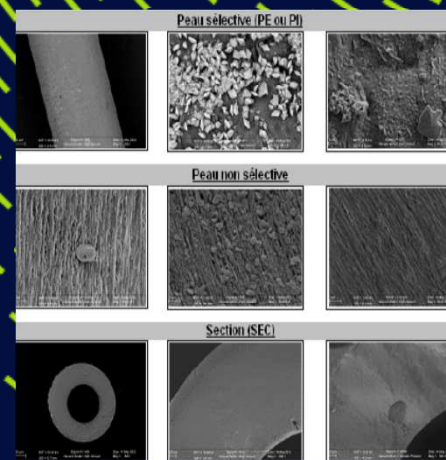




Membranes en eau usée

Retour d'expérience de 10 ans
en Construction / Exploitation



Les membranes dans le traitement des eaux usées

Sommaire

Histoire chez SUEZ – Degrémont / Références

Descriptif filière BRM

Gammes de produits

Les différentes membranes en traitement secondaire

Les différentes membranes en traitement tertiaire

Résultats expérience BRM

Expérience membranes basse pression

Memlab SUEZ expertise membranaire

Quelles configurations possibles pour les micropolluants ?

Les membranes dans le traitement des eaux usées

Historique en France

2005 - Première Usine BRM de grande capacité :

Grasse Roumigières:

- 25 000 eqh
- Compacité – Exiguïté du site – Usine située en amont de captages EP
- Politique régionale orientée innovations → 1^{ère} station Micropolluants Française à Sophia Antipolis (municipal)



Des partenaires majeurs

Zénon (GE) / Toray

- Plus de 10 années d'expérience avec Zénon (7 ans de partenariat exclusif sur la France)
- 5 ans avec les membranes plaques de Toray

Critères de choix des partenaires

- Membranes renforcées
- Seuils de coupure
- Partenaires implantés dans le traitement des eaux



'TORAY'

Une très large plage de taille de stations

de 1000 E.H. ...



Bréhat

... à 322 000 E.H.



La Morée

Marché France

- Plus de **30 références**
- **1 million d'EH traités** en BRM par un procédé Degrémont®

De très nombreuses références

Déjà plus de **40 références** à travers le monde, dont :

en France

06 - Cannes (Aquaviva)

06 - Grasse-la-Paoute

06 - Grasse Roumigières

11 - Fitou

22 - Ile de Bréhat

22 - Perros Guirec (Kervasclet)

29 - Carantec

29 - Ploudalmezeau

29 - Plouescat

34 - AGDE

34 - Baillargues

34 - Béziers

44 - La Montagne (Nantes)

44 - Saint Michel Chef Chef

45 - L'Ile d'Arrault (Orléans)

48 - La Canourgue

56 - Sarzeau (Kergorange)

65 - Tarbes

65 - Villefranche

73 - SIEPAM

76 - Fécamp

84 - Carpentras

91 - Dourdan Ollainville

93 - La Morée (Le Blanc Mesnil)

97 - St Barthélémy (Gustavia)

97 - Petit-Bourg

2A - Bonifacio

dans le monde

Boulari

Goronickel (Base de vie)

Nouméa Baie Sainte Marie

Nouméa James Cook

Pierre Lenquette

Bora-Bora

Calasparra, Murcia

Firgas

Jinamar

Morrojable

Cubbon Park

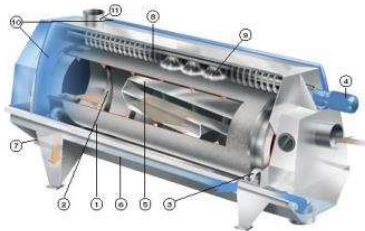
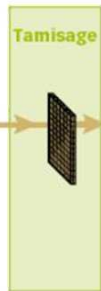
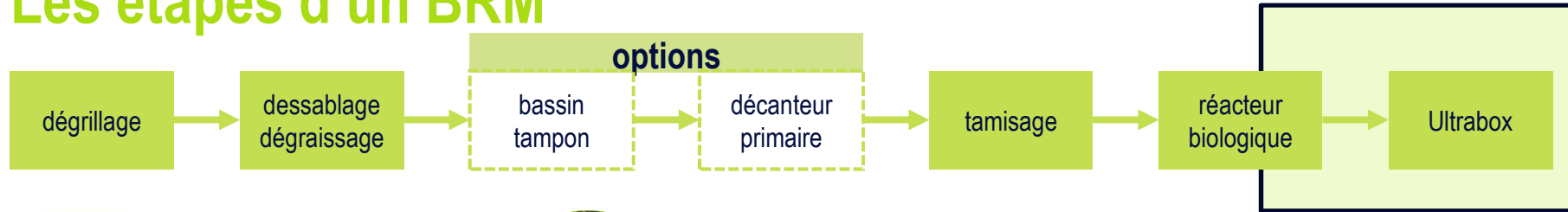
Rozzano

Mediouna

Lusail Doha

Les Diablerets

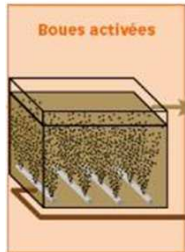
Les étapes d'un BRM



Dégrilleur / Dessableur / Dégraisseur

- Capacité tampon (en amont ou dans la biologie)
- Un tamisage fin : protection des membranes
 - Fibres creuses : 1 mm
 - Plaques : 1,5 mm

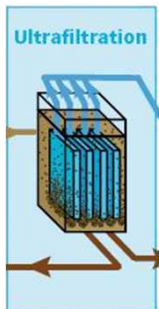
Vigilance



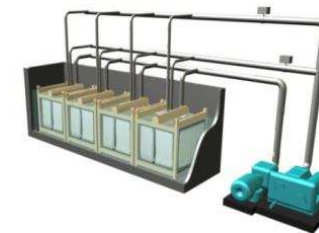
Dimensionné pour l'élimination du carbone et un traitement de nitrification

- Type : chenal séquentiel ou flux piston / Anoxie en tête ou aération séquentielle
- Concentration de la boue activée (6 à 12* g.L-1) dans la biologie : compromis technico-économique dépendant des objectifs et contraintes

* membranes plaques



- La conception de l'installation et le dimensionnement des membranes impactent leur durée de vie
- Les données nécessaires pour leur dimensionnement : les connaissances des régimes hydrauliques



Moyen annuel

Maximum mensuel (30 jours)

Maximum hebdomadaire (7 jours)

Maximum jour (24 heures)

Pointe horaire

La température

La gamme des BRM

Pour le traitement des eaux usées, la gamme des

Bio Réacteurs à Membranes

se compose de **2 modèles** complémentaires afin de répondre au contexte particulier de chaque affaire



l'Ultragreen™



l'Ultrafor™

Gamme des BRM

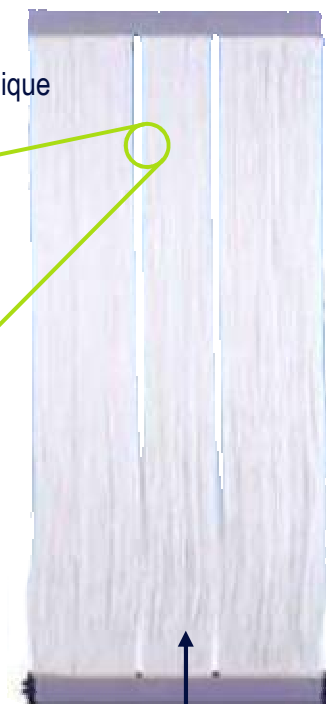
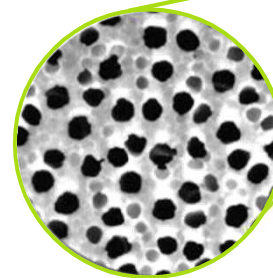
Modèles	Taille installation	Concentration max des boues recommandée dans le bassin des membranes	Spécificité procédé	Fabricant membranes	Flux à 20° C
Ultragreen™	0 à 100 000 EH 0 à 20 000 m³/j	15 g/l	Membranes plaques 0.08 µm	TORAY	20 à 35 lmh
Ultrafor™	Sans limite	10 g/l	Fibres creuses 0.04 µm	GE	30 à 53 lmh

Les fibres creuses

Ultrafor™

- Membrane d'**ultrafiltration** (0,04 μm)
- Membrane fibre creuse à **structure renforcée**
- **Matériau : PVDF**
(Polyfluorure de Vinylidene des membranes immergées)

Vue au microscope électronique
de la surface membranaire



Fibres creuses GE

Une longévité de la membrane éprouvée
sur de nombreux sites en Eaux Résiduaires
Urbaines (plus de 10 ans sur Grasse)

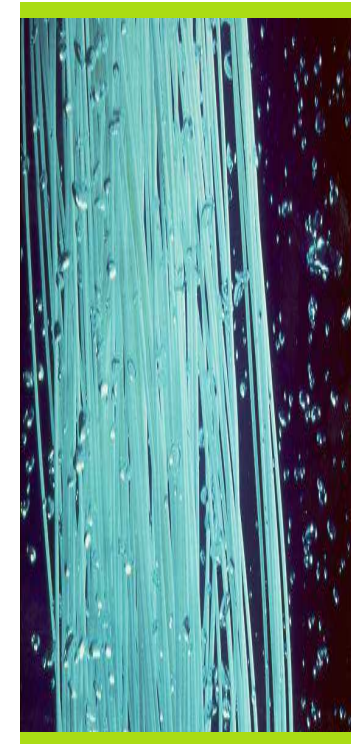


Caractéristiques du fonctionnement

Ultrafor™

Une garantie contre le colmatage

1. **Aération des membranes**
Système Leap
2. **Rétrolavage / Relaxation**
30-40s. Toutes les 10-12 min – automatique
3. **Lavage de maintenance (Javel/Acide citrique)**
2 fois par semaine – automatique
4. **Lavage de régénération (Javel/Acide citrique)**
2 fois par an

