

# Les Bio-Réacteurs à Membranes (BRM) en Provence-Alpes-Côte d'Azur

## Une technologie performante mais exigeante



**ARPE**  
PROVENCE ALPES CÔTE D'AZUR  
AGENCE RÉGIONALE POUR L'ENVIRONNEMENT

CE CINQUIÈME DOSSIER TECHNIQUE est consacré au traitement des effluents domestiques par BIO-RÉACTEURS À MEMBRANES (BRM). L'objectif de ce dossier est d'améliorer les connaissances sur ce procédé afin de se poser les bonnes questions avant d'envisager sa mise en œuvre.

Il présente le fonctionnement de la filière et dresse un état des lieux de son développement sur le territoire régional. Des recommandations pratiques, de l'ARPE notamment, accompagneront les constats présentés dans l'objectif d'optimiser l'exploitation et les choix faits au moment de la conception.

Ce dossier s'appuie sur des visites de sites menées de 2013 à 2016, sur l'analyse des résultats d'auto-surveillance de 11 stations situées en Provence-Alpes-Côte d'Azur sur 3 ans, sur les nombreux échanges avec les exploitants des stations d'épuration (Suez, Véolia/SEM, SAUR, mairie du Cannet des Maures), le service eau du département du Finistère, des chercheurs et universitaires (Irstea, Université de Montpellier), l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, un constructeur et un fournisseur de membranes (GTM Environnement et Polymem), ...

LES INFORMATIONS DIFFUSÉES DANS CE DOSSIER TECHNIQUE sont issues du suivi spécifique de cette filière réalisé sur le territoire régional depuis 2013 par l'ARPE. Ce suivi est réalisé au sein de l'unité assainissement et milieux aquatiques, dans le cadre de la mission d'évaluation de techniques innovantes en matière d'assainissement.



## **Une épuration stable et performante mais onéreuse**

Les stations d'épuration qui utilisent la filtration membranaire pour séparer les boues d'épuration de l'eau traitée se nomment les Bio-Réacteurs à Membranes (BRM).

Si le traitement biologique reste relativement classique, **cette filtration fine (entre la micro et l'ultrafiltration)** constitue une technologie compacte et relativement complexe en comparaison avec les procédés utilisés généralement pour épurer les effluents domestiques.

Les performances très poussées sur la pollution carbonée, les matières en suspension et la désinfection des eaux, sont obtenues au prix d'une exploitation rigoureuse, réalisée par du personnel formé spécialement à cet effet. Les consommations en réactifs chimiques et en énergie sont également plus importantes que des procédés plus classiques pouvant atteindre des performances comparables (boues activées complétées d'un traitement tertiaire adapté).

Par ailleurs, l'aération quasi-permanente des membranes utilisée pour limiter leur encrassement, rend difficile le traitement complet de l'azote. La construction d'un bassin dédié (bassin d'anoxie) est fortement recommandée en cas d'exigence forte sur ce paramètre. De la même manière, pour un traitement poussé du phosphore, il est utile de prévoir un bassin d'anaérobie afin de limiter les injections de réactifs spécifiques dont l'utilisation en excès augmente les risques de colmatage des membranes.

Enfin, les bénéfices liés aux performances de la séparation membranaire, pourront être remis en cause en cas de déversements répétés vers le milieu récepteur d'eaux usées brutes (déversement en tête de station) ou d'effluents partiellement épurés (by-pass).

En effet, le débit de filtration des membranes est limité et conditionné aux surfaces de membranes installées, à leur usure et leur état de colmatage. Plusieurs facteurs ou événements peuvent contribuer à rendre la capacité effective de filtration insuffisante (surcharges hydrauliques dues à des intrusions d'eaux claires dans le réseau d'assainissement, apports non maîtrisés d'effluents non domestiques, mauvaise gestion des réactifs utilisés sur la station, chute de la température des effluents, lavages des modules membranaires, ...). Ceci est susceptible de provoquer des déversements d'effluents malgré la présence d'un bassin d'orage pouvant collecter une partie de ces eaux.

**En conclusion, si les Bio-Réacteurs à Membranes permettent une épuration stable et performante, ils n'en restent pas moins exigeants et sensibles.**

Il apparaît donc que les surcoûts liés au choix de la filtration membranaire pour assainir des effluents domestiques devront être justifiés par une combinaison de plusieurs facteurs : exigence d'un traitement poussé sur la pollution carbonée, particulaire et bactériologique, contrainte foncière importante, connaissance et maîtrise de la quantité et qualité des effluents parvenant à la station. La volonté de réutiliser les eaux usées traitées peut constituer un argument supplémentaire mais selon nous, en aucun cas suffisant pour justifier le choix de cette filière.

# PRÉSENTATION de la filière

## Principes généraux

Après un pré-traitement classique (dégrillage, déssablage/dégraissage), les eaux usées brutes transitent par un tamisage fin pour réduire le risque de formation de filasses (amas de cheveux et autres fibres difficilement dégradables) qui pourrait nuire à la filtration membranaire notamment. Les eaux prétraitées rejoignent ensuite les bassins d'épuration biologiques qui restent relativement classiques.

Puis vient l'étape dite de "clarification" qui consiste à séparer la biomasse épuratrice de l'eau traitée. Cette séparation est réalisée ici par filtration fine au travers de membranes baignant directement dans les boues à clarifier.

Le diamètre nominal des pores des membranes habituellement utilisées en assainissement collectif, varie de 0,04  $\mu\text{m}$  à 0,4  $\mu\text{m}$  en fonction des modèles. Cette filtration se situe donc entre la micro et l'ultrafiltration, ce qui permet théoriquement d'éliminer la majorité des bactéries et une part importante des virus présents dans les eaux traitées.

## Configuration et type de membranes utilisées

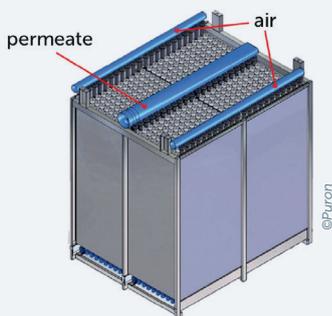
Deux types de configurations sont possibles. Les membranes sont disposées soit :

- dans un compartiment séparé. C'est la configuration qui est le plus souvent appliquée sur les stations traitant des effluents domestiques,
- directement dans le bassin d'aération.

Deux types de membranes peuvent également être mises en place :

- les membranes plaques (ou planes) plutôt utilisées pour des capacités épuratoires limitées (petites et moyennes stations d'épuration),
- les membranes fibres creuses.

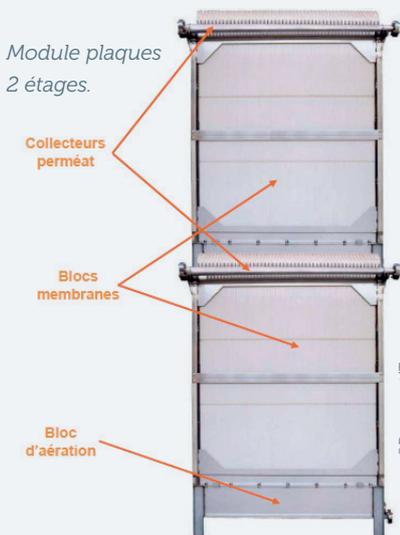
### FIBRES CREUSES



Module (assemblage de plusieurs rangées).



Rangées de fibres Zenon.



Module plaques 2 étages.

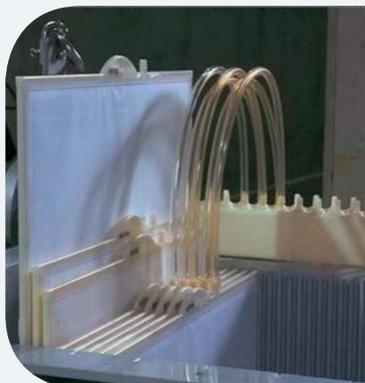
Collecteurs perméat

Blocs membranes

Bloc d'aération

© Degremont/Toray

### PLAQUES



Plaques et évacuation du perméat.



Modules de plaques en place avant mise en eau.

# BIO-RÉACTEURS À MEMBRANES

BASSINS BIOLOGIQUES

DÉGRAISSEUR  
DESSABLEUR

Dimensionné pour accepter  
tout ou partie du  
débit temps de pluie

TAMISAGE

DÉGRILLEUR  
FIN

EAUX  
USÉES

Entrefer  
6 à 10 mm

Déversoir  
en tête de station  
(point SANDRE A2)

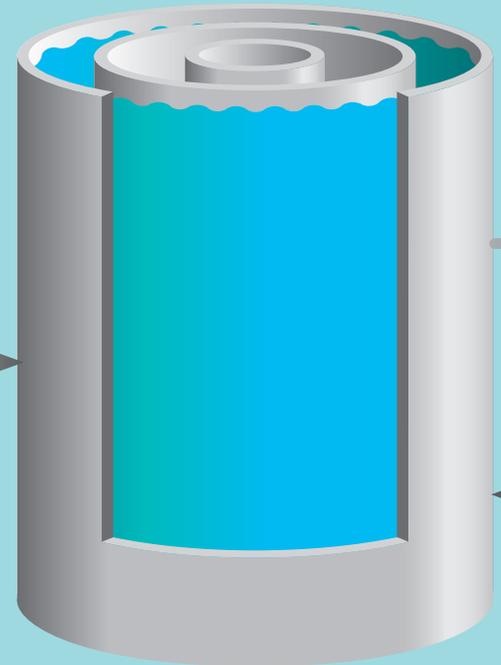
REJET VERS LE  
MILIEU NATUREL

BASSIN D'ORAGE

Temps de séjour préconisé  
> 3h au débit de pointe  
temps de pluie\*

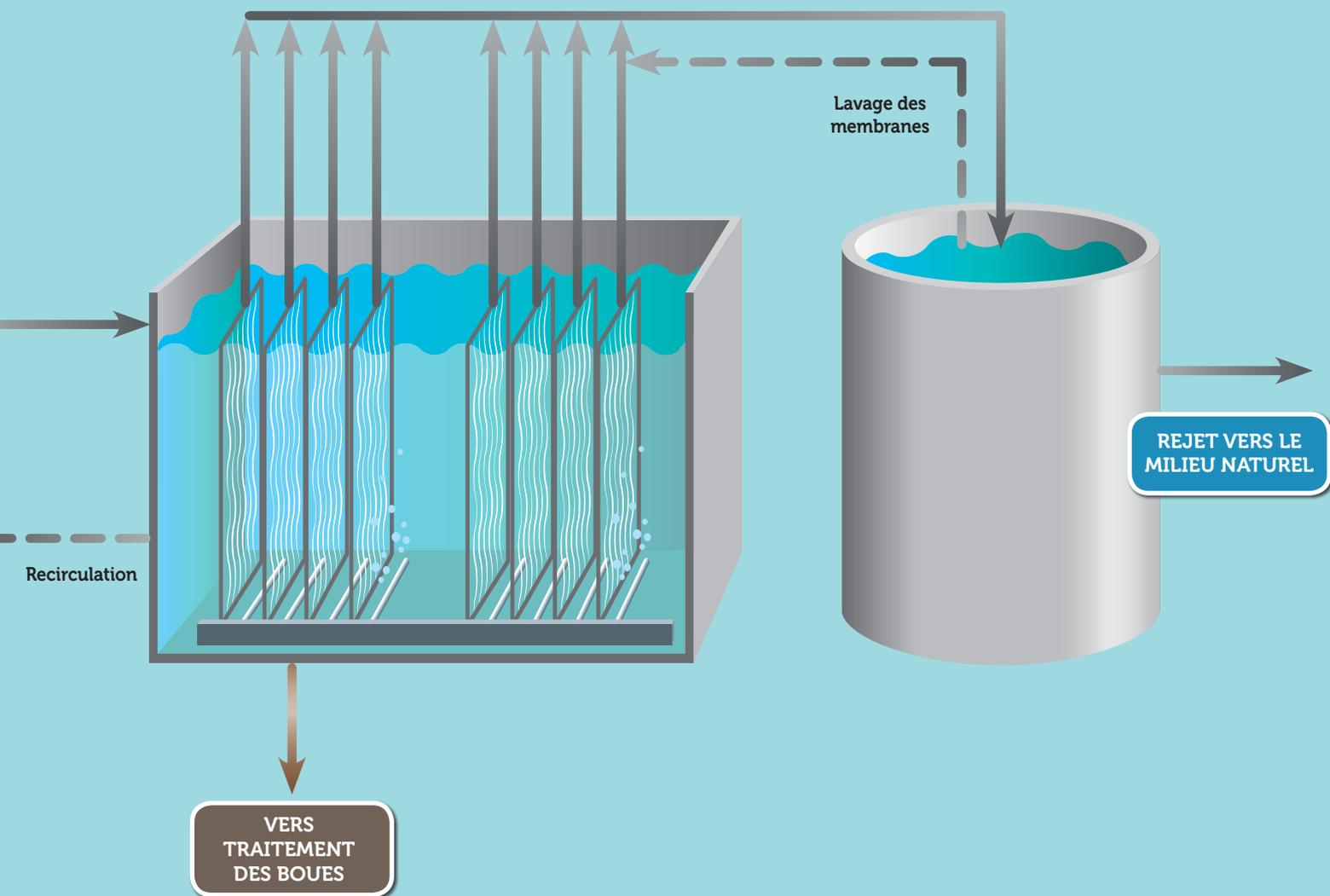
By-pass  
(point SANDRE A5)

REJET VERS LE  
MILIEU NATUREL



## BASSINS À MEMBRANES

## BÂCHE EAU TRAITÉE



### TAMISAGE

#### 1 (+ 1 tamis en secours minimum)

- maille ronde 0,75 à 3 mm ( $\leq 1$  mm conseillé\*\*).
- dimensionner chaque tamis à 120 % du débit de pointe\*.

