



Montpellier Sup Agro-INRA
UMR-MISTEA

Influence des paramètres biotiques et abiotiques sur le colmatage d'une membrane dans un BRMAN: synthèse bibliographique et Etude du mode de colmatage

Rencontre TREASURE

Tunis 23-26 Novembre 2010

Présenté par: Amine CHARFI

Encadré par: Nihel BEN AMAR
Jérôme Harmand

PLAN

➤ Influence des paramètres biotiques et abiotiques sur le colmatage (synthèse bibliographique)

➤ Etude du mode de colmatage dans BRMAN (Bioréacteur à Membrane Anaérobie)

Et établissement d'un lien entre le mode de colmatage et les paramètres biotiques et abiotiques

Les micro-organismes

Dans un bioréacteur anaérobie la communauté microbienne est très complexe (bactéries hydrolitiques, acidogènes méthanogènes etc...)

Les bactéries de taille de 0,1-15 μm sont totalement retenues par les membrane MF($\geq 0,1\mu\text{m}$) et UF(0,01-0,1 μm)

- Ces micro-organismes présentent des propriétés hydrophobes (*Nomura et al. 2007*)

=> Ces micro-organismes vont adhérer aux membranes à surface hydrophobe

Les produits microbiens solubles (SMP)

Definition

Les SMP peuvent être des protéines , des polysaccharides, acides humiques et fulviques, des acides organiques etc...

(*Jiang et al.2008*) définissent les SMP comme des colloïdes et des solutés de taille inférieure à 0,45µm.

Les SMP sont produits par l'hydrolyse des substances polymérique extracellulaire (EPS liés) et sont produits également en tant que produits secondaires de la croissance des micro-organismes (*Laspidou et Rittmann, 2002*)

Propriétés

Les SMP sont souvent considérés comme étant responsables du colmatage dans un BRMAN (*Aquino et al. 2006*)

Les SMP produits dans un BRMAN thermophiles (55°C) sont beaucoup plus importants que ceux produits dans BRMAN mésophile (35°C) (*Lin et al. 2009*),

La concentration des SMP dans un BRMAN dépend du mode de filtration, en effet pour une filtration tangentielle, la concentration des SMP augmente avec la vitesse tangentielle (*Ho et Sung, 2009*).

Les substances polymérique extracellulaire liés (EPS)

Definition

Les EPS liés peuvent être des protéines, des polysaccharides, acides nucléiques, lipides, acides humiques etc...

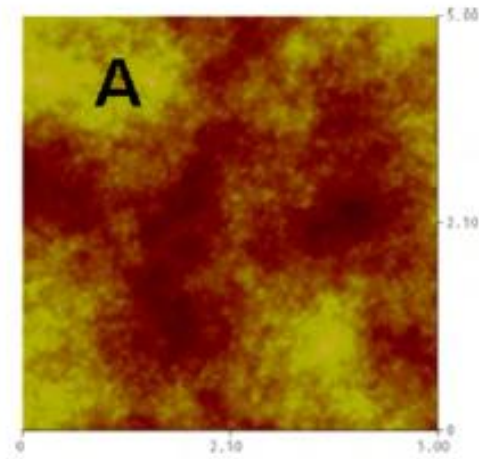
Ils sont produits à la surface des micro-organismes

Propriétés

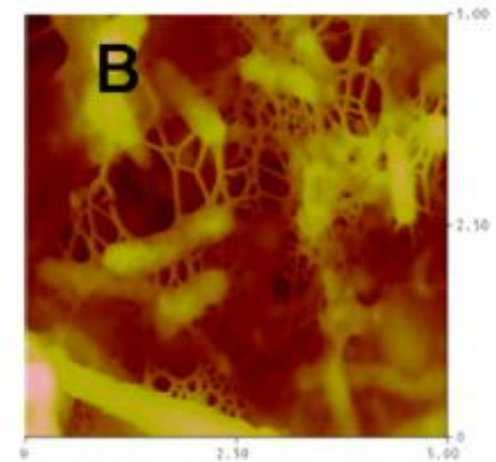
Selon certaines études, les EPS liées sont considérés comme des colmatants majeurs (*Cho et Fane, 2002*). La formation des EPS stabilise le biofilm et le protège des cycles de lavage (*He et al. 2005*).

Le rapport Protéines /Polysaccharides est plus influent sur le colmatage que la quantité totale des EPS Liées (*Lee et al. 2003*).