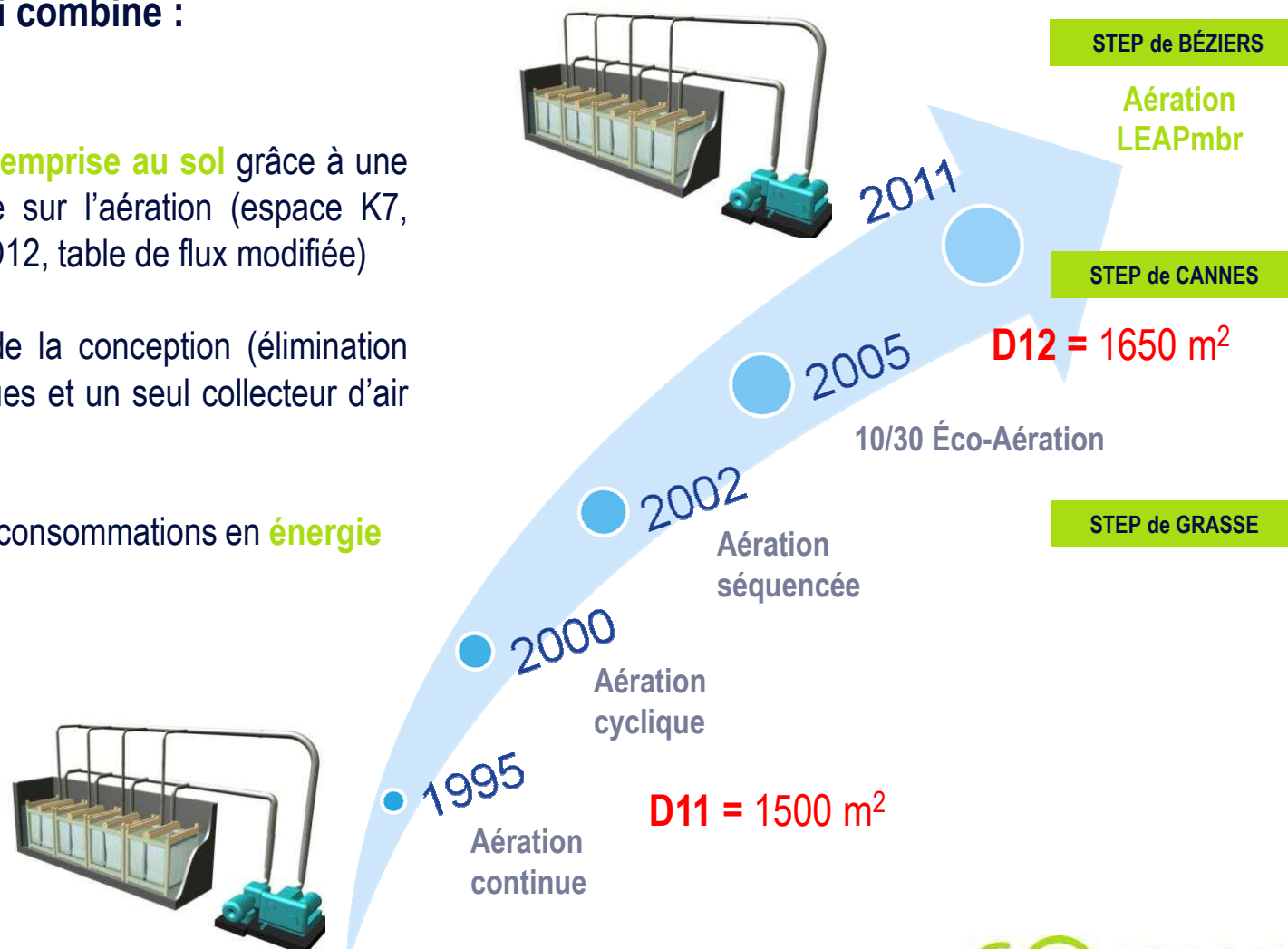


Le système LEAP : - 30 % d'aération des membranes

Ultrafor™

« LEAPmbr » la nouvelle génération de BRM de ZENON qui combine :

- Une réduction de l'**emprise au sol** grâce à une innovation majeure sur l'aération (espace K7, passage D11 à la D12, table de flux modifiée)
- Une optimisation de la conception (élimination des vannes cycliques et un seul collecteur d'air par ligne)
- Une réduction des consommations en **énergie**



Le système LEAP : un champignon qui déménage

Ultrafor™

L'aération « grosses bulles »



Aération séquentielle

130 à 150 wh/m³



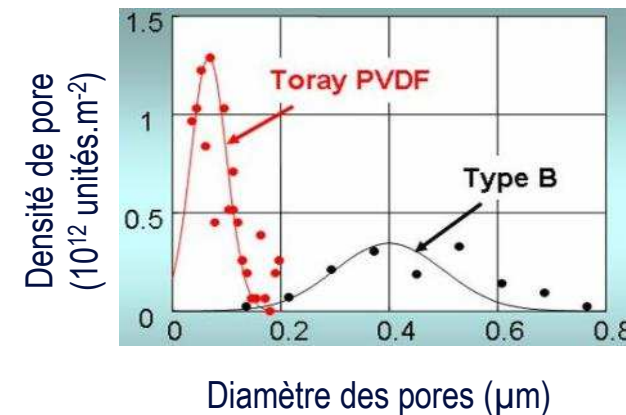
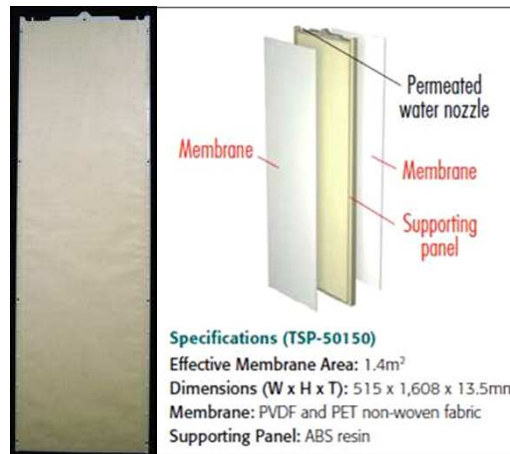
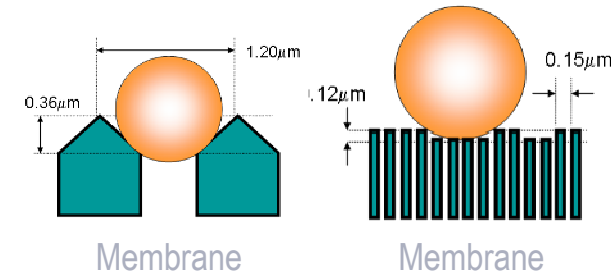
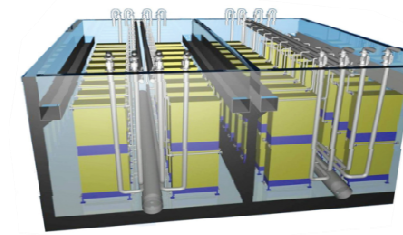
Aération LEAPmbr

80 à 95 wh/m³

- 30 % consommation d'air

Les membranes plaques

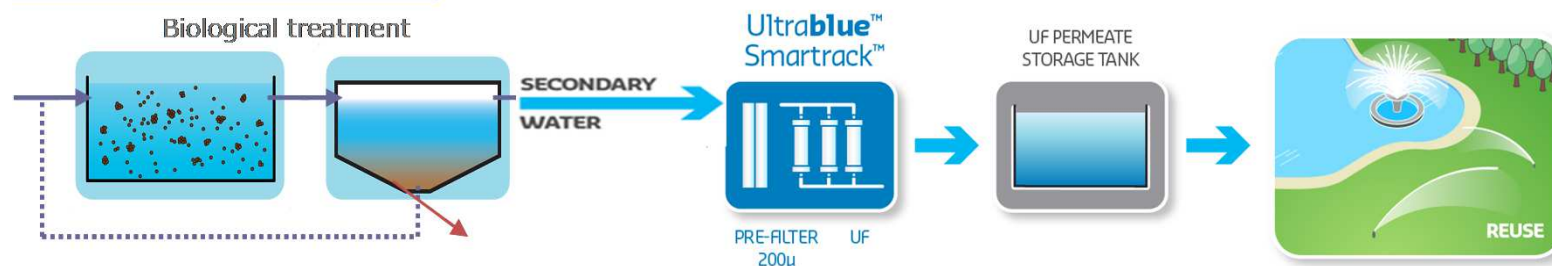
- Une **membrane d'ultrafiltration** ($0,08 \mu\text{m}$)
- Membranes en plaques immergées
- Filtration par aspiration par gravité ou par pompage
- **Aération continue** pendant la filtration



Ultrablue™ - pour la réutilisation de l'eau

Ultrablue™

Ligne de traitement



Membranes : fibres basse pression (creuses)

Modules	Fournisseur	Surface	Taille nominale des pores	Matériau membrane	Filtration	Traitement biologique amont et qualité d'eau d'alimentation requise	Préfiltration mécanique requise	Coagulation directe avant UF
SFP2880	DOW	77 m²	0,03	PVDF	OUT / IN	Aération étendue / Charges faibles lors de la nitrification COD 40 - 60mg/L TSS 5 - 20 mg/L N-NH4: 1 - 2 mg/L	200 µm	✓
HFU2020	TORAY	72 m²	0,01					
UNA620	PALL	50 m²	0,10					
ZW1500	GE	51,1 m²	0,02					

Influence les capacités de filtration

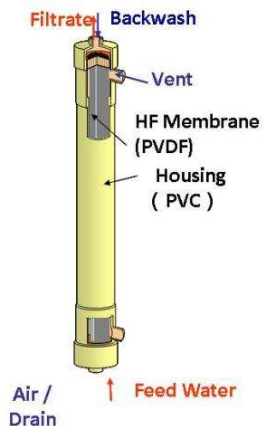
Rétention de particules, bactéries et virus

Force mécanique et résistance chimique

Distribution homogène du débit

Ultrablue™ - comment ça marche ?