ATTENTION : le tamisage ne remplace pas le dégraisseur / dessableur.

### BASSINS BIOLOGIQUES

- bassin d'aération  $[MES]_{BA} = 5$  à 8 g/l.
- bassin d'anoxie recommandé si besoin de traiter l'azote global.
- bassin d'anaérobie recommandé si forte contrainte sur le phosphore (à partir d'1,5 mg/l par exemple).

### BASSINS À MEMBRANES

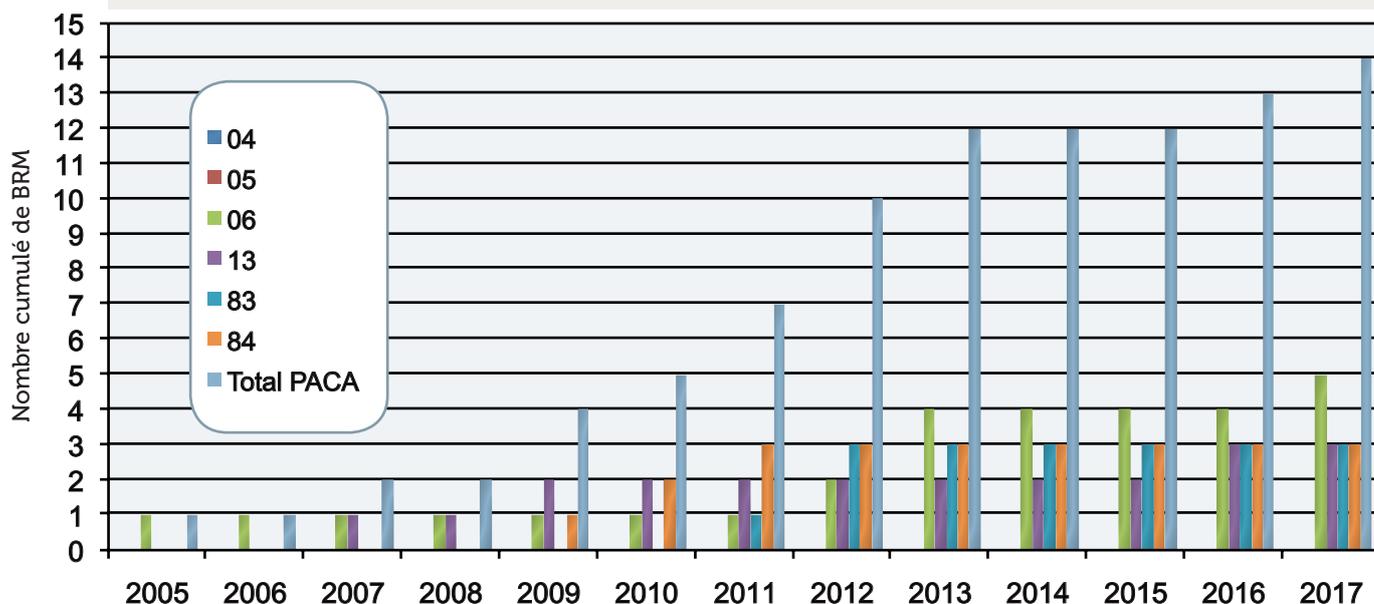
- $[MES]_{BRM} = 6$  à 9 g/l.
- taux de recirculation vers les bassins biologiques : 400 %.
- dimensionner les surfaces de membranes à la température minimale des effluents et à partir du flux net (cf. p. 18 "pour aller plus loin").

# Les BRM en Provence-Alpes-Côte d'Azur: état des lieux général

## Un développement limité

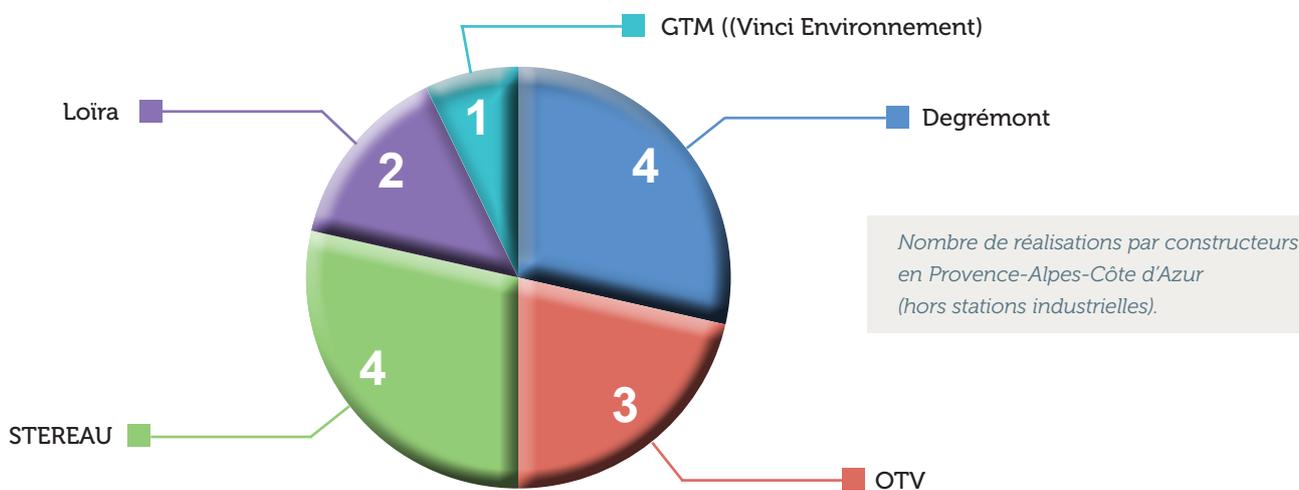
En 2017, on dénombre en Provence-Alpes-Côte d'Azur, 14 stations d'épuration domestiques de type Bio-Réacteur à Membrane (hors BRM industriels).

Évolution du nombre de stations d'épuration équipées d'une filtration membranaire en Provence-Alpes-Côte d'Azur.



## Les constructeurs présents

En Provence-Alpes-Côte d'Azur, les stations d'épuration équipées de Bio-Réacteurs à Membranes ont été construites par 5 constructeurs dont un a fait l'objet d'un dépôt de bilan (Loïra).



## Une répartition quasi-équivalente entre les membranes fibres et plaques

6 BRM traitant des effluents domestiques sont équipés de membranes plaques et 8 de membranes fibres.

Les membranes plaques équipent en grande majorité des stations dont la capacité épuratoire est inférieure à 10 000 Équivalent Habitants (EH).

Cela s'explique en partie par une compacité plus intéressante pour les fibres creuses, à opposer à une relative simplicité d'exploitation pour les plaques.

## Les dimensionnements des surfaces membranaires appliqués en Provence-Alpes-Côte d'Azur

Le dimensionnement des surfaces membranaires à mettre en œuvre dépend directement des débits à traiter.

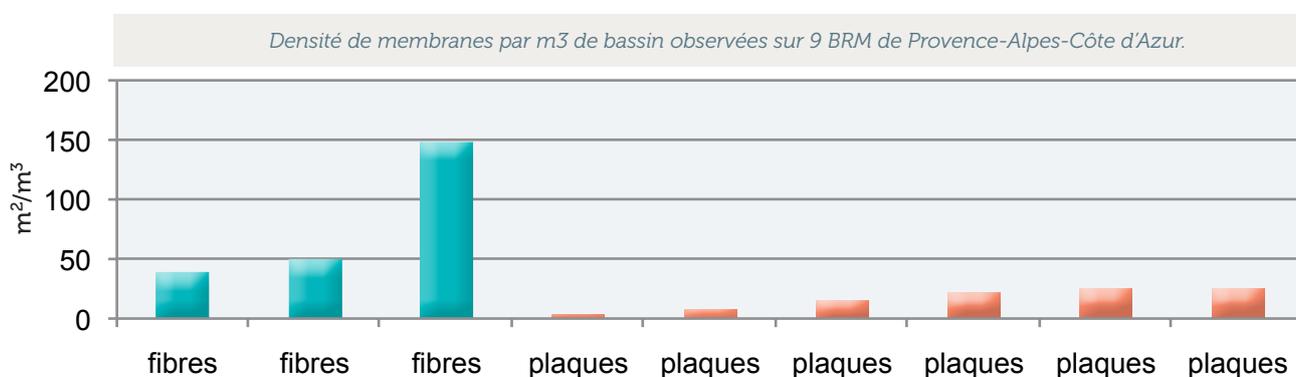
### LAMES D'EAU JOURNALIÈRES PAR TEMPS DE PLUIE

À partir des caractéristiques des installations de Provence-Alpes-Côte d'Azur, nous avons calculé un ratio en divisant les débits journaliers nominaux par temps de pluie par les surfaces de membranes installées. Ce ratio exprime donc la lame d'eau journalière que les membranes sont censées pouvoir filtrer par temps de pluie ( $m^3 \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$ ).

Ces résultats mettent en évidence la capacité des fibres à filtrer des volumes d'eau journaliers plus importants que les plaques ( $0,54 m^3 \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$  en moyenne pour les fibres contre  $0,47$  pour les plaques).

**Remarque :** classiquement, ce ratio n'est pas utilisé pour dimensionner les surfaces de membranes. Il permet toutefois une première estimation rapide des surfaces de membranes à mettre en œuvre sur son projet. Un dimensionnement plus précis sera par la suite nécessaire.

### DENSITÉS DES MEMBRANES AU SEIN DU RÉACTEUR MEMBRANAIRE



À surface égale de filtration, les fibres nécessitent moins de volume de bassin que les plaques.

Toutefois, une trop forte densité de fibres au sein d'un bassin ne paraît pas optimiser les performances ni simplifier l'exploitation.

Pour les plaques, le volume du réacteur membranaire représente une proportion importante du volume total des réacteurs biologiques. Ce bassin est à juste titre considéré comme un réacteur biologique à part entière dans lequel l'aération des membranes permet également de fournir de l'oxygène à la biomasse épuratrice.

