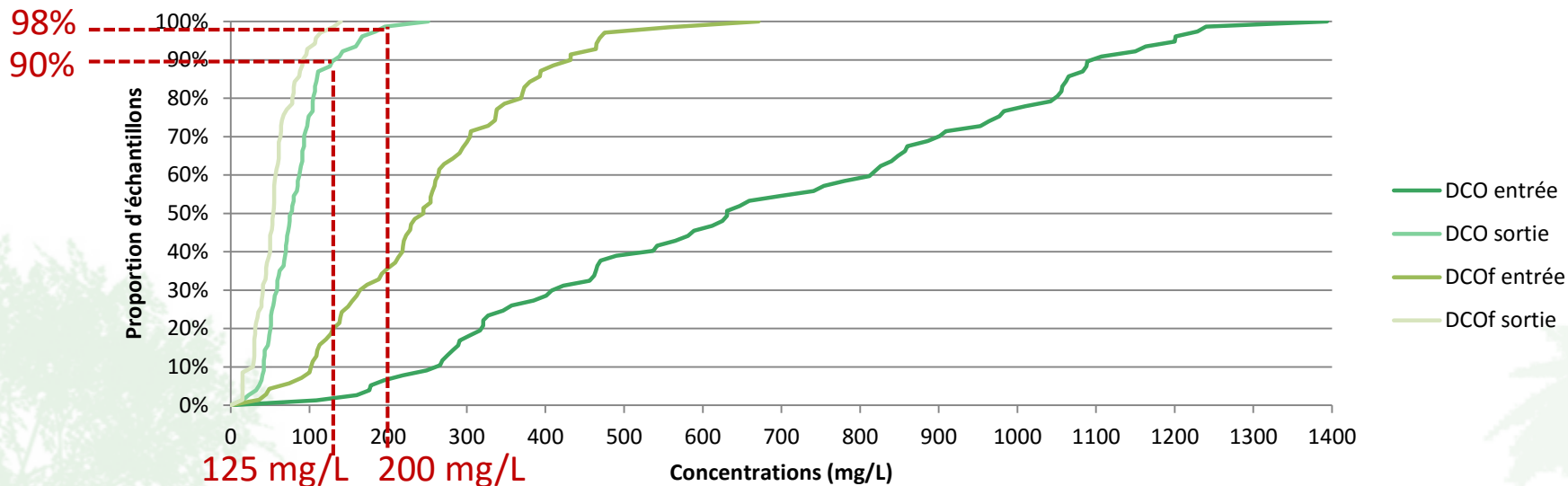


- Graphs percentils concentrations entrée sortie, sur 97 bilans 24h, 7 FPV, 4 DOM
 - Traitement stable (faible étalement des valeurs de sortie)
 - Limites des concentrations en sortie
 - DBO₅ : 35 mg/L : 93%
 - MES : 35 mg/L : 85%



Performances

Dispersion des échantillons DCO et DCOF



- Graphs percentils concentrations entrée sortie, sur 97 bilans 24h, 7 FPV, 4 DOM