Ultrablue™

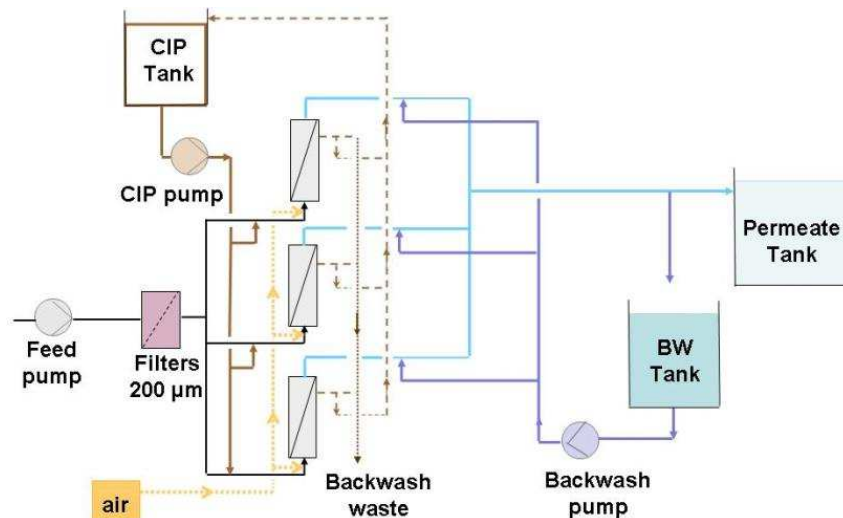


→ Filtration → (30 min)

- Eau d'alimentation introduite en bas du module
- Sortie d'eau filtrée vers la partie la plus haute

→ Cycle de rétrolavage → (1,5 min)

- Nettoyage simultané de l'eau et de l'air
- Filtration inverse
- Rinçage



→ Lavages chimiques réguliers (CIP) en mode recirculation

Lavages courts → (1 heure)

- Chlore / Soude : une fois par jour
- Chlore / Soude / Acide : une fois par semaine

Lavages longs → (5 heures)

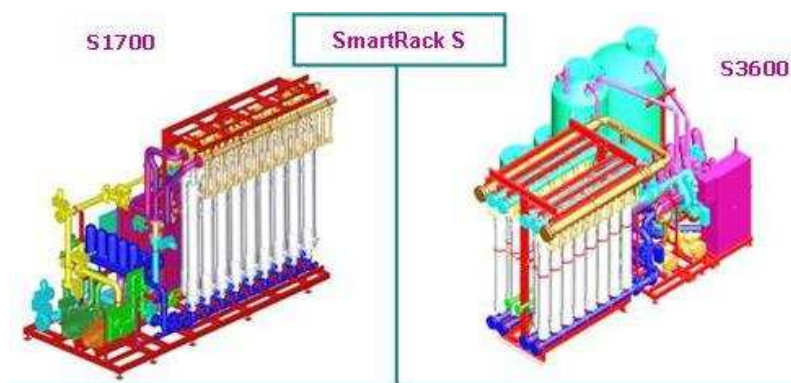
- Chlore / Soude / Acide : une fois par mois

Smartrack S and L - gamme

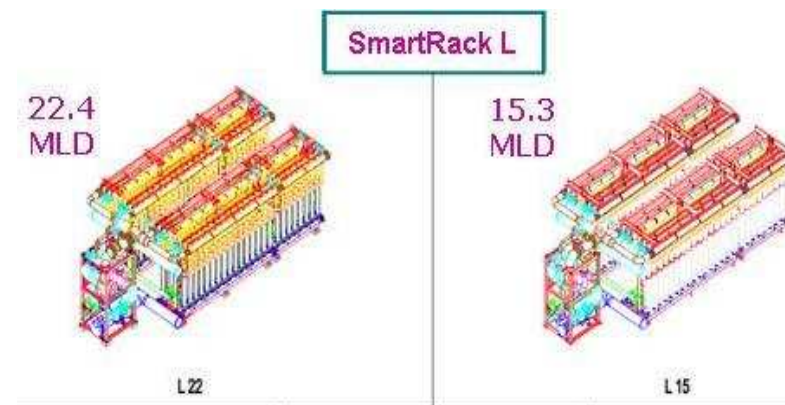
Ultrablue™

Modèle	Nb. Max modules	Débit Max. (m³/h)	Débit en (m³/j)
S200	2	13	275
S500	6	25	500
S1200	13	57	1200
S1700	18	81	1700
S3600	30	170	3600

* taux de recouvrement : 0,855



Modèle	Nb. Max modules	Débit Max. (m³/h)	Débit en (1000m³/j)
2 L4	62, 92 or 122	2 x 180	2 x 3,7
2 L6		2 x 300	2 x 6,2
L11		500	11,1
L15	124, 154, 184, 214 or 244	750	15,3
L22		1 100	22,4



Les retours d'expérience en bioréacteurs à membranes

Points clés et de vigilance



en avant projet

La pertinence de l'offre est fonction des données du Cahier des charges

- **Débit** de dimensionnement
- **Durée** de l'événement pluvieux
- **Température** de l'effluent
- Quel fonctionnement souhaité avec N-1 (1 ligne de filtration à l'arrêt) ?
- **Préciser la demande :**
X m³/j en sortie d'usine sur N-1 lignes durant
Y jours à t°C

en études de projet et d'exécution

- Soigner le niveau d'ingénierie
- Faire la chasse aux points hauts
- Faire les bons choix en équipement
- **Qualité** des vannes et actionneurs
- **Tamis : dimensionnement et compétences** des fournisseurs
- **Tuyauteries de connexion des cassettes : matériau et vigilance** au montage
- **Prise en compte des conditions météo :** pour le choix et le niveau de protection des équipements mettre en place

Points clés et de vigilance



à la mise en route

Appliquer la rigueur d'usine d'eau potable

- Tests à blanc
 - Nettoyage bassins et réseaux air / eau
 - Déconditionnement membranes
 - Lavage des tamis
 - Faire la chasse aux fuites : le système doit être étanche, raccords vissés, soudures etc
 - Programme de démarrage
 - SBR ou avec ensemencement
- Pas de démarrage pleine charge possible sans stabilisation de la biologie

en exploitation

Grande vigilance au dosage des réactifs

Faire un suivi régulier :

- des consommables
- des membranes : TTF, PTM, perméabilité
- des dérives lentes

Optimisations :

- Cycles pour réduire les consommations énergétiques
- Adapter le taux de boues :
 - à la charge entrante sur l'usine
 - au type de membranes (plaques ou fibres)

ATTENTION : la membrane plaque nécessite le maintien d'une concentration élevée au niveau des plaques et ce quelque soit la charge pour former le gâteau de boues

➔ Surcoût de dépenses en énergie liée à la respiration endogène supplémentaire quand l'usine est en sous charge