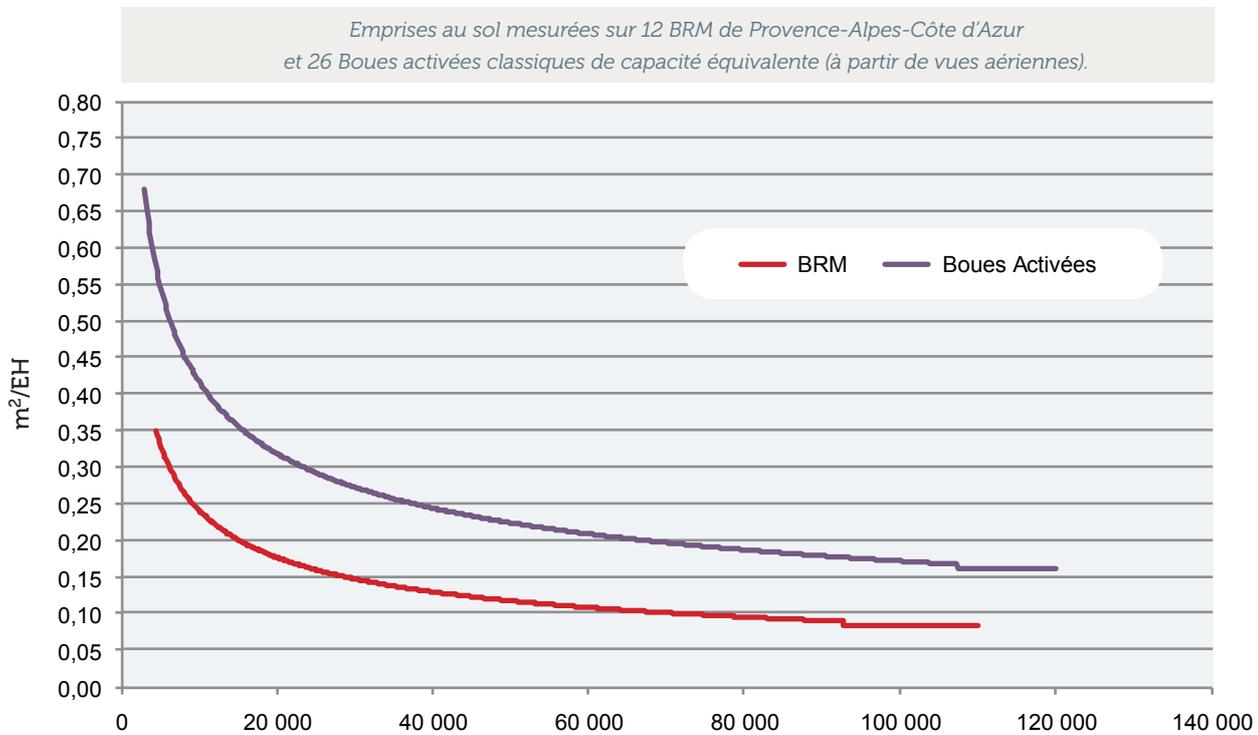
Les différences de densités peuvent aussi s'expliquer par la nécessité de traiter l'azote ou le phosphore, ce qui peut imposer de consacrer un volume plus important aux bassins biologiques plutôt qu'aux réacteurs membranaires. Dans ce cas, les membranes seront installées plus densément. Dans d'autres cas, la répartition des volumes des différents bassins semble découler du seul choix du constructeur.

## PERMÉABILITÉ DES MEMBRANES ET TEMPÉRATURE DE L'EAU

La baisse de la température de l'eau provoque une augmentation de sa viscosité. Ceci se traduit par une perte de perméabilité des membranes.

Ce phénomène signifie que la capacité de filtration, et donc de traitement de la station, diminue significativement en hiver.

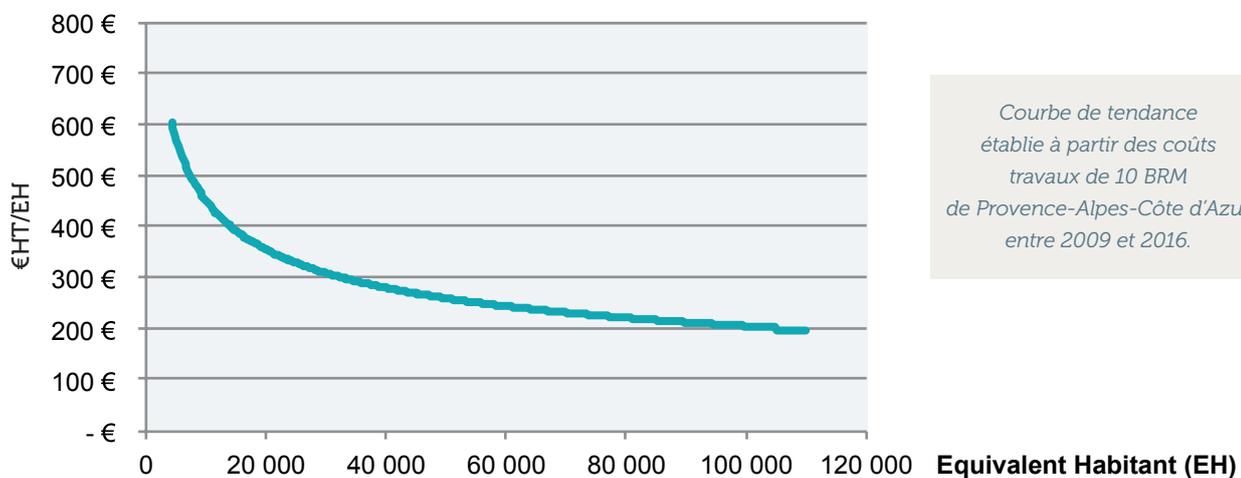
## Emprises au sol observées



En moyenne, un BRM occupe jusqu'à 2 fois moins de surface qu'une station à boues activées.

## Coût d'investissement

Les coûts présentés ici n'incluent pas les coûts de maîtrise d'œuvre, ni ceux des études préalables.



# Effacité mesurée sur les BRM de Provence-Alpes-Côte d'Azur

## Une épuration très poussée sur les paramètres DCO, DBO<sub>5</sub> et MES

Les capacités épuratoires et les charges de fonctionnement des boues activées choisies ici sont du même ordre de grandeur que ceux des BRM étudiés.

### CONCENTRATIONS MOYENNES MESURÉES EN SORTIE DE STATIONS

	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	DCO (mgO <sub>2</sub> /L)	MES (mg/L)
Moyennes* obtenues pour les 11 BRM étudiés	<b>1,8</b>	<b>19,1</b>	<b>1,5</b>
Moyennes* obtenues pour les 6 BA équipées d'un traitement tertiaire	<b>2,1</b>	<b>23,5</b>	<b>4,2</b>

\* lorsque la concentration était inférieure au seuil de détection du laboratoire, nous avons divisé par 2 la valeur déclarée.

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DBO<sub>5</sub> : Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

MES : Matières En Suspension

Les concentrations moyennes obtenues pour les BRM et les boues activées équipées d'un traitement tertiaire sont relativement proches et traduisent une excellente épuration relative à ces paramètres.



Répartitions  
des concentrations  
mesurées en sortie  
de station :  
comparaison  
BRM / Boues activées.

### Concentrations en DCO

- [DCO] > 250 mg/L
- 125 < [DCO] ≤ 250 mg/L
- 90 < [DCO] ≤ 125 mg/L
- 30 < [DCO] ≤ 90 mg/L
- [DCO] ≤ 30 mg/L

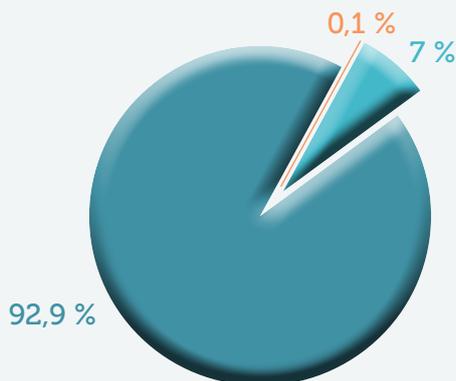
### Concentrations en MES

- [MES] > 85 mg/L
- 35 < [MES] ≤ 85 mg/L
- 10 < [MES] ≤ 35 mg/L
- 2 < [MES] ≤ 10 mg/L
- [MES] ≤ 2 mg/L

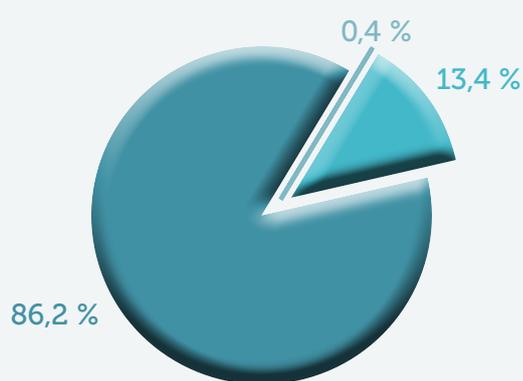
#### Bio-Réacteurs à Membranes

en %  
sur  
1584 valeurs  
mesurées  
en sortie  
de 11 BRM  
de 2014 à 2016

#### Performance sur DCO de 11 BRM [ 1584 valeurs ]



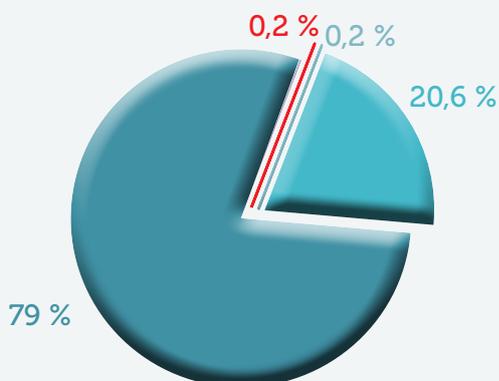
#### Performance sur MES de 11 BRM [ 1584 valeurs ]



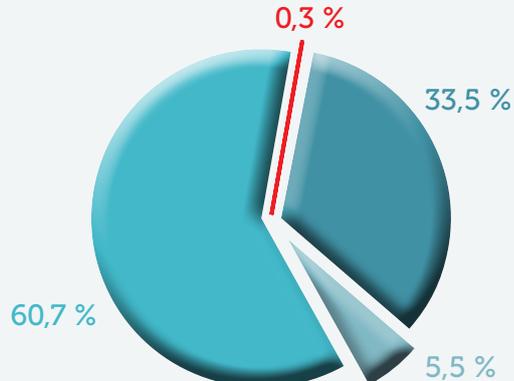
#### Boues Activées équipées d'un traitement complémentaire (tertiaire)

en %  
sur 567 valeurs  
mesurées en sortie  
de 6 BA + tertiaire  
de 2014 à 2016

#### Performance sur DCO de 6 Boues activées + tertiaires [ 567 valeurs ]



#### Performance sur MES de 6 Boues activées + tertiaires [ 567 valeurs ]



L'étude statistique de l'ensemble des valeurs collectées confirme les tendances mises en évidence sur les valeurs moyennes. Les BRM permettent d'obtenir une très bonne stabilité de la qualité des eaux filtrées. En effet :

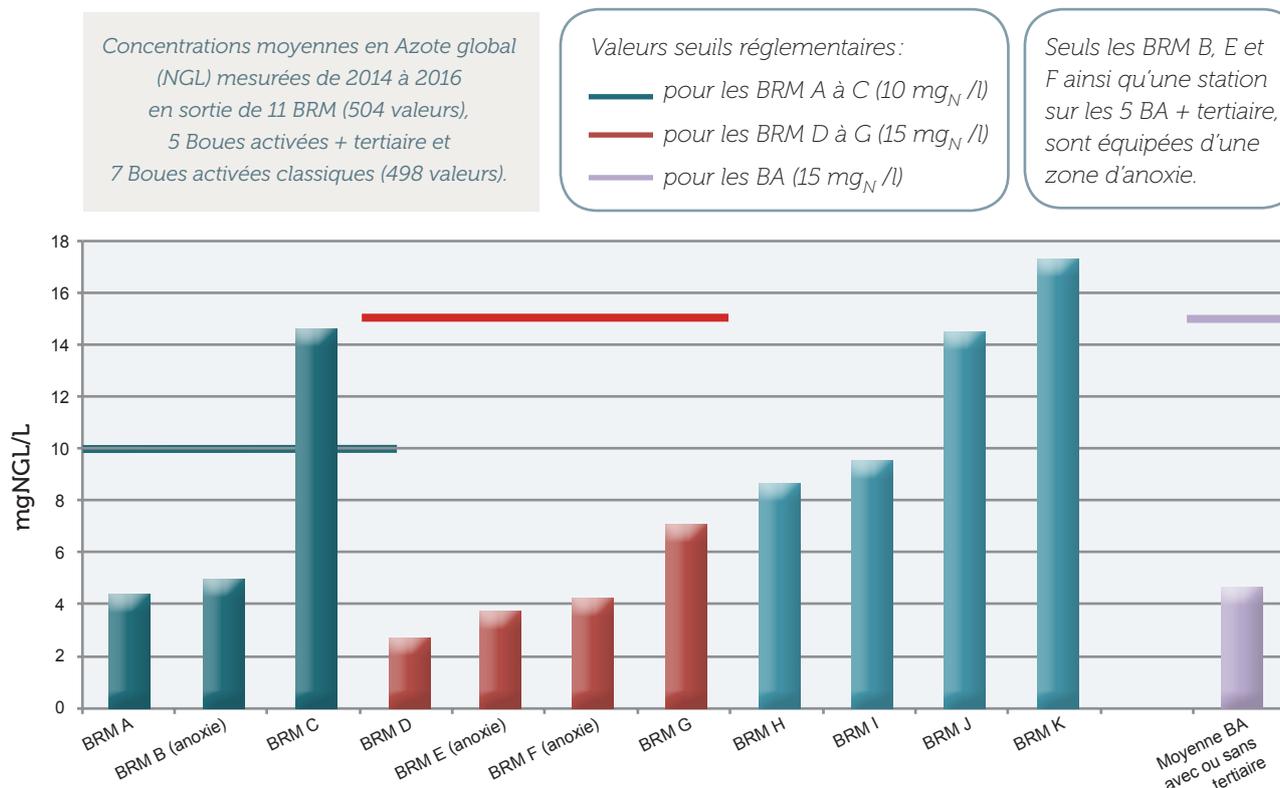
- pour la DCO : 92,9 % des concentrations mesurées étaient inférieures à 30 mg/l pour les BRM (79 % pour les boues activées équipées d'un tertiaire).
- pour les MES : 99,6 % inférieures à 10 mg/l pour les BRM (94,2 % pour les boues activées équipées d'un tertiaire) ;