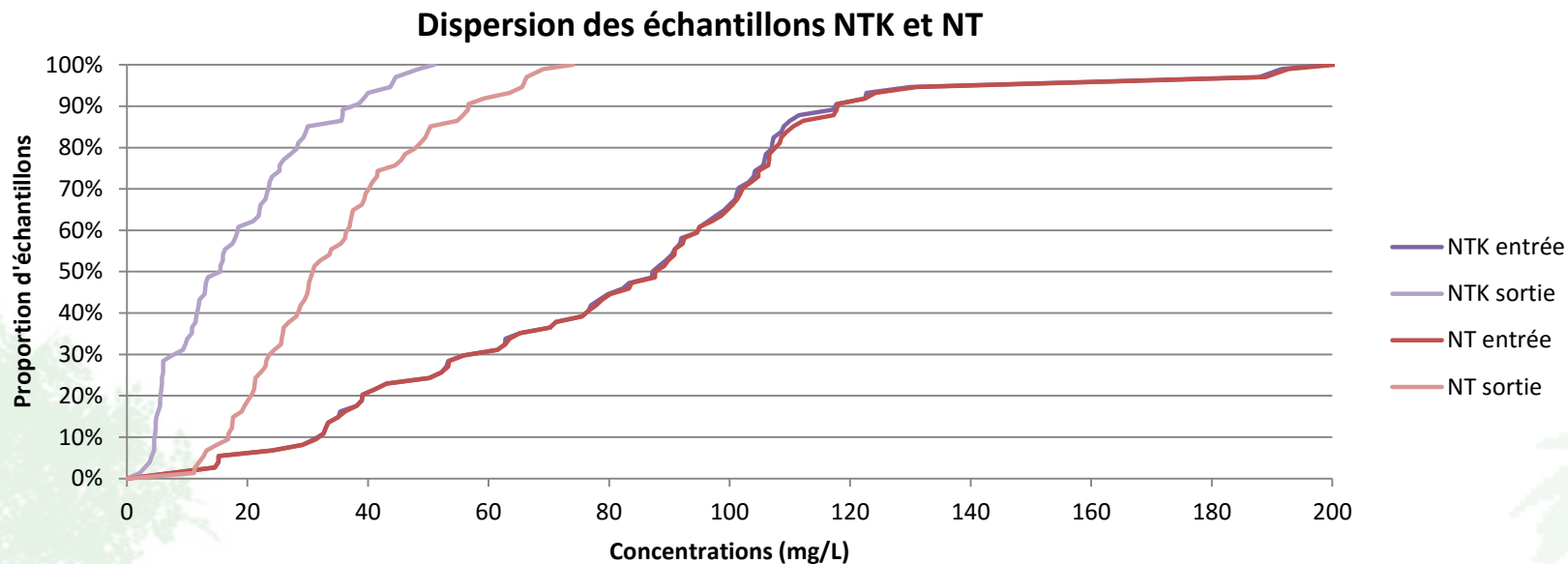
→ Traitement stable (faible étalement des valeurs de sortie)

→ Limites des concentrations en sortie

- DBO_5 : 35 mg/L : 93%
- MES : 35 mg/L : 85%
- DCO : 200 mg/L : 98%, 125 mg/L 90%