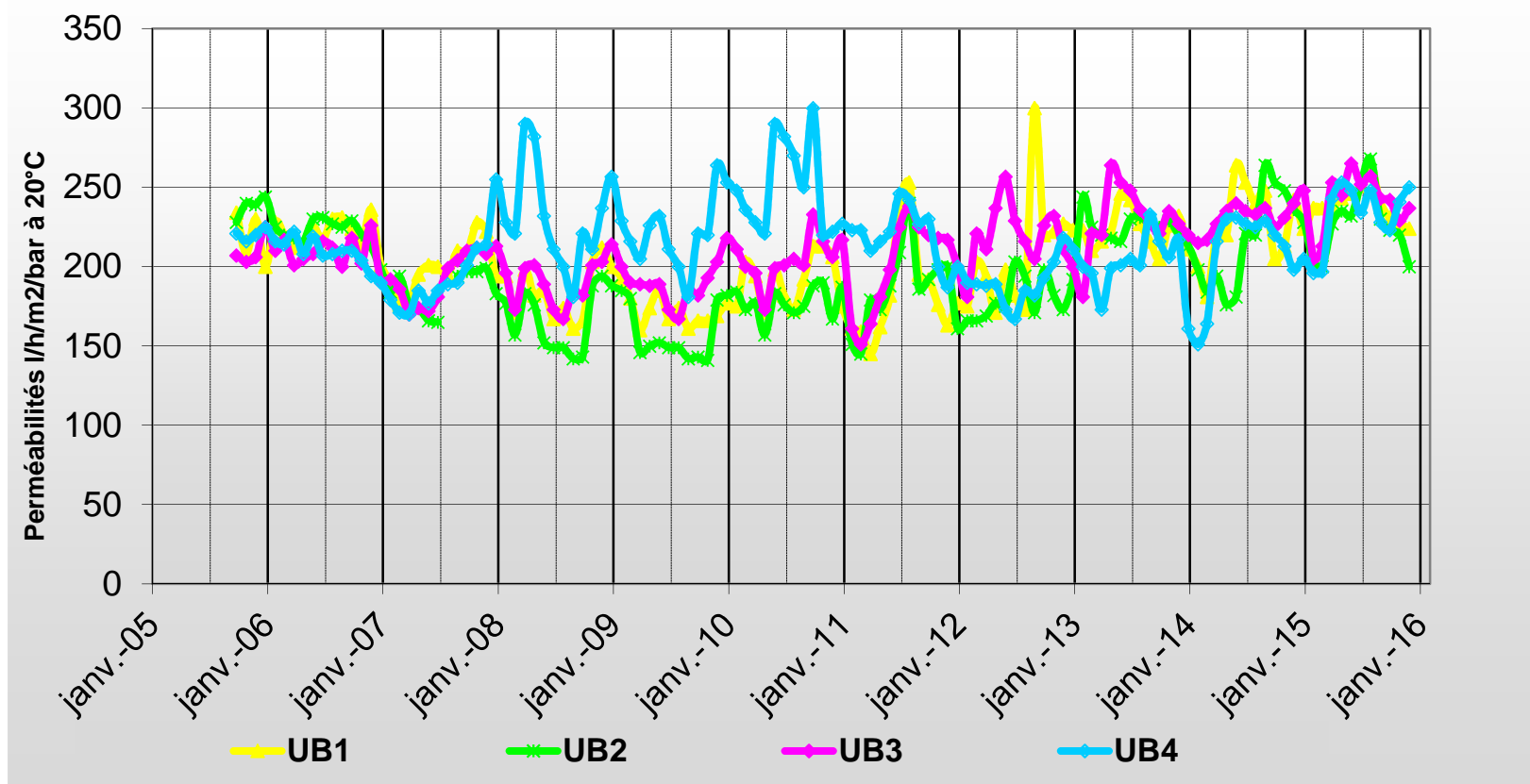


Résultats en bioréacteurs à membranes

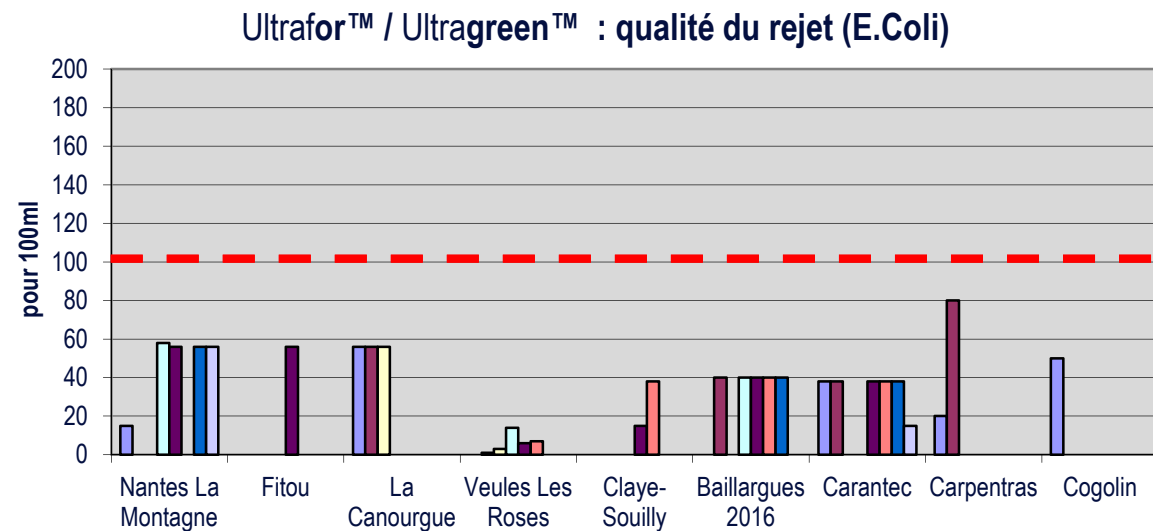
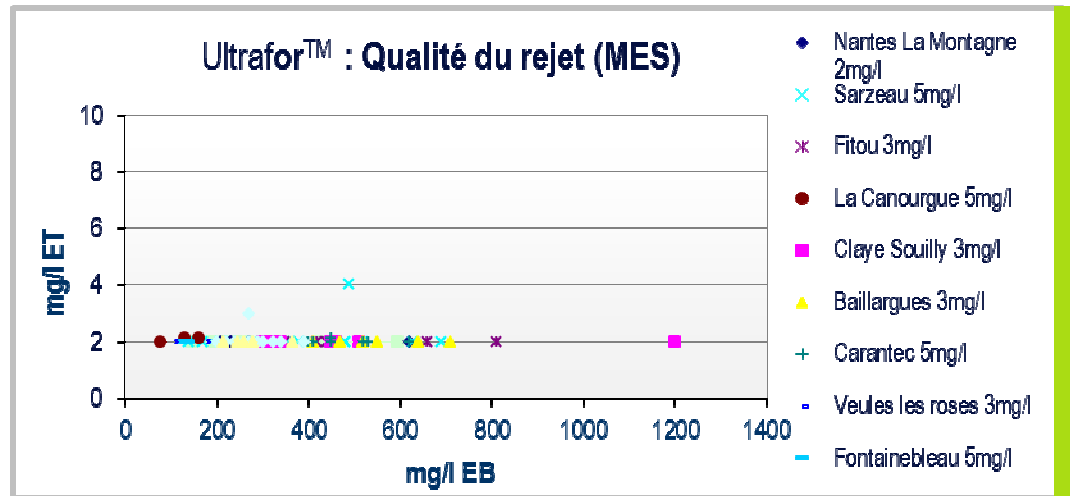
10 ans de stabilité des perméabilités

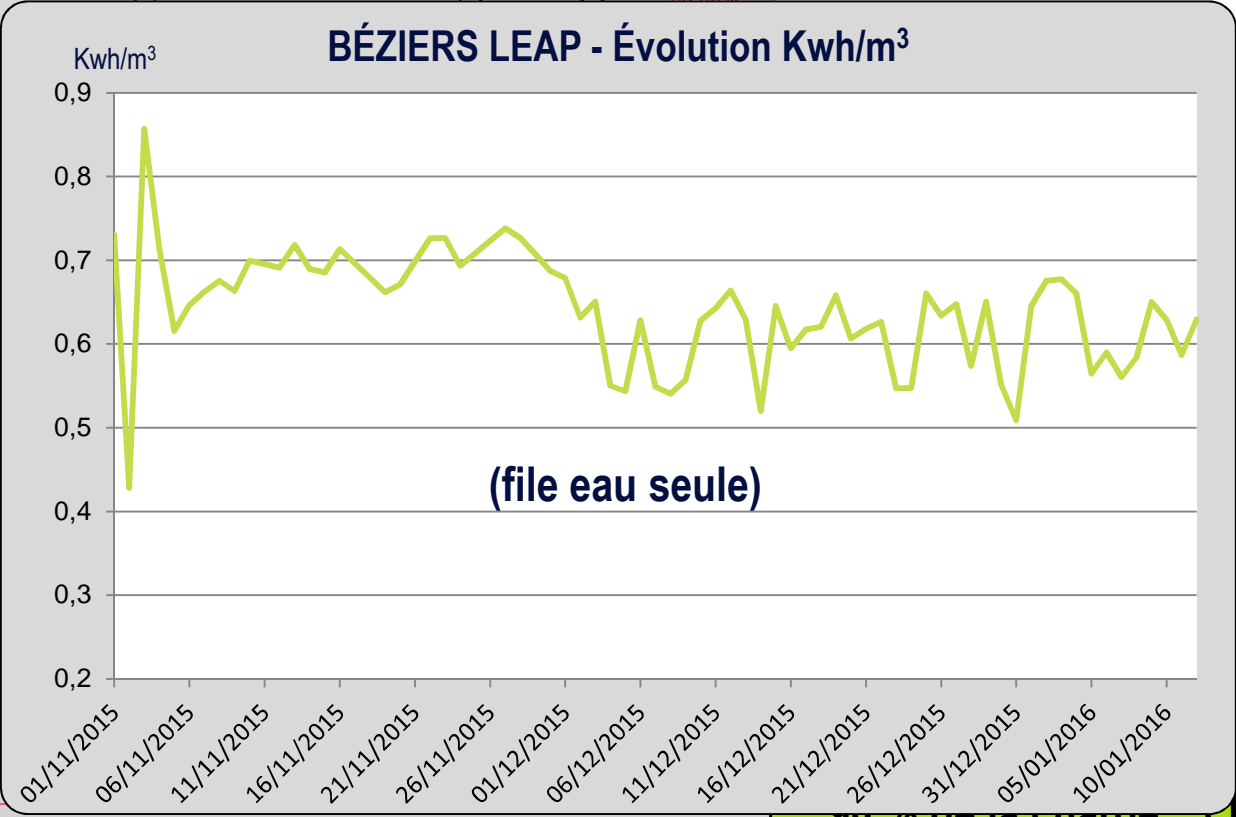
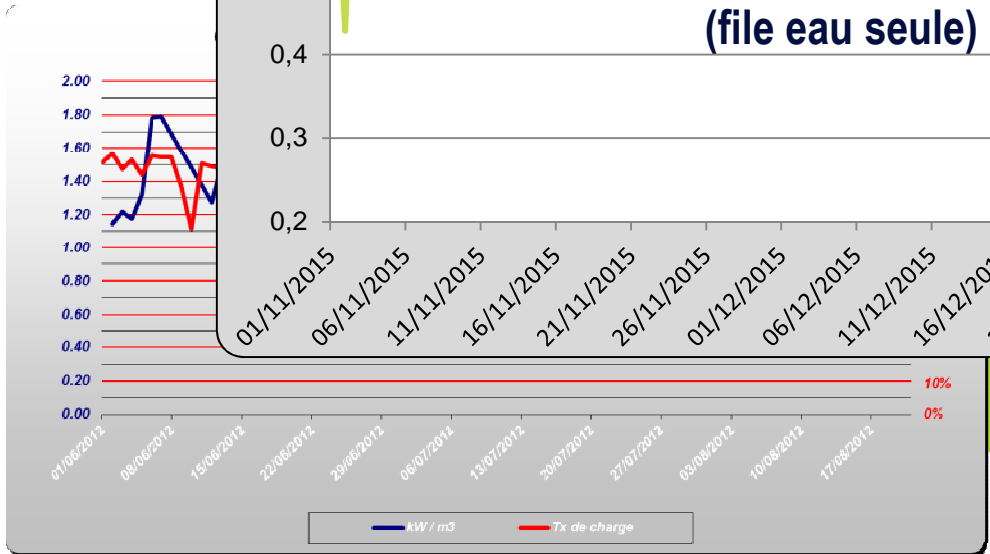
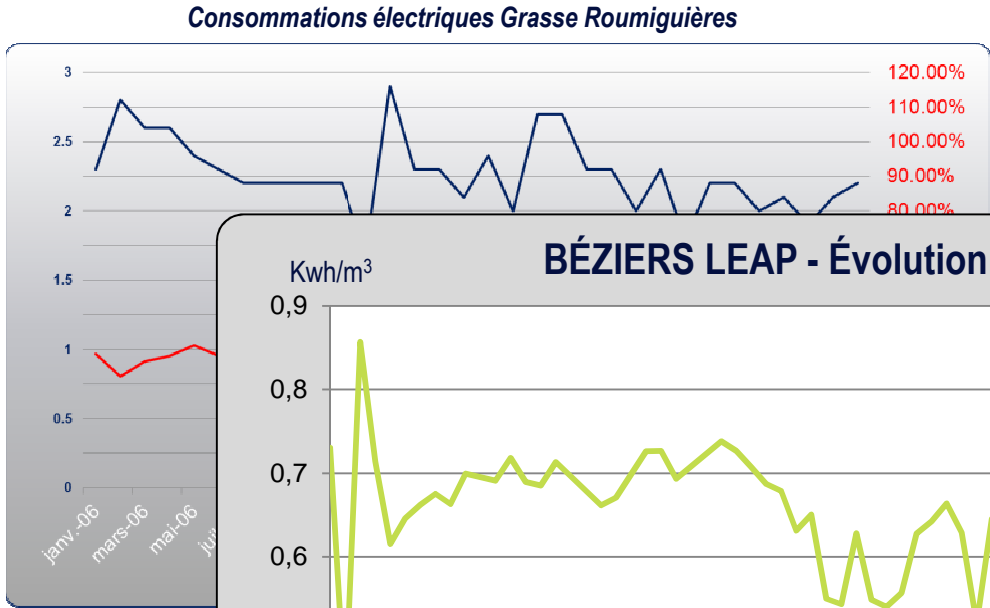