Les protéines présentent plus d'affinité avec les floccs de boue que les polysaccharides (*Massé et al. 2006*). Ainsi une boue où les EPS liées se présentent sous forme de protéines plutôt que de polysaccharides, a un caractère collant ce qui favorise le développement d'un gâteau.



Surface d'une membrane cPVDF propre
(Gao, 2010)



Surface d'une membrane cPVDF colmatée
Micro-organismes + PES (Gao, 2010)

La température du BRMAN

- thermophile (entre 40 et 70°C avec une température optimale de 55°C)
 - mésophile (entre 25 et 40°C avec une température optimale de 35°C)

 - Dans un BRMAN mésophile: une seule population de taille variant de 10 à 100µm

 - Pour un BRMAN thermophile la boue est formée de deux populations d'agrégats : une première dispersée d'une taille de 1-15µm et une deuxième population de macro-flocs dont la taille varie entre 60 et 200µm (*Lin et al. 2009*).
- => Les particules à faibles taille vont être entraînés plus vite vers la membranes (*Choo et Lee 1998*).
- =>La réduction de la taille des particules engendre une structure d'agrégats plus compact et plus dense (*Massé et al. 2006*).
- A haute température, la production d'EPS et de SMP est plus importante (*Visvanathan et al. 2007 ; Lin et al. 2009*).

La concentration en matière en suspensions (MES)

- Plus le BRMAN est concentré en MES plus le colmatage est rapide
- $MES \leq 10g/L$: constriction de pores suivi de formation d'un gâteau
- $MES > 25g/L$: formation de gâteau (Ho et Sung 2009)

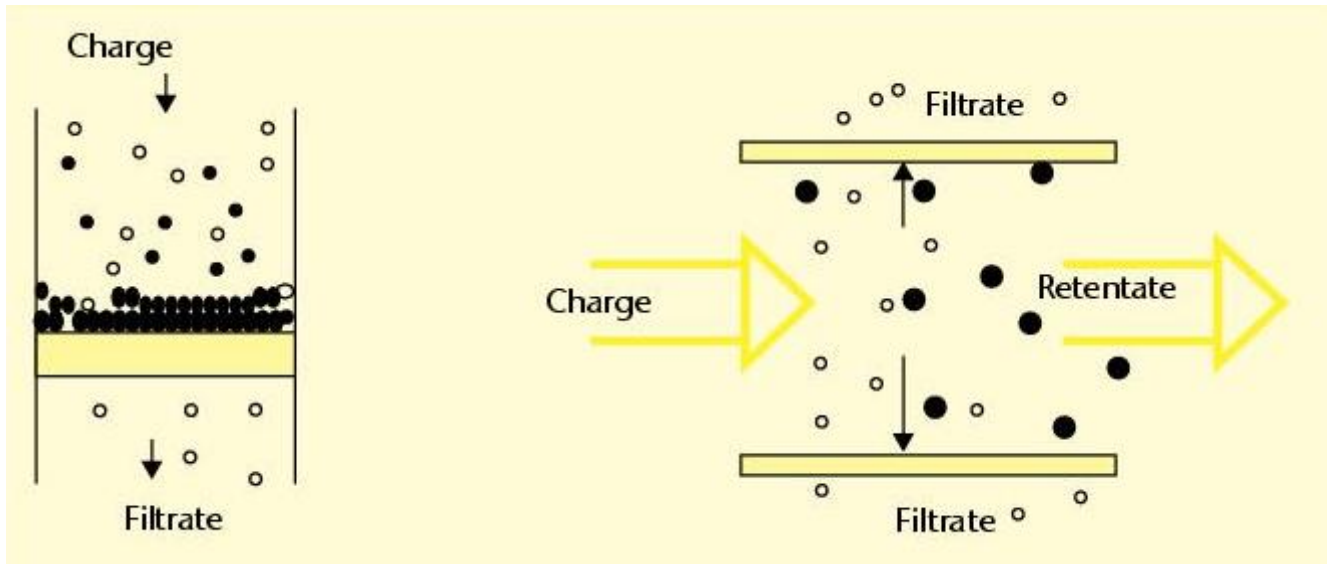
Le temps de séjour de la boue (TSB)

- Un faible TSB empêchera l'hydrolyse de la matière organique, d'où le colmatage rapide de la membrane (*Trzcinski et Stuckey 2010 ; Nghiem et al. 2006*).
- A faible TSB la concentration en EPS liés est importante=> gros floccs de biomasse
- cette quantité diminue en augmentant le TSB (*Massé et al. 2006*).
- Un TSB très long (>50jours) => une augmentation de la viscosité de la boue => une chute importante du flux de perméat (*He et al. 2005*).