Performances

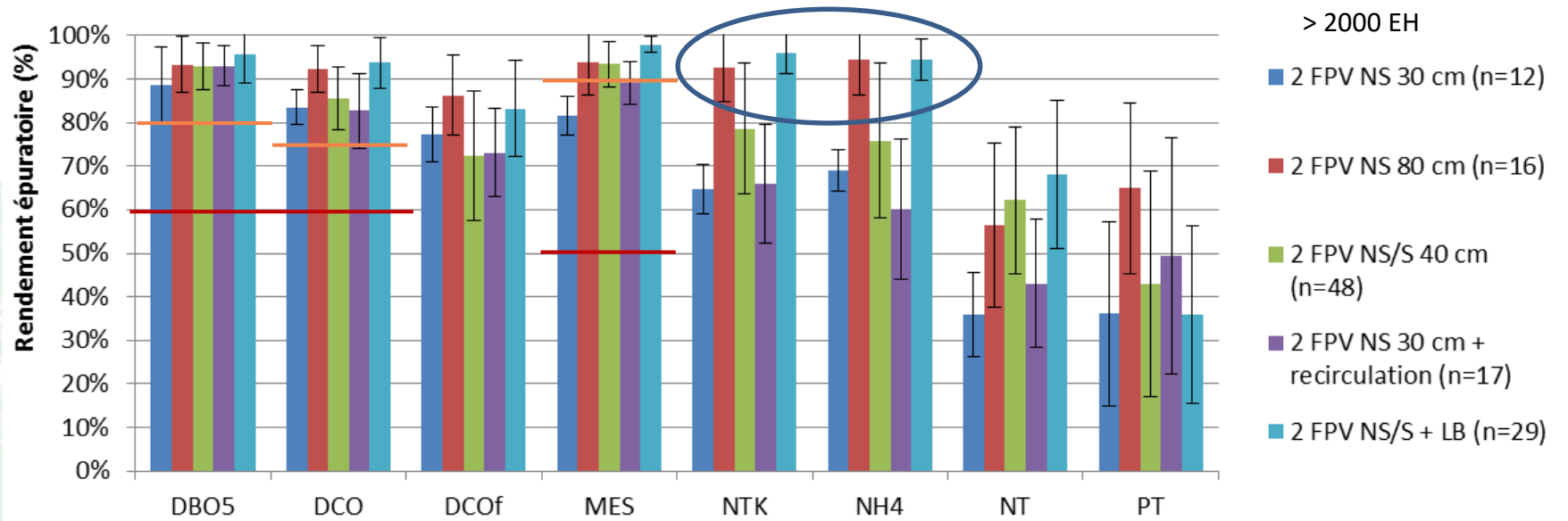


- Graphs percentils concentrations entrée sortie, sur 97 bilans 24h, 7 FPV, 4 DOM
- Traitement stable (faible étalement des valeurs de sortie)
- Limites des concentrations en sortie
 - DBO_5 : 35 mg/L : 93%
 - MES : 35 mg/L : 85%
 - DCO : 200 mg/L : 98%, 125 mg/L 90%



Performances

Comparaison des différentes filières



- Minimum de l'arrêté 2015 < 2000 EH : aucun problème
- Minimum de l'arrêté 2015 > 2000 EH : configuration minimale insuffisante pour les MES
- Nitrification poussée : augmentation de la couche de filtration, ou 2nd étage
- Azote total : NS/S permet d'atteindre 60-70%, voire plus si recirculation.



Dimensionnement

Données générales sur les eaux usées brutes dans les DOM

Mutualisation des retours d'exp. DOM : auto-surveillances, études OE, contrôle SPE

...

- 267 STEU (50 – 2000 EH), 1 500 bilans 24h
- Gammes de variation des concentrations des eaux brutes dans les DOM

	DBO₅ (mgO ₂ /L)	DCO (mgO ₂ /L)	MES (mg/L)	NTK (mgN/L)	NH₄ (mgN/L)	PT (mgP/L)
Moyenne	340	653	300	65	49	8.8
Gamme de variation	Limite haute	800	1512	825	129	19
	Limite basse	50	125	55	16	2.4
Nombre de valeurs	1425	1464	1439	713	661	798

- Production d'1 EH dans les DOM

	DBO₅ (gO ₂ /j)	DCO (gO ₂ /j)	MES (g/j)	NTK (gN/j)	N-NH₄ (gN/j)	PT (gP/j)
EH tropical	60	133	64	17.7	13	2.8

→ Pour le dimensionnement des ouvrages, retenir 60/130/65/17/2,5 g/j pour DBO5/DCO/MES/NTK/PT respectivement.



Dimensionnement des FPV

- Dimensionnement basé sur une charge applicable quotidiennement sur le filtre en fonctionnement en DCO (350 g/m²/j)

Paramètres	DBO ₅	DCO	MES	NTK	Hydraulique (m/j)
Charge appliqué (g/m ² /j)	150	350	150	30	< 0,75

- Vérification des charges appliquées pour chacun des paramètres
- En pratique, en l'absence de données terrain, cela revient à une surface de 0,4 m²/EH par filtre
- FPV : 2 filtres en parallèle



Exemple de dimensionnement

Exemple 1 : création d'un lotissement

- 40 habitations, 180 habitants théoriques
 - 1 hab = 45g DBO₅/j
 - 180 x 45 = 8 100 gDBO₅/j
 - 1 EH = 60 gDBO₅/j
 - 8 100 / 60 = 135 EH
 - 135 x 0,8 m²/EH = 108 m²
- 2 filtres de 54 m²