Les dépassements des seuils réglementaires mesurés pour les paramètres DBO<sub>5</sub>, DCO et MES sont rares aussi bien pour les BRM que les BA équipées d'un traitement tertiaire puisque pour chaque paramètre, le nombre d'analyse non conforme ne dépasse pas 1 % des mesures étudiées ici.

Les deux procédés sont donc très fiables vis-à-vis de la qualité des eaux traitées.

## UN TRAITEMENT DE L'AZOTE EFFICACE ET COMPARABLE À CELUI DES BOUES ACTIVÉES

À niveaux de concentrations réglementaires égales ou plus sévères, les BRM traitent l'azote global de la même manière que les boues activées étudiées ici.



Les dépassements des seuils réglementaires respectifs restent faibles pour les 3 types de stations étudiées ici :

- pour les BRM : 7 dépassements (1,4 % des mesures). Ces dépassements ne concernent que 2 BRM sur 11 étudiés,
- pour les boues activées (BA) équipées d'un traitement tertiaire (BA + tertiaire) : 3 dépassements (1,5 % des mesures). Ces dépassements ne concernent qu'une station sur les 7 étudiées,
- pour les boues activées (BA) : 6 dépassements (2 % des mesures). Ces dépassements ne concernent que 3 BA sur 7 étudiées.

## POUR ALLER PLUS LOIN...

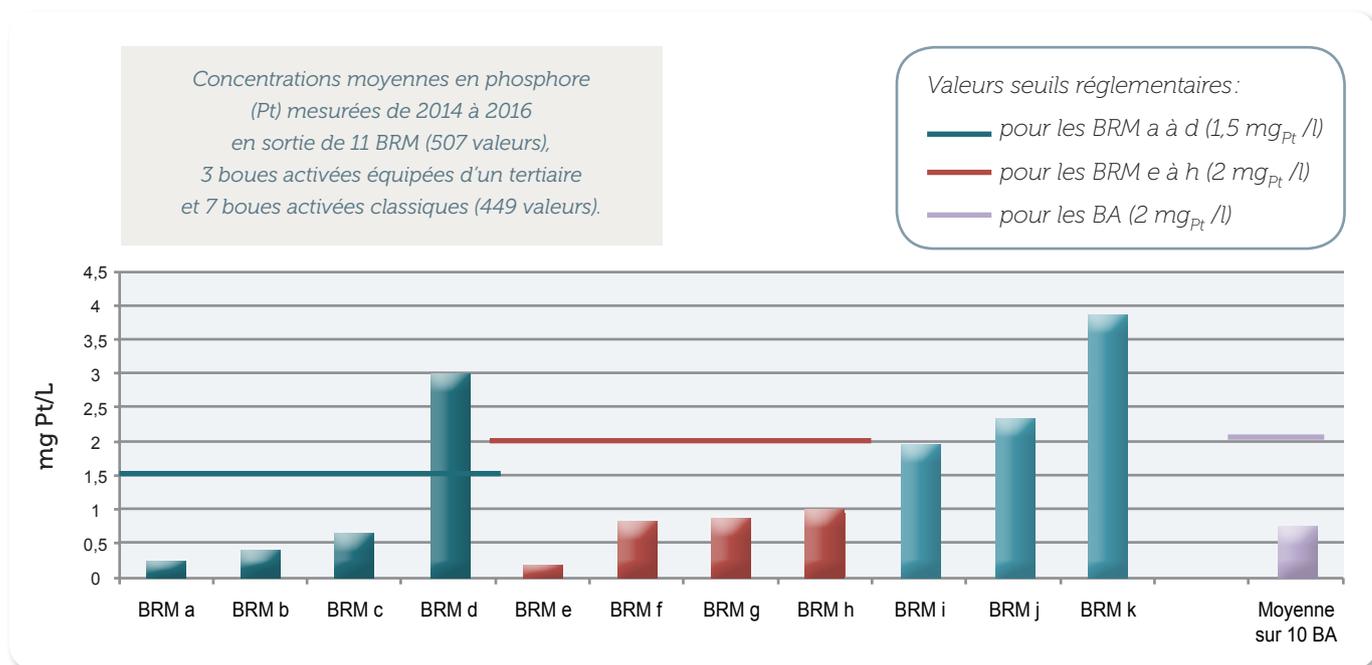
### Le traitement de l'azote

En l'absence de bassin dédié au développement d'un milieu anoxique, l'aération quasi permanente des membranes peut entraîner des difficultés pour assurer l'étape de dénitrification, transformant l'azote oxydé (essentiellement  $\text{NO}_3^-$ ) en azote gazeux ( $\text{N}_2$ ), et ainsi obtenir un traitement complet de l'azote. En effet, cette étape nécessite un milieu pauvre en oxygène, peu compatible avec l'aération des réacteurs à membranes et avec les fortes recirculations appliquées.

**Dans le cas où le traitement de l'azote global (NGL) est exigé par la réglementation, nous conseillons la mise en œuvre d'un bassin d'anoxie.**

## UN TRAITEMENT DU PHOSPHORE EFFICACE ET COMPARABLE À CELUI DES BOUES ACTIVÉES

À niveaux de concentrations réglementaires égales ou plus sévères, les BRM traitent légèrement mieux le phosphore que les boues activées étudiées ici.



À niveaux de rejet à respecter égaux ou plus sévères, les BRM traitent légèrement mieux le phosphore que les boues activées équipées d'un traitement tertiaire ou non. Là encore, les concentrations moyennes restent très proches pour les stations soumises à une contrainte sur le phosphore.

Ces concentrations traduisent **un très bon traitement de ce paramètre** ( $0,5 \text{ mg}_{\text{Pt}}/\text{l}$  pour les BRM ;  $0,7$  pour les boues activées avec ou sans tertiaire).

## POUR ALLER + LOIN

### Le traitement du phosphore

Lorsque la concentration en phosphore imposée en sortie est très contraignante ( $< 1,5 \text{ mg/L}$  par exemple), il sera utile de se doter d'un bassin anaérobie utilisé pour traiter le phosphore par voie biologique.

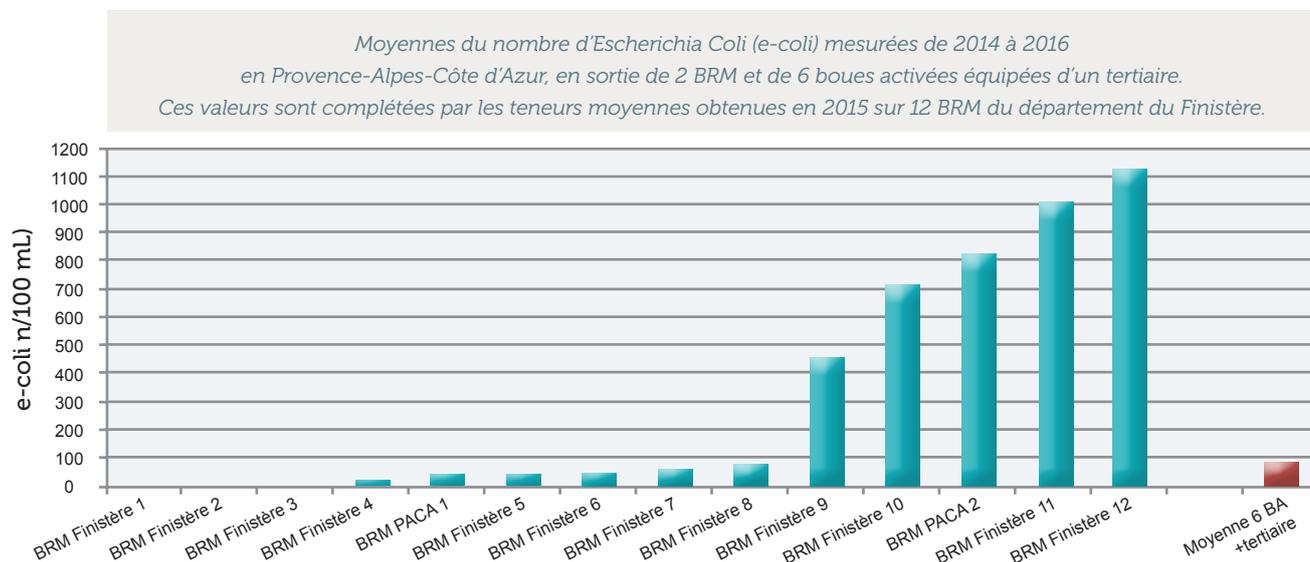
En effet, le chlorure ferrique utilisé pour le traitement physico-chimique du phosphore peut avoir un effet colmatant sur les membranes en cas de surdosage.

Même si l'étude statistique ne montre pas de corrélation directe entre la présence d'un bassin anaérobie et le nombre de déversements enregistrés, la présence d'un tel bassin reste un plus pour l'exploitation et permet de réduire les consommations de réactif.

## PERFORMANCES SUR L'ABATTEMENT DES GERMES REPRÉSENTATIFS D'UNE CONTAMINATION FÉCALE

Seulement 2 des 11 stations de Provence-Alpes-Côte d'Azur étudiées sont soumises à des exigences réglementaires sur la bactériologie.

Pour plus de représentativité, nous indiquons ici les moyennes des analyses réalisées en 2015 sur 12 BRM du Finistère. Ces données sont issues du service de l'eau et de l'assainissement du Département du Finistère.



Pour 9 BRM sur les 14 étudiés, la moyenne des analyses réalisées sur le paramètre e-coli était inférieure à 100 n/100 mL. C'était également le cas pour l'ensemble des boues activées équipées d'un traitement tertiaire étudiées ici.

À titre comparatif, la meilleure des qualités imposées par l'arrêté ministériel relatif à la Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT), doit respecter une teneur en e-coli inférieure à 250 n/100mL.

Pour les 5 BRM restant ayant des résultats corrects mais ne garantissant pas la qualité A de l'arrêté REUT, des problèmes d'intégrité des membranes sont sans doute à l'origine de fuites de pollution bactérienne. En effet, des casses de fibres ou déchirures de membranes peuvent survenir assez rapidement après la mise en service. Cela n'aura que peu de conséquences sur les paramètres classiquement mesurés en sortie de station d'épuration, mais peut avoir un impact sur la qualité bactériologique des eaux filtrées.

## POUR ALLER + LOIN

### La désinfection des eaux traitées

Pour garantir l'efficacité de la désinfection dans le temps, il est préférable d'ajouter une étape de traitement complémentaire (désinfection par lampes UV par exemple).

## POINT SUR L'ÉLIMINATION DES MICROPOLLUANTS

Une étude portant sur l'élimination des micropolluants par les BRM a été menée par l'Irstea et l'Université de Bordeaux à la demande et avec le soutien financier de l'Agence de l'Eau RMC.