Les propriétés de la membrane

- matériau de fabrication,
 - seuil de coupure,
 - rugosité
 - hydrophobicité
- Une membrane inorganique ayant une surface lisse, résiste plus au colmatage qu'une membrane organique de nature fibreuse et rugueuse et permettant à la biomasse de mieux s'accrocher (*Kang et al. 2002*).
- Pour une membrane organique, la rugosité augmente avec le seuil de coupure (*He et al. 2005*)
- Une membrane hydrophobe favorisera l'adhésion des micro-organismes

Mode de filtration



Filtration frontale

Filtration tangentielle

- La filtration frontale favorise plus le colmatage
- La filtration tangentielle, empêche les particules retenues de se déposer, réduit la taille des particules, favorise la production d'SMP

Le but

- Déterminer le mode de colmatage responsable de la chute du flux dans un BRMAN à membrane MF et UF
- Trouver une liaison entre ce mode de colmatage et les différents paramètres biotiques et abiotiques influant sur le colmatage

Modèle de (Hermia, 1982) décrit 4 modes de colmatages (eq. 1)

$$\frac{dJ}{dt} = -k J(A J)^{2-m} \quad (\text{eq. 1})$$

J: le flux de permeat

A: la surface de la membrane

m est une constante qui dépend du mode de colmatage :

m=3/2 pour le blocage standard (constriction des pores),

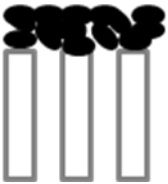
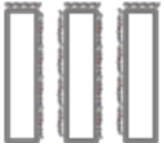
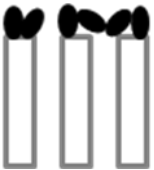

m=2 pour le blocage complet,

m=1 pour le blocage intermédiaire (blocage partiel),

m=0 pour la formation de gâteau.

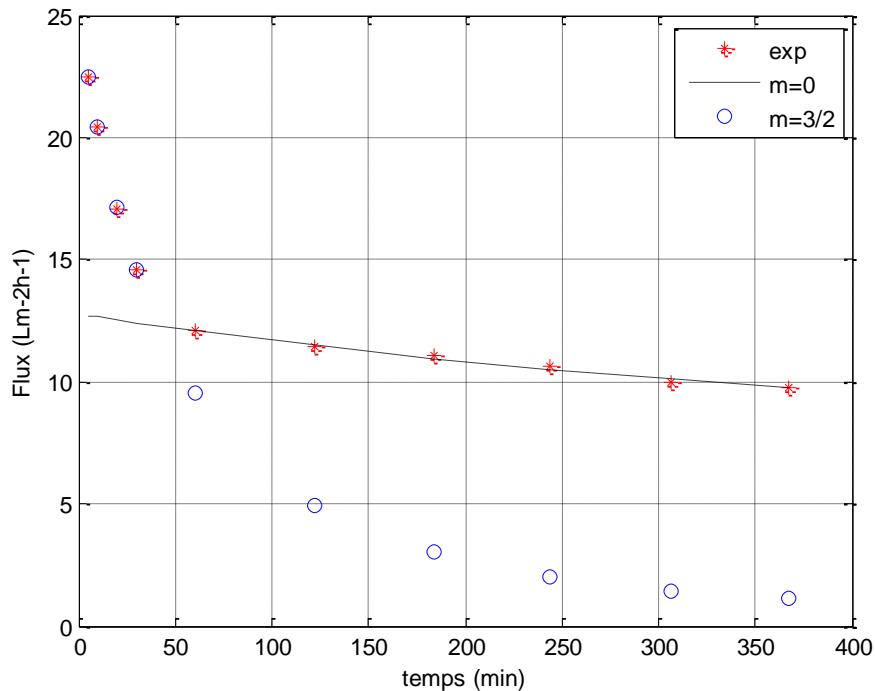
Etude du mode de colmatage

Tableau 1: Expression du flux pour les modes de colmatage.