Évolution des perméabilités Step de Grasse Roumigières 2005-2015



Séparation et désinfection maîtrisées





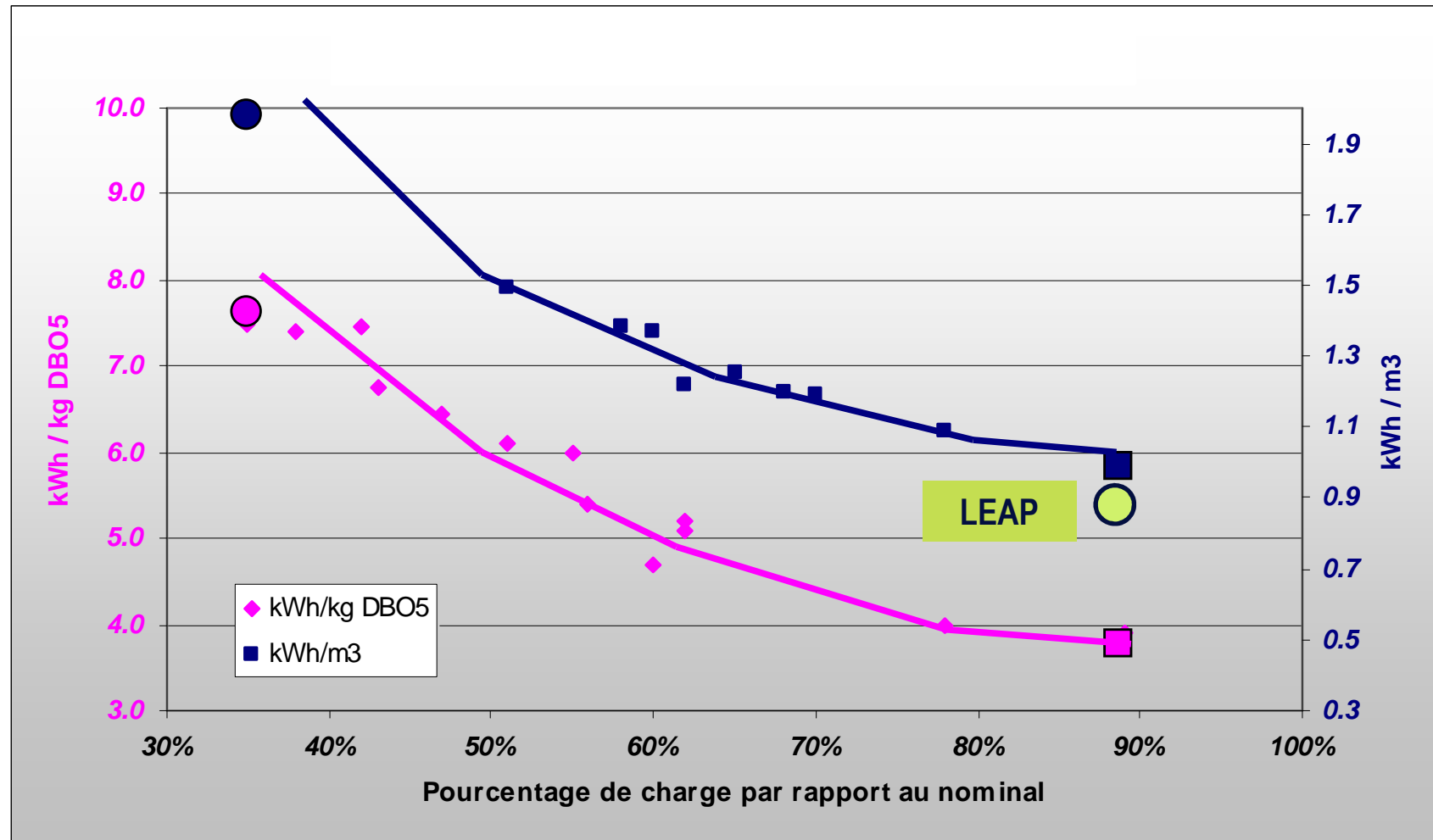
kwh/m³
(e)

50 % de la charge : 1 kwh/m³
(conso step globale)



Consommations électriques en fonction de la charge reçue

Ultrafor™



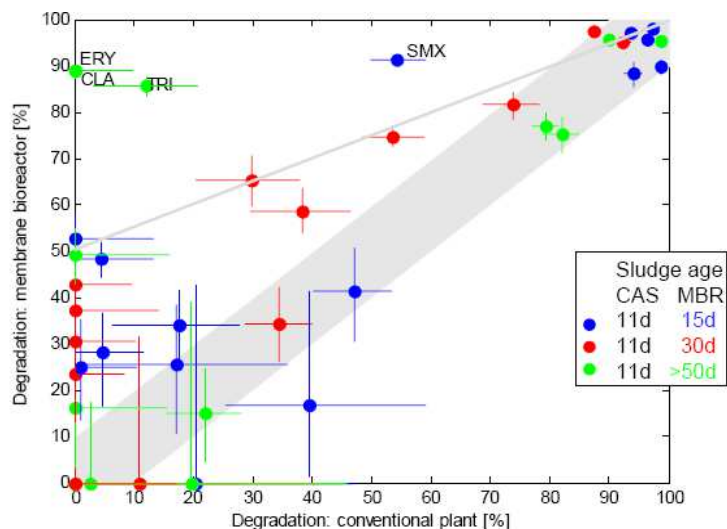
*Consommation énergétique station globale (files eau + boues + désodo)

Traitement biologique avancé des micropolluants

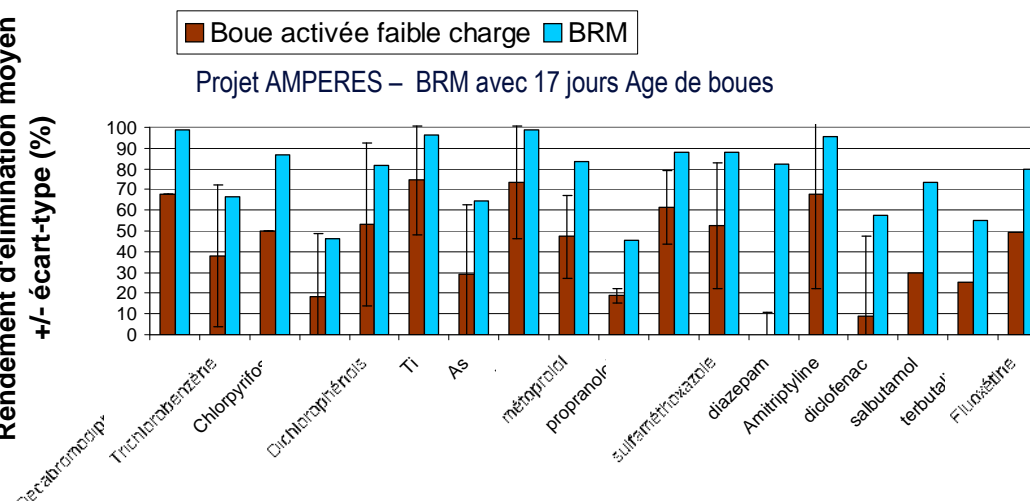
Ultrafor™

BRM améliore d'environ 20% l'élimination des composés détectés :