L'étude conclut que sur les micropolluants mesurés, 43 ont été très bien éliminés de l'eau traitée. C'est le cas notamment pour une grande partie des métaux fréquemment mesurés en assainissement collectif mais également pour plusieurs HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et quelques médicaments et hormones.

A contrario, 26 micropolluants n'ont été que partiellement à faiblement éliminés.

L'étude a également comparé ces résultats à ceux obtenus dans le cadre du programme de recherche Armistiq, sur des boues activées classiques.

Il apparaît que les BRM ont obtenu de meilleurs rendements sur l'élimination de 22 micropolluants. Les gains de rendements restaient toutefois inférieurs à 20 %. Ces gains se mesurent essentiellement sur les substances hydrophobes adsorbées aux MES et s'expliquent donc par une meilleure rétention des MES par les BRM. Les substances piégées se retrouvent dans les boues d'épuration.

Pour 38 autres micropolluants, les performances des BRM ont été similaires à des boues activées classiques fonctionnant à charge organique équivalente.

## POUR ALLER + LOIN

### Le traitement des micropolluants

L'élimination des micropolluants des eaux traitées par les stations d'épuration se fait par 2 voies principales :

- l'adsorption des substances hydrophobes par les MES et leur transfert vers les boues d'épuration,
- la biodégradation se produisant au sein du bassin d'aération. Ce phénomène concerne également les substances dissoutes (hydrophiles).

**Pour diminuer les concentrations de sortie des micropolluants les plus réfractaires, l'étude précise qu'un traitement complémentaire spécifique reste indispensable, même pour des stations d'épuration équipées de membranes.**

*Référence du rapport final de l'étude portant sur l'élimination des micropolluants par les BRM :*

CHOUBERT, J.M., CRETOLLIER, C., LEJEUNE, A., DHERRET, L., LE MENACH, K., AUGAGNEUR, S., BUDZINSKI, H., DAVAL, A., BADOS, P., MIEGE, C., COQUERY, M. – 2016

*Élimination de micropolluants prioritaires et émergents des eaux résiduaires urbaines par les bioréacteurs à membranes (BRM) immergées.*

Rapport final de l'action 34. 105 p.

*Lien pour télécharger le rapport final :*

<http://cemadoc.irstea.fr/oa/PUB00048384-elimination-micropolluants-prioritaires-emergents.html>



## LIMITATION DU DÉBIT ACCEPTÉ PAR LA FILTRATION MEMBRANAIRE ET DÉVERSEMENTS D'EFFLUENTS VERS LE MILIEU RÉCÉPTEUR

Ces bonnes performances épuratoires globalement mesurées sont toutefois à tempérer par la prise en compte des charges polluantes déversées avant traitement complet par la station. Ces déversements ne sont pas intégrés lorsqu'on ne considère que les analyses réalisées sur l'eau traitée en sortie de station.

En effet, les stations d'épuration sont souvent équipées d'une surverse en amont des ouvrages qui permet d'évacuer les eaux usées brutes qui ne pourraient pas être prises en charge par la station. On parle dans ce cas de "déversements en tête" (point réglementaire A2).

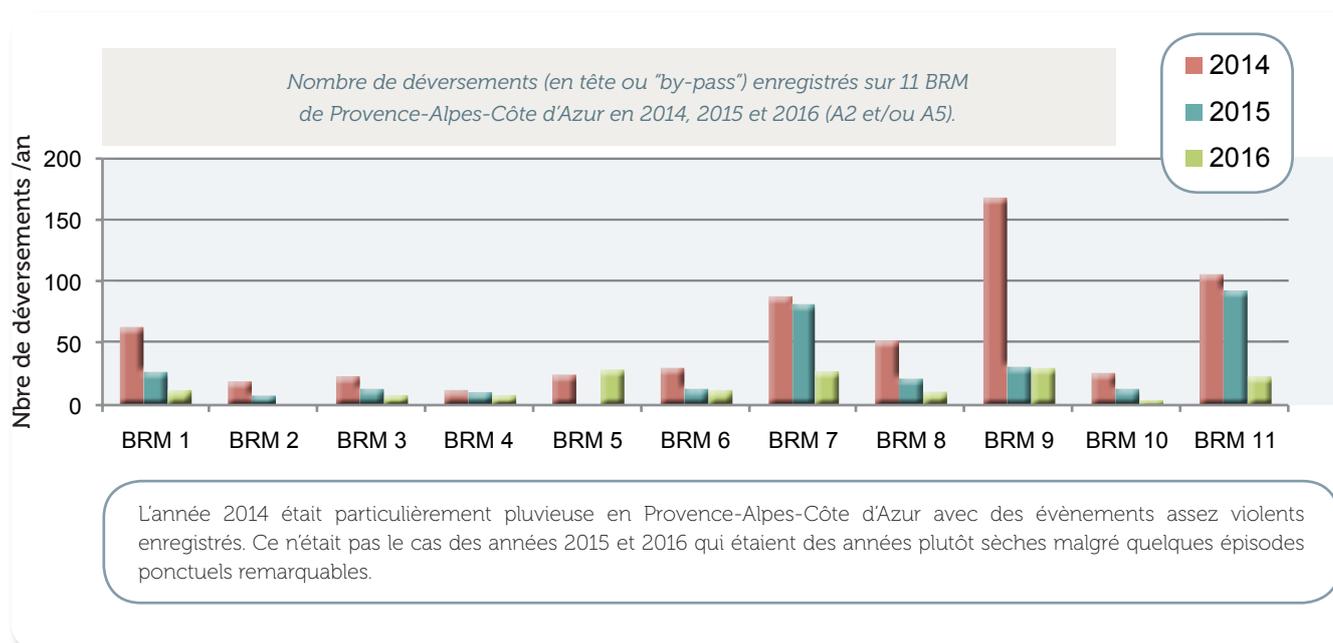
Des déversements peuvent également se produire en cours de traitement. On parle alors de by-pass (point réglementaire A5). Dans ce document, les termes "déversements" ou "by-pass" regrouperont ces 2 types de rejets (A2 + A5).

Ces types de déversements peuvent se produire :

- lorsque la capacité hydraulique de la station est dépassée. Ce peut être le cas notamment par temps de pluie, lorsque les réseaux d'assainissement reçoivent des eaux de pluie de manière non maîtrisée ;
- lors d'un dysfonctionnement au sein de la station ou en période de maintenance (avec l'accord des services de police de l'eau), ou dans le cas des BRM, lorsque les surfaces de membranes installées et leur état de colmatage ne permettent plus d'accepter la totalité du débit à traiter.

La plupart du temps, un bassin d'orage est aménagé en entrée de BRM afin de retenir temporairement les volumes d'effluents qui ne pourraient pas être filtrés pour une raison ou une autre. Toutefois, l'efficacité de ces dispositifs est limitée par leur volume d'une part, et par le fait que les effluents stockés devront être renvoyés par la suite dans la station pour y être traités et filtrés. Pour cela, il faudra que les membranes soient à nouveau en mesure de les prendre en charge.

Pour juger de l'acceptation hydraulique des BRM, nous avons analysé les données d'autosurveillance relatives aux déversements déclarés par les exploitants (A2 et/ou A5).



Sur les mêmes périodes, il apparaît que la filtration membranaire a provoqué d'avantage de déversements vers le milieu récepteur que les stations à boues activées classiques. **Une moyenne de 31 déversements par station et par an a été enregistrée pour les BRM, contre 14 pour les boues activées sur la même période** (échantillons de 11 BRM et 19 BA sur la période 2014-2016).

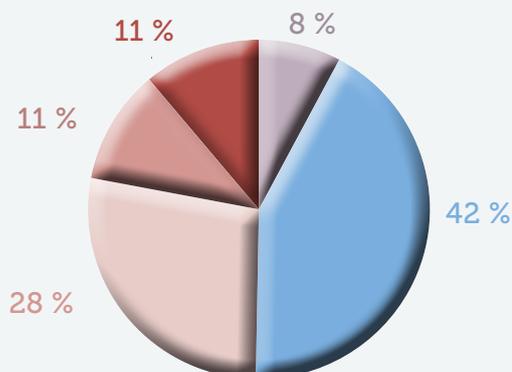
Pour les BRM, il apparaît que les déversements ne sont pas toujours en lien direct avec des dépassements de la capacité hydraulique de la station.

Répartition des déversements  
en fonction des charges hydrauliques parvenant à la station  
les jours de déversements (A2 et/ou A5) :  
comparaison BRM / Boues activées.

### Bio-Réacteurs à Membranes

à partir des  
déversements  
enregistrés  
sur 11 BRM  
de 2014 à 2016

#### Occurrences des déversements des BRM en fonction de la charge hydraulique apportée par le réseau



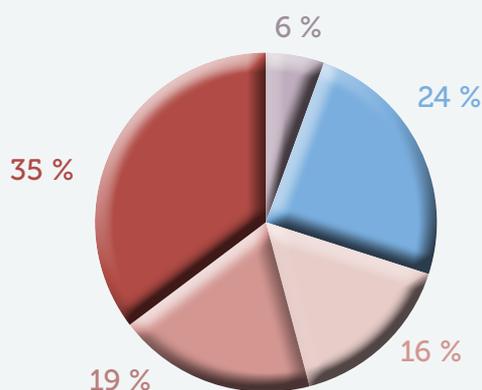
#### Classes des charges hydrauliques apportées par le réseau les jours de déversements

- 0 - 49 %  
du débit maximal
- 50 - 99 %  
du débit maximal
- 100 - 149 %  
du débit maximal
- 150 - 199 %  
du débit maximal
- > 200 %  
du débit maximal

### Boues Activées

à partir des  
déversements  
enregistrés  
sur 19 BA  
de 2014 à 2016

#### Nombre de déversements des BA en fonction de la charge hydraulique apportée par le réseau



Pour les BRM, la moitié des déversements se sont produits alors que la capacité nominale de la station n'était pas atteinte. Cette proportion tombe à 30 % pour les boues activées.

Ce constat s'explique en partie par la possibilité de solliciter ponctuellement les membranes afin d'accepter momentanément un débit plus important. Néanmoins par la suite, la sollicitation sera réduite de manière automatique pour limiter les risques de colmatage et d'usure prématurée. Ainsi, une surcharge hydraulique ponctuelle pourra provoquer des déversements a posteriori laissant supposer au premier abord, une déconnexion entre surcharge et déversement.

Malgré tout, les BRM étudiés ici ont reçu en moyenne des charges hydrauliques moins importantes que les boues activées et les dépassements des capacités nominales des BRM étaient moins nombreux.