	Mode de colmatage	Expression du flux
	Formation de gâteau (m=0)	$J = \frac{J_0}{(2 K t J_0^2 + 1)^{\frac{1}{2}}}$ <p>avec $K=kA^2$</p>
	Blocage standard (m=3/2)	$J = \frac{4J_0}{\left(Kt J_0^{\frac{1}{2}} + 2\right)^2}$ <p>avec $K= kA^{1/2}$</p>
	Blocage intermédiaire (m=1)	$J = \frac{J_0}{KtJ_0+1}$ <p>avec $K=kA$</p>
	Blocage complet (m=2)	$J = J_0 \exp(-kt)$

Résultats

Membrane MF ($\geq 0,1\mu\text{m}$)



Effluent: l'eau usée municipale
MES=2g/L

=> 1^{er} phase: constriction des pores

Err=0%

$m=3/2$; $K=0.0041 \pm 0.0000$

=> 2^{ème} phase: formation de gâteau

Err= 4%

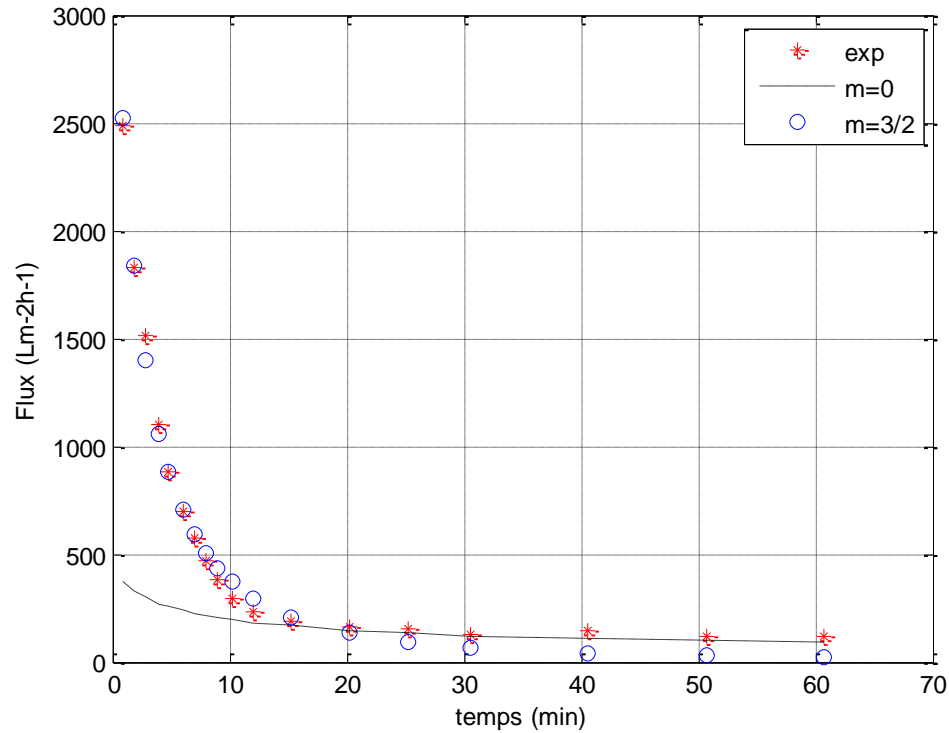
$m=0$; $K=0.5900 \text{ e-}005 \pm 0.0240 \text{ e-}005$

=> Une filtration tangentielle favorise:

- la production des SMP (*Ho et Sung 2009*)
- réduction de la taille des particules

Mode de colmatage d'une membrane MF en polytetrafluoroéthylène en mode tangential à 25°C
(Ho, 2009)

Etude du mode de colmatage



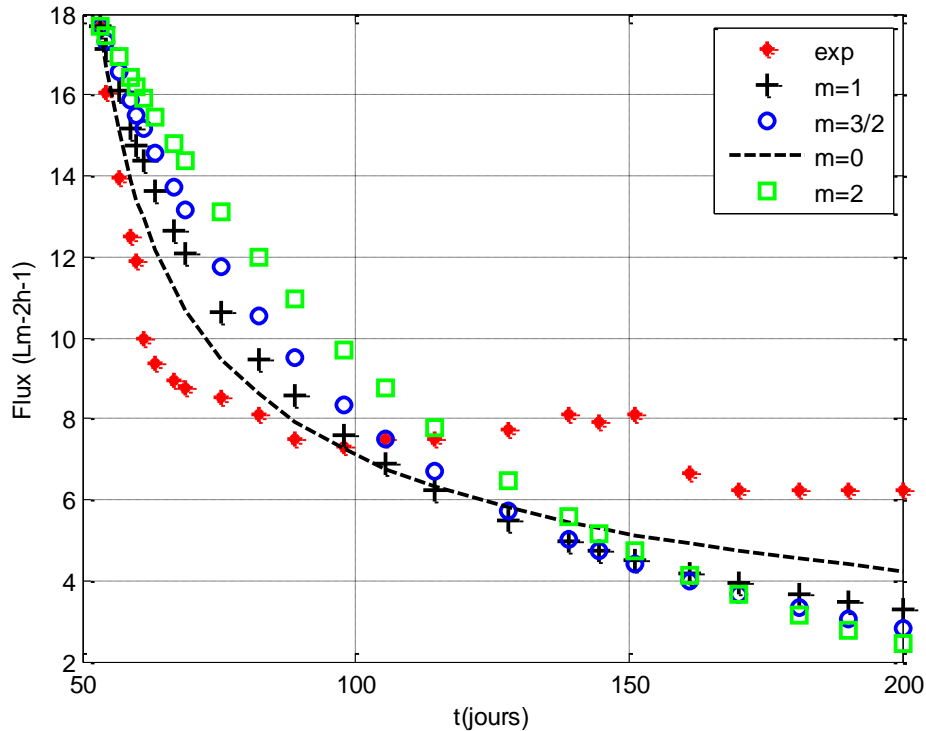
Effluent: eau usée municipale
MES=1,5 g/L