- Composés polaires partiellement éliminés en boues activées (consortium bactérien différent d'une boue activée)
- Composés adsorbables (âge de boues et concentration en boues élevée favorables à l'adsorption, meilleure rétention des MES)



Rendement d'élimination moyen
+/- écart-type (%)



- Nombre de rendements > 70% équivalent à celui des boues activées à faible charge
- Valeurs de rendements plus élevés en BRM pour une dizaine de substances, par exemple : décaBDE, naphtalène, chlorpyrifos, diuron, di- et pentachlorophénol, benzothiazole et 4-NP2EO

Retour d'expérience sur l'utilisation des membranes pour la séparation de charbon actif en poudre

Membranes tertiaires d'ultrafiltration basse pression

Essais pilotes de Vidy

REX VIDY – 6 mois d'essais

Besoin client – Ville de Lausanne

- Réduire les micropolluants par le biais d'un traitement tertiaire de eaux usées dédié (CAP en réacteur diffus – infiniment mélangé 10 à 20 ppm)
- Séparer le charbon actif pour atteindre les rejets de qualité :

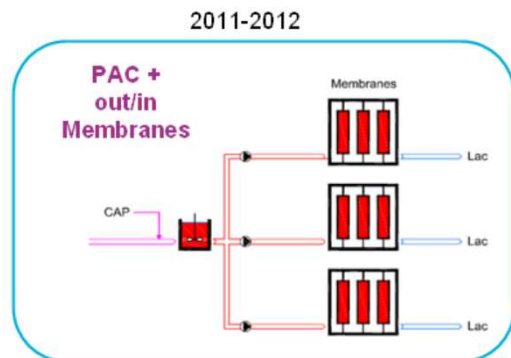
Fixés par l'**Ordonnance Suisse**
sur l'Eau : **MES < 5 mg/L**

Ciblés par le **canton de Vaud** : E. Coli
et Entérocoques (**< 100 UFC / 100 mL**)

OEaux Suisse	Conc. Max (mg/L)	Rdt. Min (%)
DOC	10	85
BOD	15	90
TSS	5.0	--
N-NH4	1.0	90
PT	0.8	80
MP *	-	80

* Carbamazépine, Sulfaméthoxazole, Diclofénac, Benzotriazole, Mecoprop

Essais DT DGT réalisés sur 4 membranes de 4 fournisseurs différents sur SMARTRACK



Techfina / Degremont
membranes PVDF



Les résultats

Les performances hydrauliques sur modules

Flux de filtration stabilisés

→ 35 l/h.m²

Perte en eau (par rapport au débit d'alimentation)

→ 14 %

Consommation électrique du pilote

→ 0,18 kWh/m³ de filtrat

Lavage chimique

- Javel + soude

1 fois par jour (> 1000 ppm @ pH 11 @ 38°C)

- Acide (oxalique)

1 fois pas semaine

Mais un colmatage constaté sur tous les modules avec un degré différent

- Perte de la perméabilité (débit hydraulique par unité de surface à une pression de 1 bar : (l/h.m²)/bar)

- Lavages fréquents en produits chimiques fortement dosés

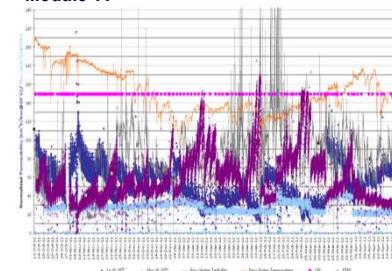
REX VIDY – 6 mois d'essais

Essais en ERU avec CAP

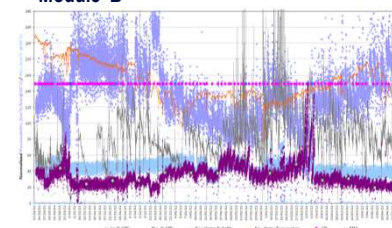
- Durée de vie pouvant être réduite par un vieillissement prématuré
- Pas de prise en compte de l'effet du CAP sur l'intégrité des fibres sur tous les modules
- Incertitude sur la tenue des membranes sur le long terme

Nécessité de séparer le charbon actif de l'eau avant d'alimenter les membranes pour optimiser leur fonctionnement à long terme et réduire la surface de filtration nécessaire et les consommables

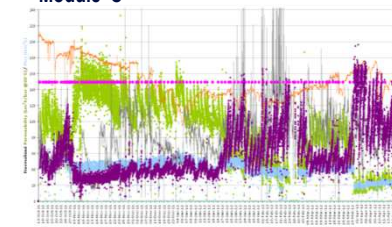
Module A



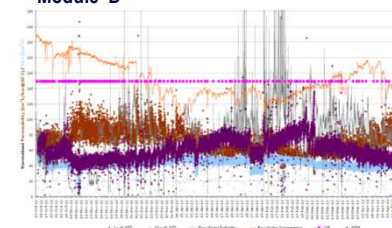
Module B



Module C



Module D



La plateforme **MEMlab**

MemBoard
Outil d'aide à
l'exploitation



BASES DE DONNÉES

MemTool
Consolidation
des documents
fournisseurs,
protocoles et
tableurs



MemTrac
Traçabilité des
échantillons
et des essais



Laboratoire
Analyse approfondie
des propriétés
membranaires



**Bancs de tests
miniatures**
Fabrication et tests sur
micro-prototypes



OUTILS EXPÉRIMENTAUX

**Bancs de
vieillessement
industriels**
Prédiction de durée
de vie des modules



**LES RÉSULTATS DE L'AUTOPSIE ONT DU SENS PARCE QUE LE
COMPORTEMENT DE LA FIBRE NATIVE EST CONNU**

Autopsie complète de 2 modules des essais de Vidy

- Relativement faible perméabilité confirmée en labo
- Lavages chimiques plus importants nécessaires
- Vieillesse mécanique variable de la fibre suivant modules
- Pas de changement de structure du polymère de la membrane
- Le charbon actif s'est principalement accumulé sur les fibres situées en haut et en bas du module sous forme d'amas collants
- Temps de contact cumulés de la membrane avec les lavages chimiques très importants

- Colmatage persistant (non éliminé par lavage chimique) principalement composé de charbon actif (accumulé en bas et haut du module)
- Certaines membranes étaient très usées mécaniquement

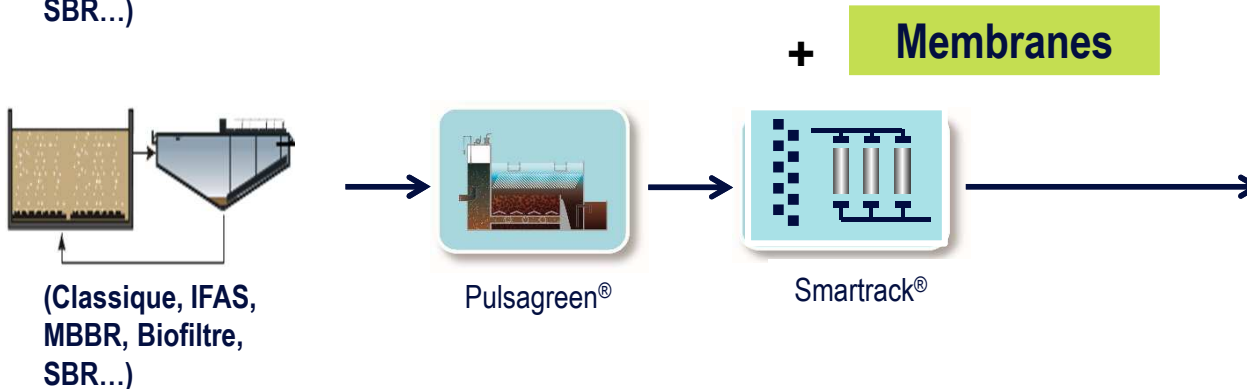
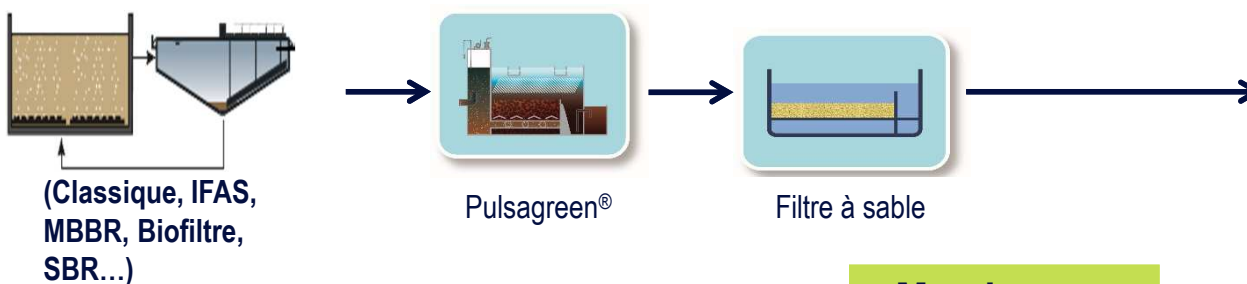
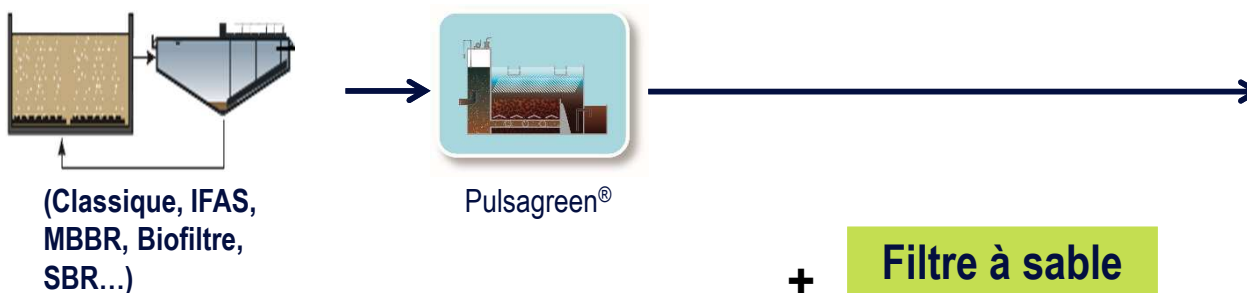


Quelles configurations pour les micropolluants ?