En conclusion, il apparaît donc que **les surcharges hydrauliques ne sont pas toujours la cause majeure des déversements enregistrés sur les BRM de Provence-Alpes-Côte d'Azur.**

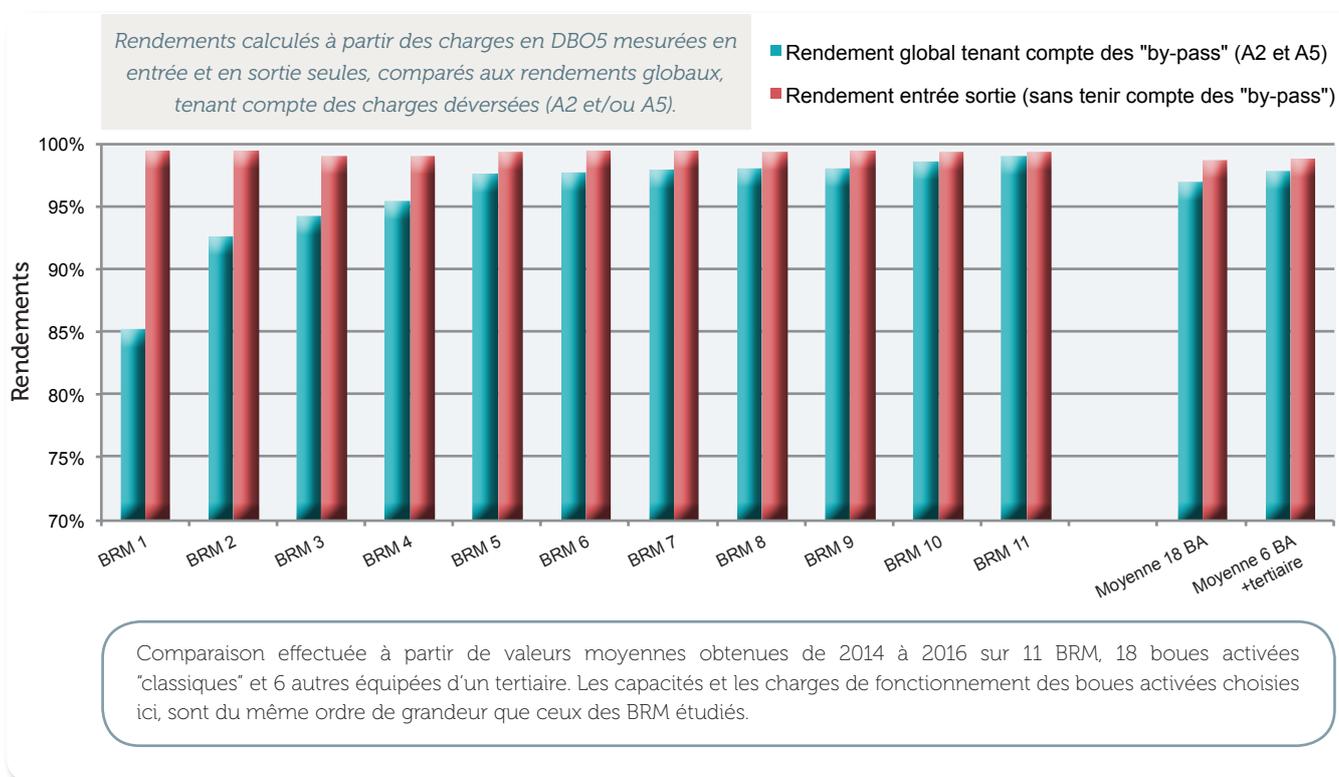
Cela tend à confirmer que **les BRM sont plus sensibles que les boues activées à de multiples paramètres difficilement maîtrisables en assainissement collectif** (qualité et quantités des effluents reçus, température des effluents, ...).

L'analyse statistique des résultats d'autosurveillance seule ne permet pas de faire ressortir clairement l'impact d'un paramètre en particulier. En effet, nous n'avons pas constaté de corrélation directe entre les nombres de déversements enregistrés et :

- les types de membranes (planes ou fibres),
- le diamètre des pores des membranes,
- le volume du bassin d'orage disponible sur la station,
- la charge hydraulique moyenne reçue par la station,
- les surfaces de membranes installées.

Il s'agit sans doute d'une somme de paramètres liés à la sensibilité intrinsèque des membranes et la finesse de la filtration. Cette sensibilité aura toutefois plus ou moins de conséquences en fonction de la conception initiale de la station et de son exploitation (surfaces de membranes installées, configuration de la station et équipements à disposition, expérience de l'exploitant, ...).

### RENDEMENTS ÉPURATOIRES EN TENANT COMPTE DES CHARGES REJETÉES AVANT TRAITEMENT COMPLET PAR LA STATION



Ce graphique montre bien l'écart qu'il peut exister entre les rendements calculés avec ou sans les rejets d'effluents non – ou partiellement – traités.

En tenant compte de ces rejets, les rendements obtenus par les boues activées classiques deviennent supérieurs à 4 des 11 BRM étudiés. Lorsqu'un traitement tertiaire est ajouté à une station d'épuration, seuls 2 BRM sur 11 obtiennent des rendements significativement supérieurs (98,6 % et 99 % contre 97,8 % pour la moyenne des 6 BA+tertiaire).

Cependant, il est à noter que les BRM présentent moins de risques de départs de MES que les stations plus classiques, même équipées d'un traitement tertiaire, ce qui peut constituer une sécurité vis-à-vis du milieu récepteur.

Ce point est tout de même à tempérer, notamment par le suivi que l'ARPE réalise par ailleurs sur l'impact des stations d'épuration sur leur milieu récepteur. Il apparaît que les départs massifs de MES en sortie d'un clarificateur restent peu fréquents et ne concernent que quelques installations généralement vétustes. Le risque devient quasiment nul lorsque les stations sont équipées d'un traitement tertiaire. Une manière de réduire encore les risques de pertes diffuses ou massives de MES est la mise en œuvre de déversoirs en tête bien calibrés, adaptés au dimensionnement du clarificateur.

# POUR ALLER + LOIN

## Éléments de dimensionnement des membranes

Le dimensionnement des surfaces de membranes à mettre en œuvre se base essentiellement sur la charge hydraulique à traiter.

### Notions de flux de filtration pour dimensionner les surfaces de membranes à mettre en œuvre :

- **Flux de filtration brut** : il s'agit du débit instantané traversant 1 m<sup>2</sup> de membrane (en L.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> aussi noté LMH).
- **Flux de filtration net** : c'est le débit réel qu'un m<sup>2</sup> de membrane est capable de filtrer (en LMH). Il tient compte de l'utilisation d'une partie des eaux filtrées pour les lavages routiniers (fibres) et des temps où la membrane ne filtre pas (relaxation, dégazages, ...). C'est ce flux qui devra être utilisé pour déterminer la surface de membrane à installer.

### Quelques propositions pour optimiser le dimensionnement des membranes :

- avoir une bonne connaissance des quantités des effluents parvenant à la station et maîtriser la stabilité de leur qualité,
- dimensionner les surfaces de membranes à partir des flux nets calculés à la température d'effluent la plus défavorable,
- faire des simulations sur des périodes assez longues (mensuelles, par exemple) pour connaître les volumes maximaux filtrés par les membranes en tenant compte des durées de sollicitations maximales recommandées par les fournisseurs de membranes ("crédit de temps"),
- appliquer des taux de boues dans les bassins biologiques inférieurs à 7-8 g<sub>MES</sub>/L (pour réduire les consommations d'oxygène) et à 8-9 g<sub>MES</sub>/L dans les bassins membranaires (pour ne pas nuire à la filtration).

### Pour limiter encore les déversements et leur impact potentiel :

- mettre en œuvre systématiquement un bassin d'orage correctement dimensionné (le Conseil Départemental du Finistère impose un temps de séjour supérieur à 3 h au débit de pointe horaire par temps de pluie),
- surdimensionner les prétraitements pour ne déverser que des effluents prétraités, le cas échéant,
- étudier la possibilité d'ajouter un dispositif de traitement en ligne prenant en charge les effluents déversés (type FPR pluvial). Un tel ouvrage peut être imaginé en lieu et place d'un bassin d'orage ou en complément de ce dernier.

	FIBRES CREUSES	PLAQUES
Compacité	Plus forte	Moindre
	Les fibres sont disposées plus densément dans un bassin de volume plus réduit	
Proportion des volumes de bassin membranaire en Provence-Alpes-Côte d'Azur	Entre 3 et 13 % du volume des bassins biologiques	Entre 11 et 68 % du volume des bassins biologiques
Aspiration du perméat	Par pompage	Par dépression gravitaire
Aération des membranes* (air décolmatage)	10 à 20 % des apports d'oxygène*	50 % des apports d'oxygène*
	25 % de l'énergie consommée par la station*	37 % de l'énergie consommée par la station*
Décolmatages routiniers	Par pompage (rétro-lavage régulier et lavages chimiques de maintenance) ou arrêt de la filtration, aération en continu (relaxation)	Par mise à l'arrêt de la filtration avec maintien de l'aération (relaxation)
Consommation d'énergie	équivalente	
Rapport flux net/flux brut	60 % à 85 %**	>70 % à 85 %
Gamme de flux brut à 20 °C ou flux instantané (dépend des fournisseurs et de la série des membranes)	15 à 30 LMH (L.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )*	
	Flux critique = 40 à 45 LMH****	Flux critique = 39 LMH***
Exploitation	Les fibres offrent plus de possibilités d'agir, mais demandent un peu plus de technicité et d'entretien d'équipements	

\* données Irstea \*\* donnée Puron \*\*\* donnée Kubota \*\*\*\* donnée GTM/Memcor

# L'exploitation des BRM de Provence-Alpes-Côte d'Azur: retours d'expériences

## Notions élémentaires d'exploitation des membranes

En fonctionnement routinier, les membranes alternent entre des cycles courts de filtration et de décolmatage.

Durant les phases de filtration, les eaux traitées traversent les membranes qui trempent dans un bassin spécifique rempli de boues activées. Ce bassin est connecté aux bassins biologiques soit physiquement, soit par le biais d'une recirculation importante des boues. La filtration se fait de l'extérieur vers l'intérieure des membranes où l'eau filtrée est récupérée. Pour éviter qu'une couche de boues ne s'accumule sur leur surface externe, les membranes sont aérées en permanence par un système de bullage grossier disposé sous les modules membranaires.

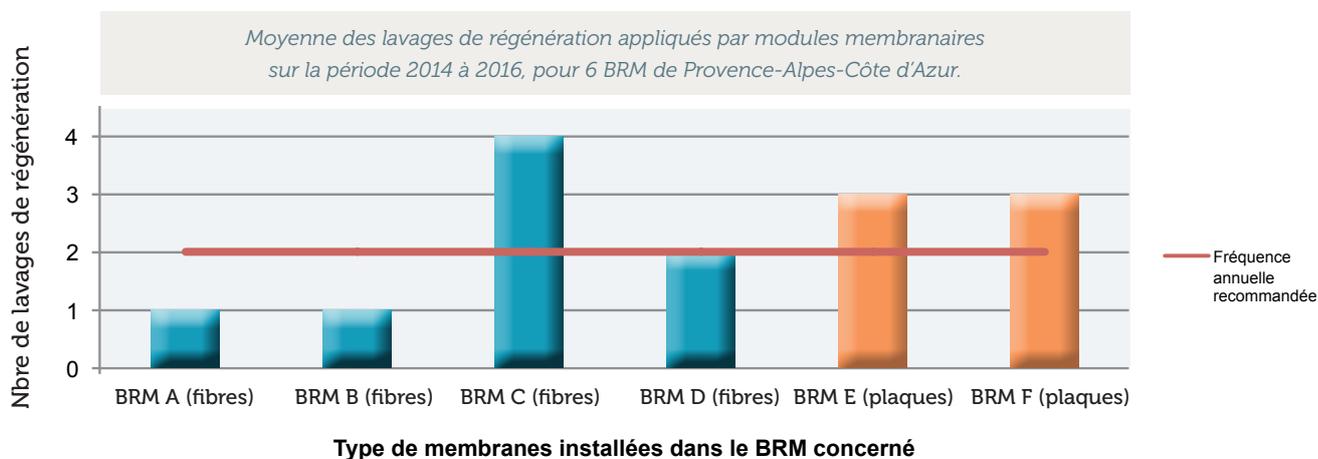
Les phases de décolmatage sont réalisées différemment pour les membranes plaques ou fibres :

- pour les plaques, la filtration est mise à l'arrêt régulièrement. Pendant cette mise au repos, l'aération est maintenue. On parle alors de **RELAXATION**.
- pour les fibres, de l'eau traitée est envoyée sous pression à contre-courant (généralement à 150 % du flux brut maxi). On parle de **RÉTRO-LAVAGE**. Dans l'attente d'un rétro-lavage, une file de filtration peut être mise également en état de **RELAXATION**. Des **LAVAGES DE MAINTENANCE** sont réalisés une à plusieurs fois par semaine. Il s'agit de rétro-lavage avec injection de réactifs acide et/ou basique.

Ces décolmatages réguliers ne suffisent pas à éliminer le colmatage plus profond qui se forme avec le temps. Ce colmatage provoque une perte progressive de perméabilité des membranes. Afin de récupérer des perméabilités permettant des débits de filtration suffisants, il faut un à plusieurs lavages chimiques dits de **RÉGÉNÉRATION** par an.