Exemple 2 : réhabilitation d'un BA surchargée

- Les moyennes des bilans d'autosurveillances de l'année précédente donnent :
 - Q moyen = 220,8 m³/j,
 - [DCO] = 344,6 mg/L,
 - [DBO₅] = 163 mg/L
 - 344,6 x 220,8 = 76 088 gDCO/j
 - 76 088 / 350 = 217,5 m²
 - 163 x 220,8 = 35 990 gDBO₅/j
 - 35 990 / 217,5 = 165,5 ! > 150 gDBO₅/m²/j
 - 35 990 / 150 = 240 m²
 - 220,8 / 240 = 0,92 m³/j ! > 0,75 m³/j
 - 220,8 / 0,75 = 294,5 m²
- 2 filtres de 295 m²



Dimensionnement : choix du type de filière

	Autonomie électrique (hors contraintes topographiques)	Réseau unitaire	Activité intermittente	Emprise au sol des ouvrages de traitement	Performances de traitement garanties : abattement % (concentrations limites mg/L)				Traitement germes pathogènes (module UV)
					DCO	MES	NTK	NT	
2 FPV NS couche filtrante 30 cm	✓	✓	✗	0,8 m ² /EH	75 % (125 mg/L)	80 % (50 mg/L)	60 % (40 mg/L)	20 % (60 mg/L)	✗



Dimensionnement

Pré-traitement : alimentation FPV eau usées brutes
→ Pré-traitement = dégrilleur seulement

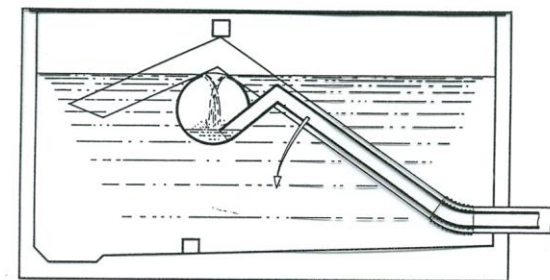
- Vitesses de passage à travers le dégrilleur doivent être comprises entre 0,3 et 1,2 m/s
- un **entrefer de 20 à 40 mm** (dans le cas d'un entrefer de 20 mm, le dégrilleur doit être automatique);
- un **canal de dérivation** doit être prévu en cas de colmatage du dégrilleur ;
- un **outil de raclage** adapté à l'entrefer est fourni ;
- la présence d'un **bac d'égouttage** et de stockage des refus de dégrillage.
- Manuel ou automatique



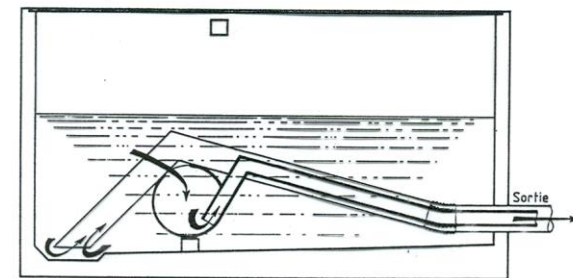


Dimensionnement : alimentation des FPV

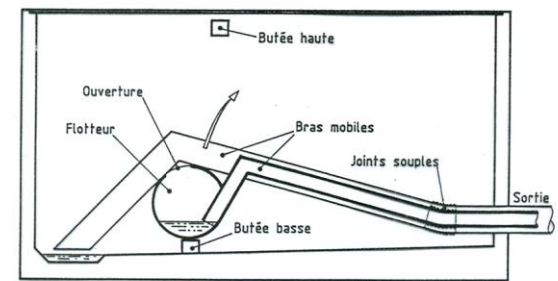
- Alimentation séquencée : bâchées → flaquage, renouvellement de l'air du massif
- Dimensionnement :
 - bâchée de 2,5 à 5 cm
 - débit d'alimentation > vitesse d'autocurage
 - 0,5 m³/h/m² de filtre en alimentation
- Ouvrage de bâchée : PR ou siphon
- Réseau enterré (PR) ou aérien (siphon)
- Diamètre DN 100 minimum
- Inox / PEHD surface