Les configurations possibles

En tertiaire 1/2 :

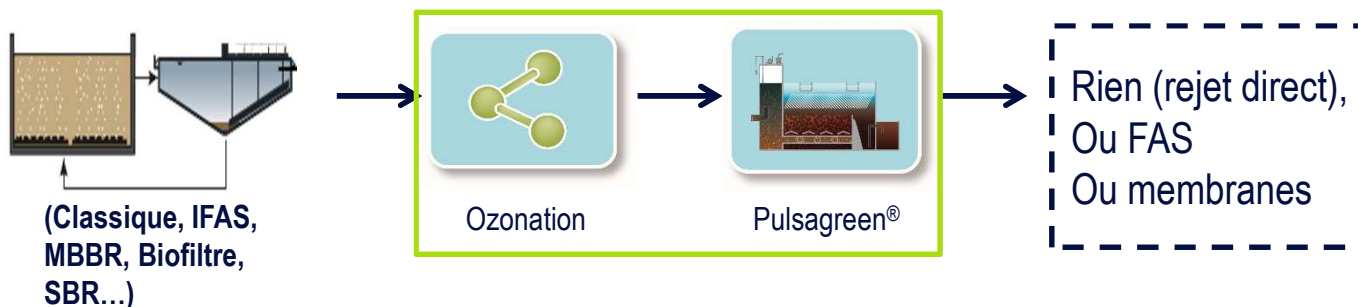
- Simple étape : réacteur / séparateur CAP + Rien



Les configurations possibles

En tertiaire 2/2 :

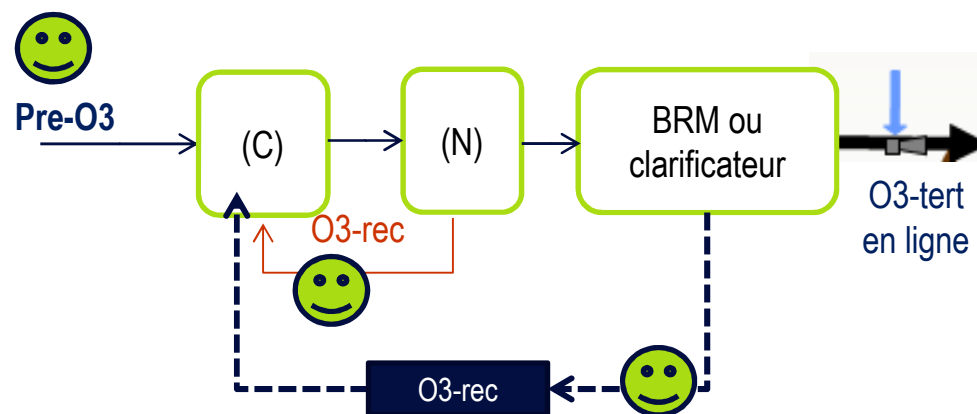
○ Multibarières : O3 + Pulsagreen (+ FAS/UF)



→ Adapter la filière aux différentes formes des micropolluants et aux objectifs de rejets en MES

Les configurations possibles

En intégré : système d'oxydation biologique et chimique* → BRM ou BA



Configurations d'injection d'ozone

1. A l'alimentation (PréO3)
2. Dans la recirculation (Rec-O3)
3. Simultanée en deux points y compris tertiaire en ligne

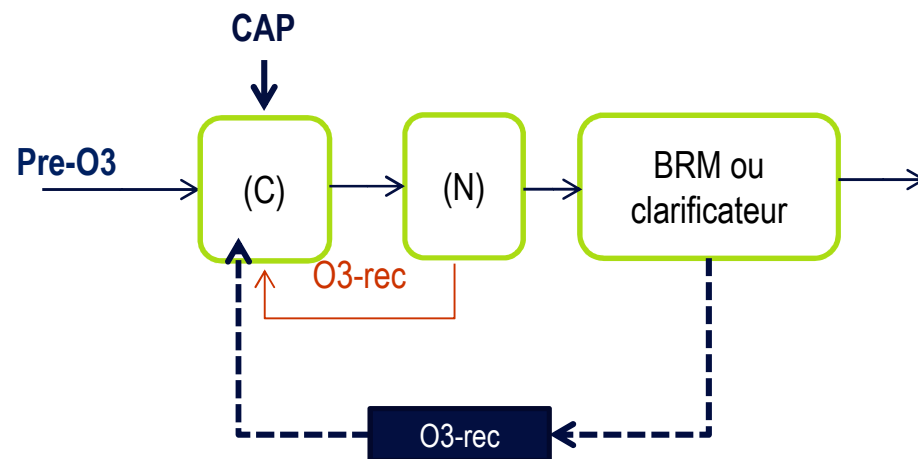
- **Conversion rapide** des micropolluants présents dans l'eau brute
- **Désorption** des micropolluants présents dans la boue
- **Amélioration de l'indice des boues** (impact + dimensionnement du clarificateur)

**Amélioration
globale des
performances
phase eau
et boues**

Une solution Idéale pour les réhabilitations de stations

Les configurations possibles

En intégré : système de traitement par adsorption sur charbon actif et ozonation intégrés à l'épuration biologique



Configuration

CAP + O3 injectés en plusieurs points
(amont ou dans le traitement biologique)
selon les objectifs de traitement

- **Synergie des traitement oxydants et d'adsorption** pour couvrir une large gamme de micropolluants
- **Maximisation des performances des traitements biologiques** : par la conversion rapide induite par l'ozone et l'augmentation des surfaces d'adsorption introduites avec le charbon actif
- **Oxydation des micropolluants** présents dans la boue
- **Amélioration de l'indice des boues** (impact + dimensionnement du clarificateur)

**Une solution Idéale pour les réhabilitations de stations
Et pour couvrir une très large gamme de traitement des micropolluants**

Merci pour votre attention

Annexes

La Morée (93)

STEP 322 000 EH

La Morée

SIAAP

Mise en service - 2012

PRINCIPE GÉNÉRAL

traitement de l'eau

- Prétraitements
- Décantation primaire sans réactifs
4 **Sedipac™ 3D**
- Bioréacteur à membrane – **Ultrafor™**
8 lignes – 8 cassettes / ligne
 $V_{\text{tot}} = 40\,000\text{ m}^3$, $S_{\text{membrane, tot}} = 97\,000\text{ m}^2$

traitement des boues

- Centrifugation
- Pompage des boues vers une unité de co-méthanisation (mélange des boues et des refus domestiques)

traitement de l'air

- 12 tours de traitement physico-chimique

Contexte et enjeux

- Retour au bon potentiel écologique de la masse d'eau Morée-Croult
- Produire des boues compatibles avec les différentes solutions de traitement
- Réaliser un site "zéro nuisance"
- Prendre en compte la notion de coût global
- Contribuer au développement durable



Cannes (06)

STEP 300 000 EH

Cannes – Aquaviva

SIABC

Mise en service - 2011

PRINCIPE GÉNÉRAL

traitement de l'eau

- Prétraitements
- Bioréacteur à membrane – **Ultrafor™**
8 lignes - 8 cassettes / ligne
 $V_{\text{bio}} = 28\,000\text{ m}^3$, $S_{\text{membrane, tot}} = 106\,200\text{ m}^2$

traitement des boues

- Centrifugation
- Chaulage

traitement de l'air

- 6 tours de traitement physico-chimique

développement durable

- Valorisation des boues séchées
- Réutilisation des eaux traitées
(arrosage d'un golf et d'espaces verts)
- Mise en place de panneaux photovoltaïques
et de pompes à chaleur

Contexte et enjeux

- Adapter la station aux nouvelles normes d'assainissement des eaux usées imposées par l'Europe
- Inscrire la station dans un développement durable et une démarche HQE au niveau de la conception, de la construction et de l'exploitation
- Première station d'épuration carboneutre au monde



Ile d'Arrault (45)

STEP 95 000 EH

Ile d'Arrault

Agglo

Mise en service – mi-2010

Contexte et enjeux

- Respect du patrimoine naturel du site
- Intégration architecturale
- Qualité et la compacité des technologies
- Orientation du choix de la filière grâce à la réalisation d'une ACV