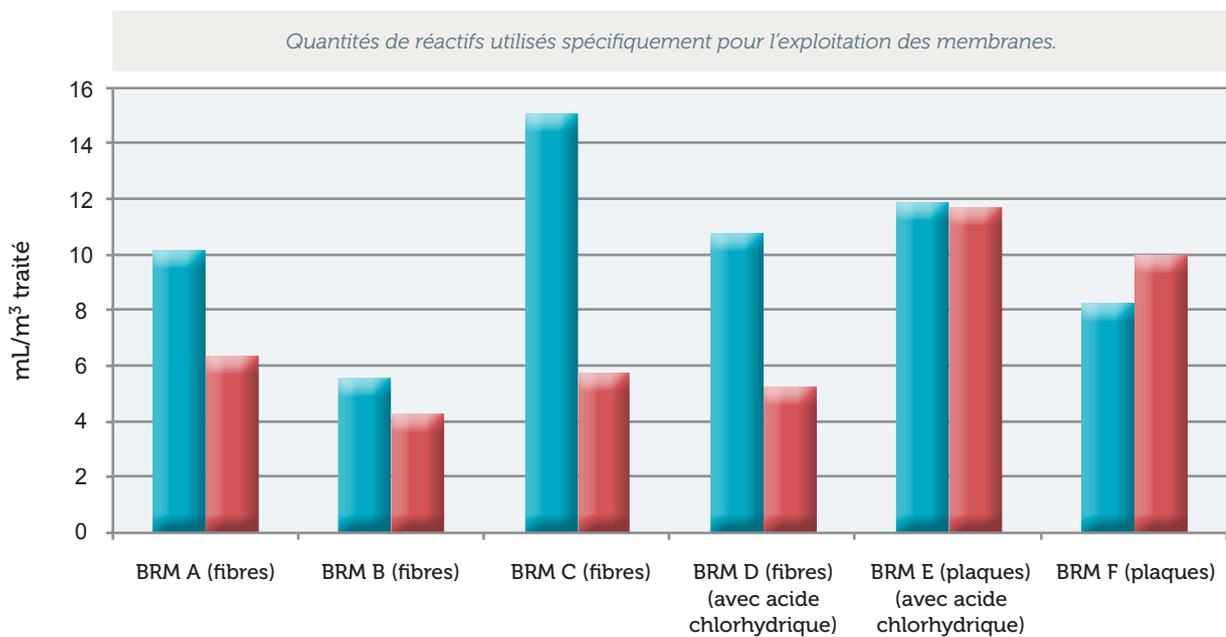
## Colmatage et consommations de réactifs spécifiques

Les constructeurs recommandent généralement d'effectuer 1 à 2 lavages chimiques de régénération par an. De manière assez générale, le nombre de lavages annuels est plus important les premières années suivant la mise en route. Par la suite, des ajustements dans les réglages d'exploitation ou sur les équipements en place permettent parfois de revenir à des fréquences de lavages plus proches des préconisations constructeurs.



En éliminant 2 cas extrêmes et en compilant les données collectées, le nombre annuel moyen de lavages par module membranaire reste supérieur aux 2 lavages annuels préconisés.

Les lavages de régénération et les lavages de maintenance pour les membranes fibres nécessitent des quantités non négligeables de réactifs.



**Les types de réactifs utilisés sont :**

- Réactif oxydant visant à tuer et dégrader la matière organique qui s'accumule dans les pores des membranes. L'oxydant employé est la javel (hypochlorite de sodium) en solution commerciale (JAVEL 50).
- Réactif acide visant à dégrader les précipités de carbonates (colmatage minéral). Généralement, il s'agit d'acide citrique en solution concentrée à 50 %. 2 des stations suivies, utilisent de l'acide chlorhydrique.

■ Javel (ml/m³ traité)  
■ Acide (ml/m³ traité)

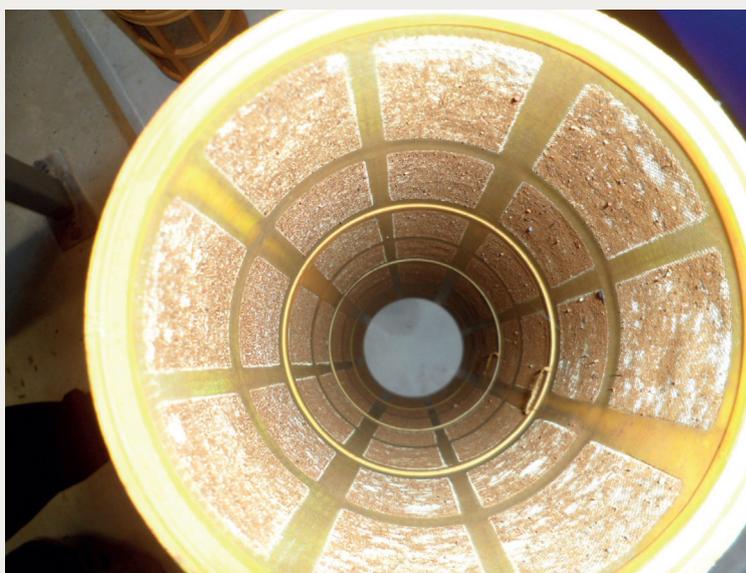
## POUR ALLER + LOIN

### Le colmatage des membranes

Le colmatage profond est très dépendant des conditions de fonctionnement. Il se produira plus ou moins rapidement en fonction de plusieurs facteurs :

- l'efficacité des phases de décolmatage en fonctionnement routinier,
- l'efficacité des lavages chimiques de régénération précédents,
- la sollicitation des membranes, c'est-à-dire les débits traversiers (flux bruts) qui leur sont appliqués. Ces débits sont directement liés aux surfaces de filtration installées et aux charges hydrauliques à traiter,
- la présence de filasse dans les bassins membranaires : le tamisage doit être suffisamment fin ( $\leq 1$  mm) et ne doit pas pouvoir être by-passé,
- la présence dans le bassin d'aération de substances polymériques extracellulaire relarguées par la biomasse épuratrice suite à un stress bactérien qui peut avoir différentes origines (apports de pollutions non domestiques ponctuels, mauvaise aération, ...),
- une surconsommation ou un ajout non adéquat de réactifs potentiellement colmatants pour les membranes ou entraînant une baisse de la filtrabilité de la boue :
  - **réactif de la file eau** : sur plusieurs des stations étudiées, il a été constaté un effet colmatant se produisant lorsque la quantité de chlorure ferrique injecté pour traiter le phosphore est excessive,
  - **réactif de la file boues** : un retour vers la file eau de polymère utilisé en excès pour flocculer les boues avant leur déshydratation est susceptible de modifier la filtrabilité de la boue. Ces effets, démontrés en laboratoire, sont variables en fonction de la nature du polymère et des quantités se retrouvant dans le bassin d'aération. Nos observations de terrain réalisées dans le cadre de cette étude n'ont pas pu mettre en évidence ce phénomène.

*Précipités d'oxydes de fer retrouvés dans les filtres disposés sur la conduite d'aspiration du perméat (eau traitée).*



*Pour en savoir plus sur le colmatage des membranes, télécharger la présentation de Christelle WISNIEWSKI (Université de Montpellier) : [http://www.arpe-paca.org/files/20141204\\_2ChristelleWisniewskiUniversitMontpellier.pdf](http://www.arpe-paca.org/files/20141204_2ChristelleWisniewskiUniversitMontpellier.pdf)*

## Longévité des membranes actuellement observée

Les constructeurs et la littérature annoncent généralement des durées de vie de membranes comprises entre 7 et 10 ans en fonction des conditions d'exploitation.

Ces données sont assez cohérentes avec ce qui est observé sur le terrain, puisque :

- quatre BRM ont déjà fait l'objet de remplacements de modules membranaires en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les durées de vie effectives des modules étaient comprises entre 2 et 9 ans, avec une moyenne de 5,5 ans par module. Cette moyenne passe à 6,5 ans si nous tenons compte de 4 autres remplacements de membranes pratiqués hors Provence-Alpes-Côte d'Azur (Finistère essentiellement).
- les autres stations de Provence-Alpes-Côte d'Azur pour lesquelles aucun remplacement n'a été effectué, fonctionnent quant à elles depuis 4 à 10 ans.

Les garanties constructeurs sont généralement intégrales sur quelques années puis dégressives dans le temps.

**Les conditions de ces garanties pourront faire partie des critères à prendre en compte dans l'analyse des offres, dans le cadre d'un marché public.** En effet, le remplacement des membranes représente un coût loin d'être négligeable (cf. p.23).

## Traitement biologique : conditions de fonctionnement

### TAUX DE BOUES APPLIQUÉES DANS LES BRM DE PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

La filtration membranaire permet de travailler à des concentrations en boues plus élevées. Toutefois, pour ne pas trop impacter la bonne filtrabilité du mélange eau/boues, les exploitants maintiennent généralement des taux de boues plus bas que ceux indiqués par les constructeurs.

Cela permet également de réduire la demande en oxygène dans les bassins d'aération, ce qui diminue d'autant les consommations d'énergie.

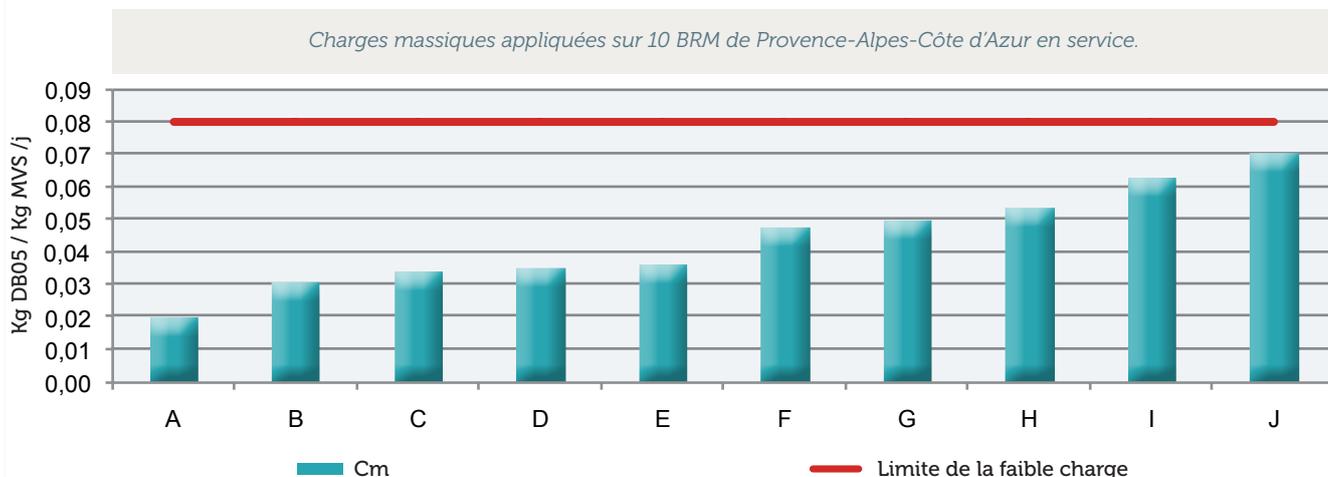


	Plages de concentrations appliquées par les exploitants (lorsque la charge organique à traiter le permet)	Plages de concentrations généralement recommandées par les constructeurs
Dans les bassins biologiques*	4 à 6 g <sub>MS</sub> /L	< 10 g <sub>MS</sub> /L
Dans les bassins à membranes*	5 à 9 g <sub>MS</sub> /L	7 à 14 g <sub>MS</sub> /L

\* malgré des recirculations importantes entre les bassins biologiques et à membranes, les boues sont concentrées dans les bassins membranaires du fait de l'aspiration et de l'évacuation de l'eau traitée.

## CHARGES MASSIQUES CORRESPONDANTES

La majorité des BRM étudiés recevant une charge à traiter inférieure à 50 % de leur capacité nominale, les charges massiques appliquées restent faibles à très faibles. Cela permet une épuration optimale de la pollution dissoute.



## REMARQUE SUR LA PRODUCTION DE BOUES DES BRM

Aux vues des incertitudes liées à l'estimation des boues produites et des âges de boues réellement maintenues dans les bassins, les productions de boues déclarées sur les BRM de PACA sont comparables à celles des filières classiques à boues activées.