FIN DE REMPLISSAGE



VIDANGE



FIN DE VIDANGE





Dimensionnement : massif filtrant

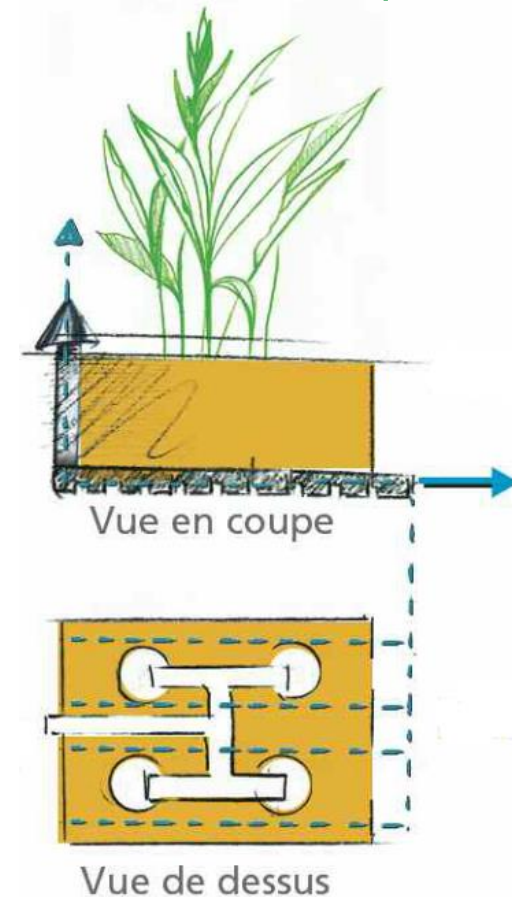
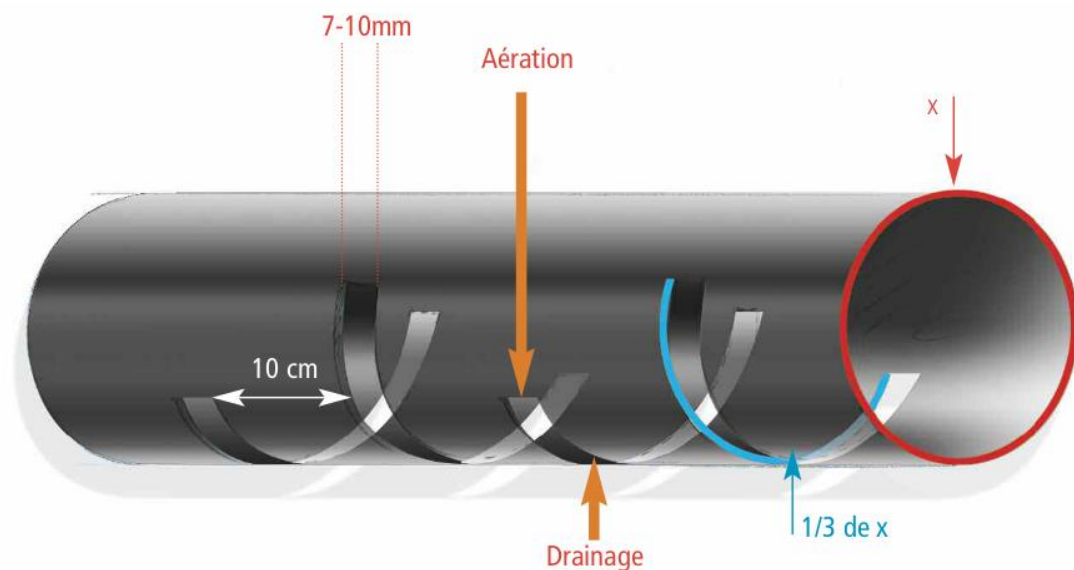
- 3 couches, de haut en bas :
 - Couche filtrante : 30 à 80 cm de graviers de 2/6 mm, coefficient d'uniformité (CU) < 5
 - Couche de transition : 10 à 20 cm d'épaisseur, assure transition granulométrique.
 - Loi de Terzaghi (adaptée) : $d_{15} \text{ couche de transition} \leq 5 \times d_{85} \text{ couche filtrante}$
Généralement gravier 5/20 mm.
 - Couche drainante : parcourue par le réseau d'aération-drainage, Epaisseur 10 - 20 cm de graviers 20/60 mm . Pour NS/S, épaisseur 10 - 20 cm de plus que hauteur de saturation.
- Qualité des matériaux est fondamentale