PRINCIPE GÉNÉRAL

traitement de l'eau

- Prétraitements
- Bioréacteur à membrane – **Ultrafor™**
4 lignes - 4 cassettes / ligne
 $V_{\text{tot}} = 11\,800\text{ m}^3$, $S_{\text{membrane, tot}} = 24\,269\text{ m}^2$

traitement des boues

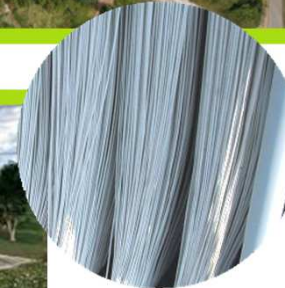
- Épaississement des boues biologiques
Densadeg®
- Centrifugation

traitement de l'air

- Tours de désodorisation physico-chimique

développement durable

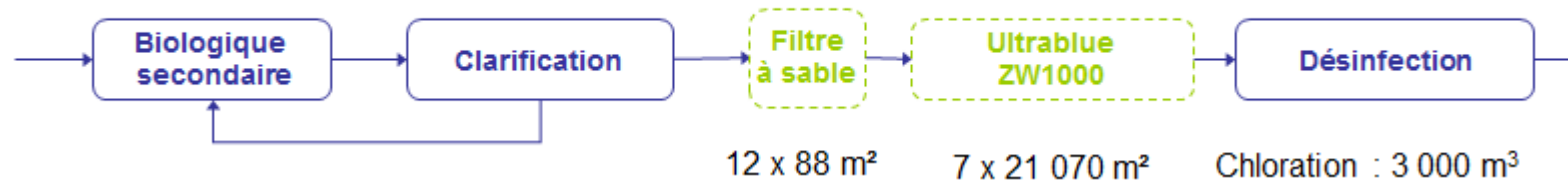
- Toiture végétale
- Utilisation des énergies renouvelables
(pompe à chaleur, 600 m² panneaux photovoltaïques)
- Réutilisation de l'eau traitée pour arrosage



Doha West – Ultrablue ZW 1000

une station dédiée à la réutilisation des eaux traitées

135.000 m³/j



Traitement biologique faible charge

- Pré Anoxie – Anaérobie 4 x 4 000 m³
- Anoxie 4 x 4 000 m³
- Aération 4 x 11 000 m³
- Clarificateurs : 8 x diam. 40 m

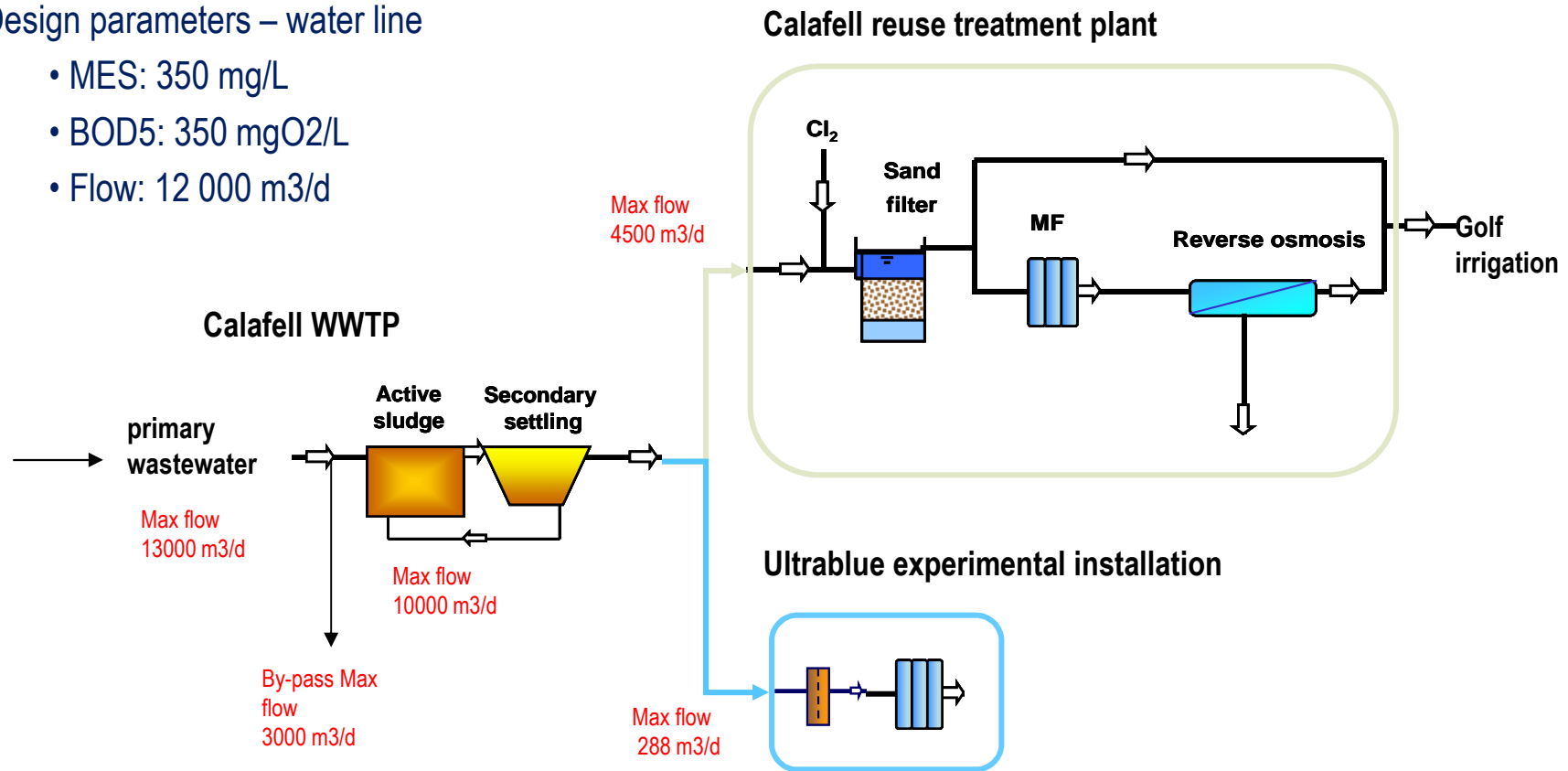
Traitement tertiaire

- Bassin d'égalisation : 31 000 m³
- Filtration sur sable : 12 x 88 m²
- Ultrafiltration : 7 lignes x 21 070 m²
- Chloration : 3 000 m³
- Bassin eau traitée → IRRIGATION



Calafell – Ultrablue HF

- Flow Capacity
 - Summer 13 000 m³/d → primary physical-chemical + biological treatment
 - Winter 6000 m³/d → primary treatment without reagents + biological treatment
- Design parameters – water line
 - MES: 350 mg/L
 - BOD₅: 350 mgO₂/L
 - Flow: 12 000 m³/d



Gargenville - Ultrablue HF for water recycling

- Conventional biological treatment
 - Anaerobic volume 450 m³
 - Oxidation ditch volume 2880 m³
- Final settling tank 625 m²
- Sludge treatment
 - Dewatering by centrifugation
 - Solar drying on Heliantis

- **Water recycling (100 m³/d)**

- ✓ UltraBlue technology with Toray pressured membranes

- ✓ **A solution for**

- ✓ Proposal differentiation
- ✓ Utility solution



Garganville – Ultrablue HF



discharge

UF rack

250 L
Feed water
storage tank

Pre-filter
200μ

UF

500 L
UF permeate
storage tank



- UF frame : L 3.0 m x W 1.20 m x H 2.55 m
- 2 modules : HFS (0.02 μ)
- Design flux : 75 L/m².h
- Feed pump and chemical cleaning flow : 4 to 10 m³/h @ 3 bar (max)
- BW pump flow : 15 m³/h @ 3 bar (max)
- NaOCL/acid citric/SBS pump flow : 3 to 15 L/h @ 3 bar (max)
- Air blower for scouring air during BW : 12 to 15 Nm³/h @ 0.5 bar
- NaOCL/acid citric/SBS storage tanks (50L)
- Feed water storage tank (250L)
- UF permeate storage tank (500L)



SIPIBEL Triumph

Projet hébergé dans l'Observatoire SIPIBEL pour le traitement d'effluents urbains et hospitaliers en station d'épuration - Haute Savoie (France)

- Action 1 – Acquisition du savoir et modélisation des flux
- Action 2 – **Procédés de traitement complémentaires en station d'épuration**
- Action 3 – Ecotoxicologie et évaluation des risques



Performances biologie seule et avec ozonation

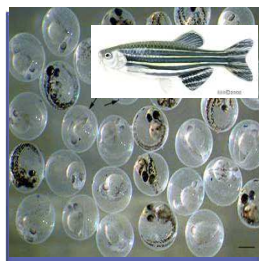
Age des boues, temps de contact,
doses d'ozone

- Effluents mixtes (ERU/ERH 50% v/v)
- Maintien de la nitrification totale
- Maitrise de l'ozonation: transfert
- Dosage des micropolluants:
SPE-LC-MS/MS



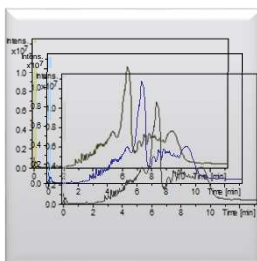
Effets sur le maintien de la population (FITNESS)

Génotoxicité, reproduction,
développement & croissance



QUELS IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ?

- Des mélanges complexes dans l'eau
- Du traitement d'oxydation biologique et chimique
 - Bioessais normalisés
 - Biomarqueurs



Approche globale

Comparaison multivariée des
signatures chimiques

- Evaluation ciblée : composés parents ou produits de dégradation
- Evaluation non ciblée: masses/charge, temps de rétention
- Analyse des signaux d'intérêt/
discriminants
LC-QqToF



Autopsie des modules

Quelle autopsie ? Module – fibre - membrane

sur module

- Mesure de l'**intégrité** du module à l'air
- Mesure de la **perméabilité** à l'eau propre (forage)
- **Lavage chimique** suivant protocole du site
- **Découpe du module** pour constat visuel

sur micro-prototype fabriqués à partir des fibres du module

- Cartographie de la **perméabilité** du module
- **Lavage chimique**

sur les fibres prélevées sur le module

- **Test de résistance** mécanique
- **Contrôle dimensionnel** de la fibre

sur la membrane

- **Mesure** de la stabilité chimique

**LES RÉSULTATS DE L'AUTOPSIE ONT DU SENS
PARCE QUE LE COMPORTEMENT DE LA FIBRE
NATIVE EST CONNU**