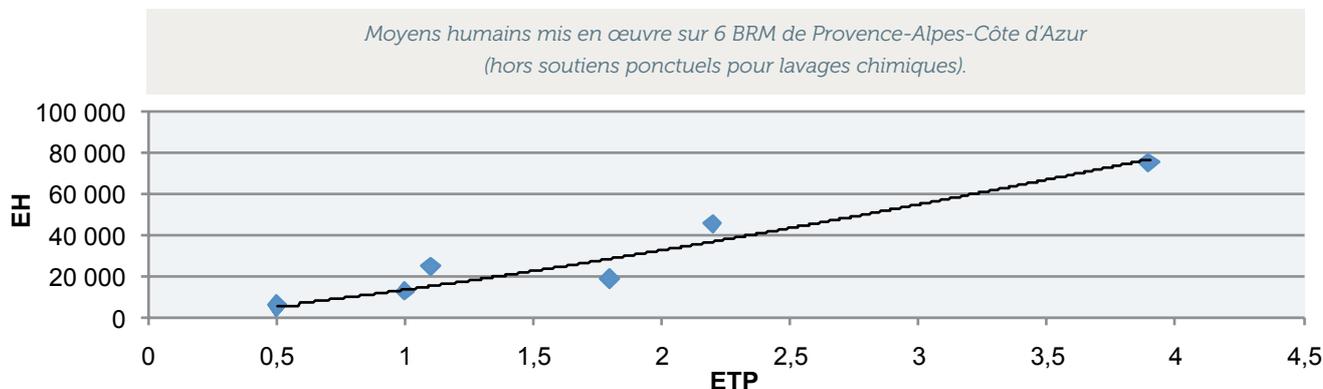
## Éléments pour mieux appréhender les coûts d'exploitation

### BESOINS EN MAIN-D'ŒUVRE

La mise en œuvre de membranes nécessite l'installation de plus d'équipements que les procédés plus classiques.

Cela implique de disposer à la fois d'une main-d'œuvre qualifiée et d'opérateurs assurant l'entretien courant des différents équipements.

Par ailleurs, les lavages chimiques de régénération représentent des opérations relativement lourdes et délicates (manipulations de réactifs chimiques, ...) qui nécessitent un soutien en personnel pendant plusieurs jours, plusieurs fois par an.



## CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

Plusieurs des spécificités propres à la filtration membranaire provoquent des consommations électriques importantes. Il s'agit notamment :

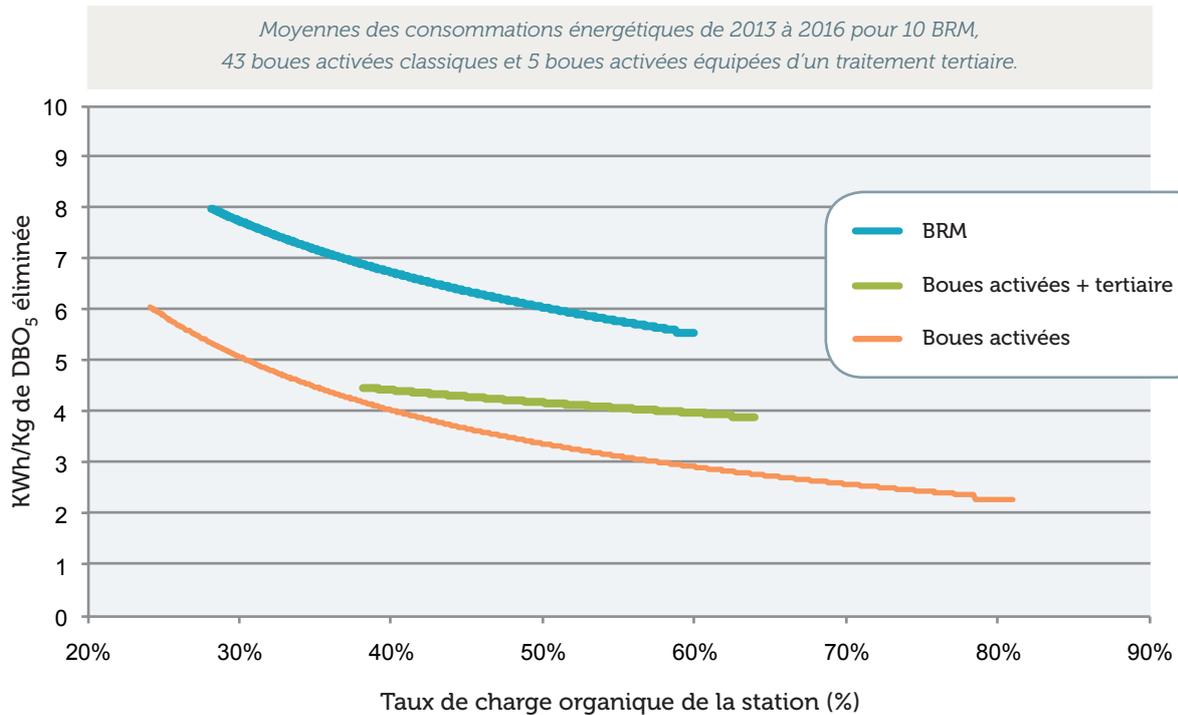
- de l'aération quasi permanente des membranes (air membrane),
- de la forte recirculation des boues du bassin membranaire vers les bassins biologiques (4 à 6 fois plus qu'avec un clarificateur),
- du surplus d'aération dû aux concentrations en boues élevées dans les bassins biologiques (air process),
- de l'aspiration de l'eau traitée (perméat) et du rétrolavage des membranes par pompage (uniquement pour les membranes "fibres").



La comparaison des consommations électriques des procédés met en avant des surconsommations importantes dues à la filtration membranaire :

- de l'ordre de 1,7 fois par rapport aux stations de type boues activées classiques,
  - de l'ordre de 1,4 fois par rapport aux boues activées équipées d'un traitement tertiaire performant.

Nous n'avons pas observé de différences significatives entre les consommations des BRM à fibres ou à plaques.



## RENOUVELLEMENT DES MEMBRANES

Le renouvellement des équipements en général constitue une part importante des coûts d'exploitation. Dans le cas des BRM, les équipements à renouveler sont plus importants et le renouvellement des membranes constitue la dépense la plus importante.

Les durées de vie données par les fournisseurs et observées sur sites montrent qu'un renouvellement des membranes doit être prévu 2 à 4 fois durant la vie de la station. Nous ne disposons que de peu d'éléments de coûts, mais sur certains sites, un renouvellement hors garantie engendrait une dépense proche de 10 % du coût total initial de la station.

## POUR ALLER + LOIN

### L'exploitation

#### Quelques paramètres clés utilisés pour l'exploitation de membranes :

- **PTM (Pression Trans Membranaire)**: il s'agit de la différence de pression entre l'extérieure de la membrane et la sortie de l'eau filtrée. C'est cette dépression qui permet le passage de l'eau au travers de la membrane.
- **Perméabilité**: c'est le flux brut instantané divisé par la PTM ( $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot Bar^{-1}$  – plus couramment noté : LMH/Bar). Le suivi de cette valeur corrigée à 20 °C permet de rendre compte de l'état de colmatage de la membrane et donc de déclencher un lavage en cas de perméabilité trop basse.
- **Filtrabilité des boues**: se détermine à partir de la mesure du temps qu'il faut pour filtrer un certain volume de boues activées au travers d'un papier filtre. Une dépression par pompe à vide peut être appliquée en fonction des tests retenus.

#### Quelques propositions pour optimiser et faciliter l'exploitation :

- suivi graphique des perméabilités à 20 °C calculées pour chaque module, afin de déclencher des lavages de régénération de manière ciblée et en temps voulu. Ceci permet aussi de vérifier l'efficacité des lavages, c'est-à-dire la bonne récupération des perméabilités. Cela suppose de disposer d'une mesure de pression et de débit par conduite de récupération du perméat de chaque module.
- contrôle de la filtrabilité de la boue 2 fois/semaine pour identifier l'origine biologique éventuelle d'un problème de filtration.
- suivi en continu d'indicateurs signalant la présence d'effluents non domestiques dans les eaux brutes (conductivités, bio-indicateurs, détection par absorbance corrélée à une estimation de la DCO, analyses de la DCO par microméthodes de l'eau interstitielle 2 fois/semaine, ...).
- contrôle de l'intégrité des membranes à chaque lavage de régénération (test à l'air). Des contrôles en continu de l'intégrité sont possibles par mesure sur le perméat (turbidité par exemple) ou par mesures acoustiques (technique en développement). Des déclenchements trop fréquents du dégazage automatique des conduites de perméat peuvent être révélateurs d'un défaut d'intégrité.
- disposer d'un système d'injection de réactif fiable (pompes péristaltiques plutôt que pompe à membranes, diamètre du tuyau d'aspiration de la javel ni trop gros pour éviter la cavitation, ni trop réduit pour limiter les risques de bouchage par cristallisation, ...).



# Synthèse des avantages et inconvénients

Cette étude et nos échanges avec différents acteurs permettent de dresser une liste d'avantages et d'inconvénients liés à la filtration membranaire utilisée en assainissement :

## Avantages

- Traitement poussé de la pollution carbonée (DCO, DBO5), des Matières en Suspension (MES) et de l'Azote Kjeldhal (NTK).
- Désinfection efficace mais devant être sécurisée par un traitement UV en cas de niveau d'exigence élevée.
- Compacité des ouvrages.
- Très peu de risque de départ massif de boues vers le milieu récepteur.
- Extension relativement aisée par ajout de modules (emplacements et dimensionnement à prévoir au préalable).

## Inconvénients

- Déversements dans le milieu d'effluents bruts ou partiellement traités plus fréquents qu'une filière plus classique.
- Fortes consommations énergétiques.
- Sensibilité des membranes aux :
  - fortes variations de débits liées à l'intrusion d'eaux claires dans le réseau d'assainissement,
  - apports d'effluents non domestiques non maîtrisés provoquant un colmatage biologique,
  - baisses de température des effluents (chute de la perméabilité avec la température).
- Durée de vie des membranes limitée et susceptible d'être impactée par :
  - de nombreux polluants non domestiques,
  - de l'abrasion,
  - des lavages chimiques trop fréquents.
- Exploitation fine et contraignante.
- Coût d'exploitation élevé.
- Difficultés à traiter efficacement l'azote global (NGL) suivant les configurations.
- Plus-value environnementale discutable (à établir par une Analyse du Cycle de Vie\*).



\* ACV: prise en compte des impacts environnementaux d'un produit, de sa conception à son élimination ou valorisation.

# Préconisations générales de mise en œuvre

Les Bio-Réacteurs à Membranes constituent un procédé d'épuration performant mais sensible aux variations extérieures et coûteux à exploiter.

Leur mise en œuvre doit selon nous, être réservée à certains cas particuliers réunissant au moins 2 des 3 conditions suivantes :

- Nécessité d'un traitement particulièrement poussé sur les paramètres DCO et MES,
- Désinfection avancée, imposée sur la totalité du débit d'eaux traitées,
- Problématique de foncier.

À l'inverse, nous déconseillons leur emploi dès qu'une des contraintes suivantes devient trop prégnante :

- Réseaux de collecte unitaire (pluvial + eaux usées) ou séparatif subissant des intrusions importantes d'eaux claires (permanentes ou non),
- Apport d'effluents non domestiques non maîtrisé dans le réseau d'assainissement. Suivant les quantités et la nature des polluants apportés, la biomasse épuratrice de la station peut en pâtir et sécréter des substances colmatantes pour les membranes. Les membranes peuvent être également directement endommagées par certains polluants,
- Climats froids ou température des effluents susceptible d'être trop basse ( $< 10-12^{\circ}\text{C}$ ),
- Traitement du phosphore poussé ( $< 1,5 \text{ mg/L}$  par exemple) en l'absence de bassin d'anaérobie.



# Les Bio-Réacteurs à Membranes (BRM) en Provence-Alpes-Côte d'Azur

## Une technologie performante mais exigeante



### INFORMATIONS PRATIQUES

Annelise FREIHAUT, Coordinatrice de l'Unité "Assainissement et Milieux Aquatiques"

Gilles MALAMAIRE, Mission "Évaluation de Techniques Innovantes"

04 42 90 90 81 / g.malamaire@arpe-paca.org

Partenaire :



arpe-paca.org



Agence régionale pour l'environnement et l'écodéveloppement Provence-Alpes-Côte d'Azur (ARPE PACA) - CS 10452 - 13591 Aix-en-Provence Cedex 3  
Mireille BENEDETTI, Présidente • Directeur de la publication : Claude HOLYST, Directeur • Réalisation : ARPE PACA - unité Information & communication  
Rédaction : ARPE PACA - Assainissement & milieux aquatiques  
Document imprimé sur papier recyclé 100 %, écolabellisé, sans chlore • Azoé • Imprimerie Vallière labellisée Imprim'Vert

Décembre 2017

L'ARPE, un syndicat mixte



Région  
Provence  
Alpes  
Côte d'Azur