Dimensionnement réseau aération drainage

- Réseau en fond de filtre, mais remonte sur les côtés et se termine par des événements à l'extérieur
- Diamètre DN 100 minimum
- 0,25 m linéaire de drain / m² de filtre





Dimensionnement : phasage des projets

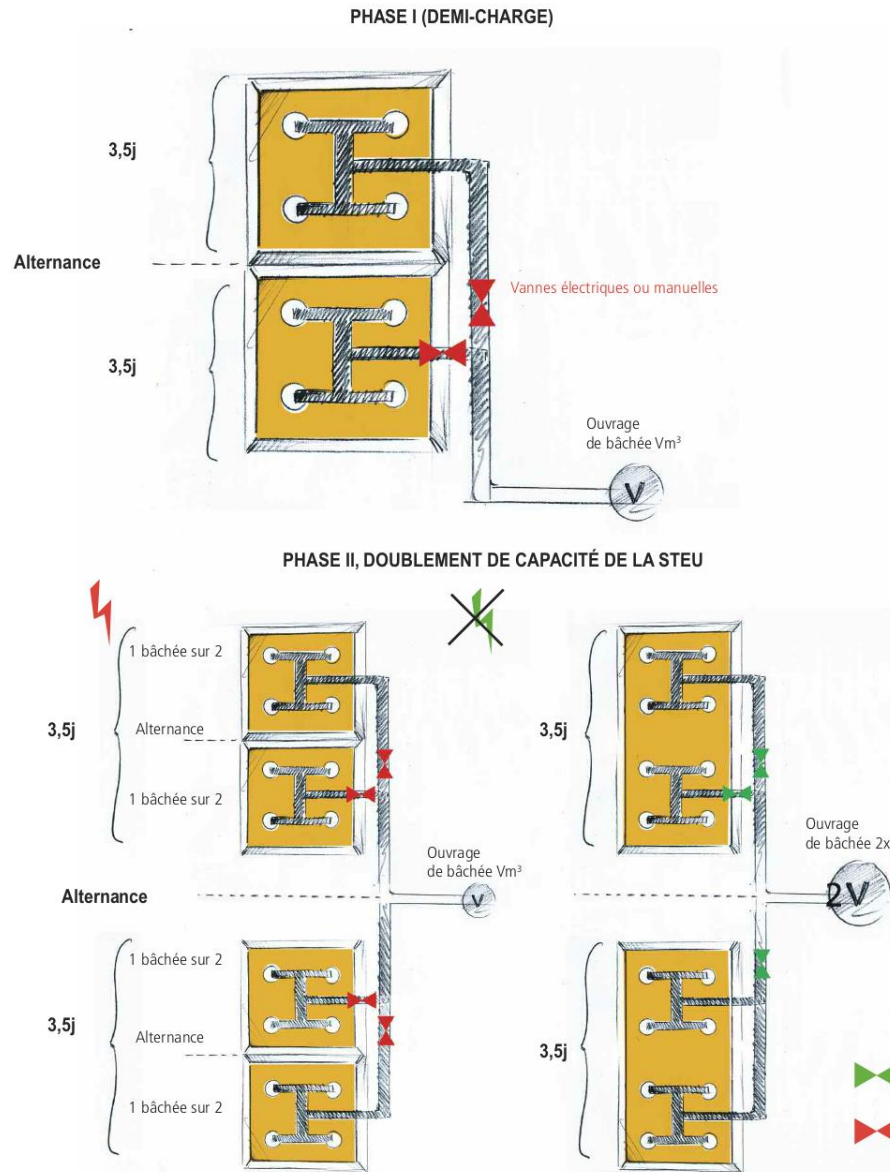


Schéma : AFB

17 et 19 octobre 2017
Martinique - Guadeloupe



Dimensionnement acceptation du temps de pluie

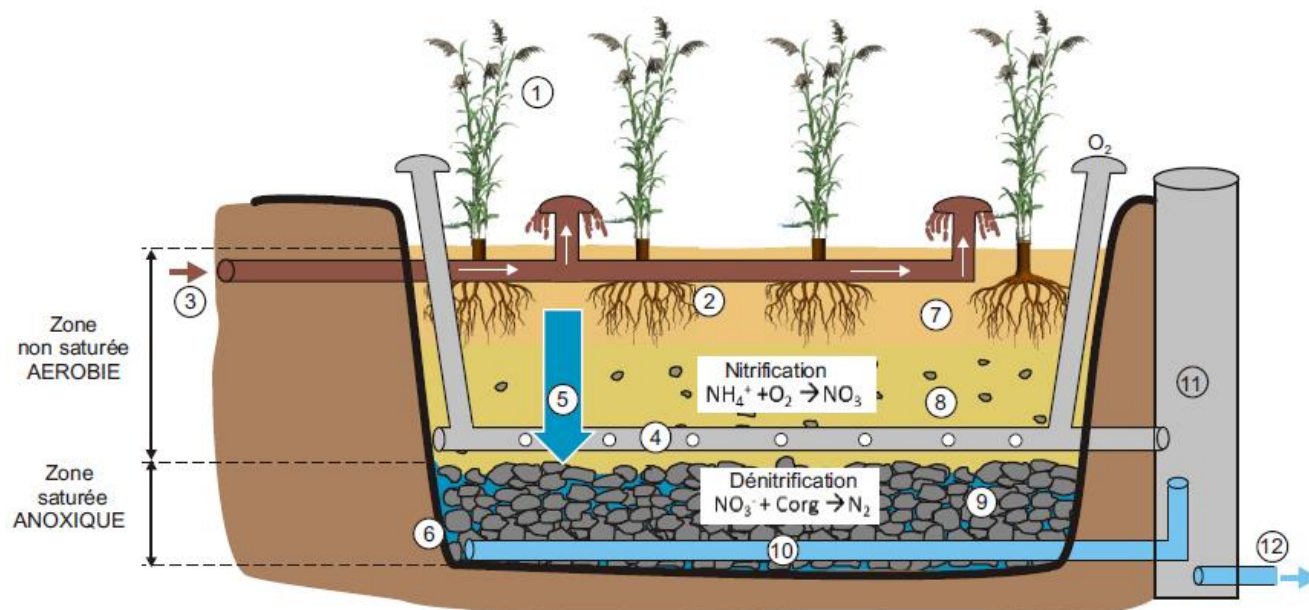
- 15 bilans 24h réalisés par temps de pluie : débit moyen x 2,8.
- Problème pour les filières conventionnelles (BA, DB)
- FPV : lame d'eau quotidienne 0,75 m, au-delà baisse nitrification (à confirmer dans les DOM)
- Différence temps de pluie – ECP (problème permanent)
- Tempête Matthew 28/09/16 : charge appliquée sur le filtre > 2,5 m
- Hauteur de revanche (dimensionnement dynamique ?)





Dimensionnement NS/S

- Quelle hauteur de saturation ?
→ 40 cm. Besoin d'un V important pour :
 - ralentir les vitesses d'écoulement et piéger les MES,
 - temps de séjour suffisant pour la dénitrification.
- Matériaux : 20/60 mm
- Drain aération intermédiaire placé dans la couche de transition au dessus





Dimensionnement : quelles plantes ?

- Phragmites australis est considéré comme invasif dans la plupart des DOM
→ Plantes de substitution

- Etude spécifique mise en place
100 espèces étudiées en 3 phases :

1/ Bibliographique

→ 22 espèces

2/ Echelle pilote

→ 8 espèces

3/ Taille réelle

→ 3 espèces






états de maturité des étamines (x16) : (F) épillets à un stade ultérieur à celui représenté en (C), akènes non mûrs en-dessous et fleurs à stigmates exserts au-dessus (x11) ; (G) akène mûr avec soies persistantes (x16) ; (P) le même en coupe verticale, le péricarpe hachuré, l'albumen en pointillé, l'embryon en blanc et le spermodermis trop mince pour être représenté (x16) ; (H-J) *Tachophorum escholtzii* (Scirpus escholtzii) : (H) épillets (x11) ; (I) akène (x16) ; (M-L) *Scirpus kuhlbergii* : (K) épillets isolés, sous-tendus par des bractées carénées (x11) ; (L) akène (x16) ; (M-O) *S. ensiformis* : (M) fleur de la base à l'asselle d'une feuille (x11) ; (N) akène d'une fleur de la base (x16) ; (O) akène d'un épillets issu de la tige (x16). (P) *S. cyperinus* : akène à soies allongées (x16). (D'après Tucker 1987, J. Arnold Arbor 68 : p. 372.)





Dimensionnement : quelles plantes ?

<i>Heliconia psittacorum</i>	<i>Canna indica, canna glauca</i>	<i>Cyperus alternifolius/involucratus</i>
Famille des Héliconiacées, ordre des Zingibérales	Famille des Cannacées, ordre des Zingibérales	Famille des Cyperacées, ordre des Poales
		
<p>Développement très homogène, colonisation progressive de l'ensemble du filtre</p>	<p>Légère tendance à avoir un développement en touffes Colonisation lente de l'ensemble du filtre</p>	<p>Croissance rapide, mais très lente colonisation de l'ensemble du filtre Développement en touffes</p>
<p>Densité moyenne : jusqu'à 250 tiges/m²</p>	<p>Densité moyenne : jusqu'à 250 tiges/m²</p>	<p>Très forte densité : jusqu'à 600 tiges/m²</p>
<p>Très forte compétitivité vis-à-vis des adventices</p>	<p>Très forte compétitivité vis-à-vis des adventices</p>	<p>Forte compétitivité vis-à-vis des adventices</p>
<p>Nécessite un accompagnement à l'installation : arrachage des adventices pendant 3 mois, 1 à 2 fois par mois Faucardage annuel, avant la saison des cyclones</p>	<p>Nécessite un accompagnement à l'installation : arrachage des adventices pendant 3 mois, 1 à 2 fois par mois Faucardage annuel, avant la saison des cyclones</p>	<p>Ne nécessite pas d'accompagnement à la plantation Faucardage tous les 6 mois pour éliminer les tiges mortes et favoriser la colonisation de l'ensemble du filtre</p>
<p>Remarques</p> <p>1 200 cultivars existent, entraînant une forte hétérogénéité (à l'intérieur même des filtres !). Privilégier les cultivars les plus petits Sa proximité génétique avec le bananier entraîne des risques phytosanitaires si le FPV est à une distance de moins de 1 km d'une bananeraie</p>	<p>Remarque</p> <p>Sur <i>Canna indica</i> en Guadeloupe et Martinique, des attaques de chenilles sont observées de décembre à mars. Elles ne détruisent pas entièrement les plantes mais les affaiblissent</p>	




Bibliographie : www.epnac/dom

AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

Les filtres plantés de végétaux pour le traitement des eaux usées domestiques en milieu tropical

Guide de dimensionnement de la fil



ONEMA
Office national de l'eau
et des milieux aquatiques

2013-2015 – Domaine Eau et Aménagements urbains - Action 54 « Systèmes c

Quelles plantes pour le végétaux dans les DOM

Rapport final



Test Batch, SEV Mayotte, octobre 2014

Rémi Lombard Latune (Irstea)
Pascal Molle (Irstea)

Décembre 2015
En partenariat avec :




ONEMA
Office national de l'eau
et des milieux aquatiques

EPNAC

OUVRAGES DE TRAITEMENT PAR FILTRES PLANTÉS DE ROSEAUX

GUIDE D'EXPLOITATION



Janvier 2015