1^{ère} phase : constriction des pores
 $m = 3/2$; $K = 0.0068 \pm 0,0004$
Err=5.88%

2^{ème} phase : formation de gâteau
 $m = 0$; $K = 1.0 \text{ e-}006 \pm 0.3458 \text{ e-}006$
Err=34%

Mode de colmatage d'une membrane MF en
acétate de cellulose en mode tangentiel à 35°C
(Kocadagistan, 2007)

Etude du mode de colmatage



Mode de colmatage d'une membrane MF inorganique en mode tangentiel à 55°C (Jeison 2009)

Effluent: 40% gelatine, 40% starch et 20% ethanol

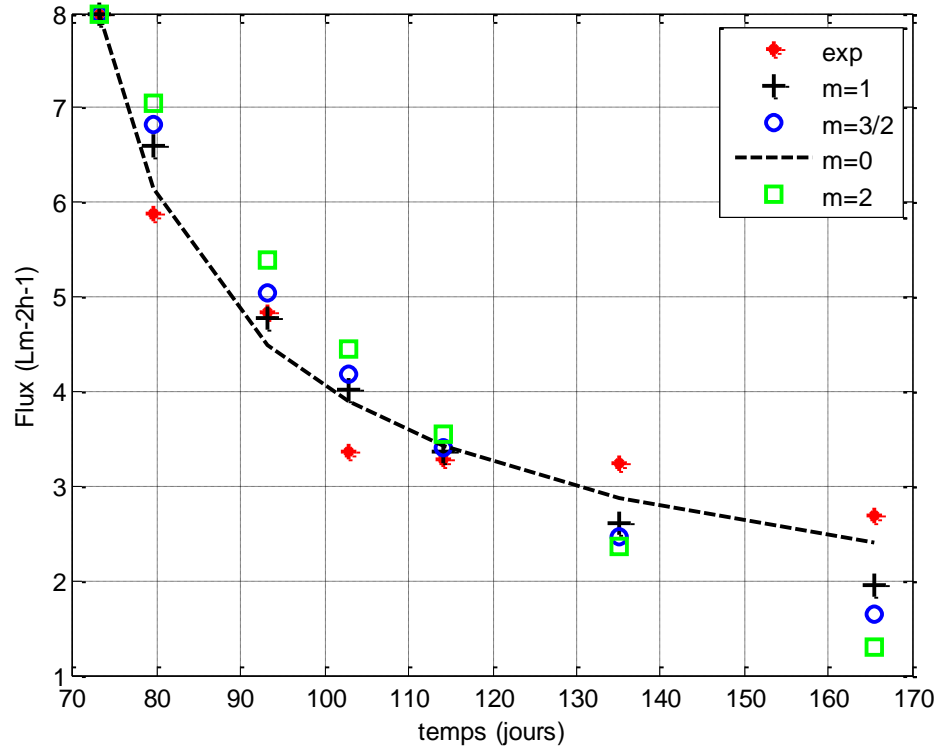
$m=0=K=0.1785 \text{ e-}003 \pm 0.0497 \text{ e-}003$
Err=27%

⇒ **Formation de gâteau**

⇒ BRMAN concentré en MES (41gMES/l) favorise la formation du gâteau

⇒ A 55°C, la production d'SMP et de EPS est importante, elle aide à la formation de gâteau

Etude du mode de colmatage



Effluent: lixiviat de déchets municipaux solides
MES=3,31g/L

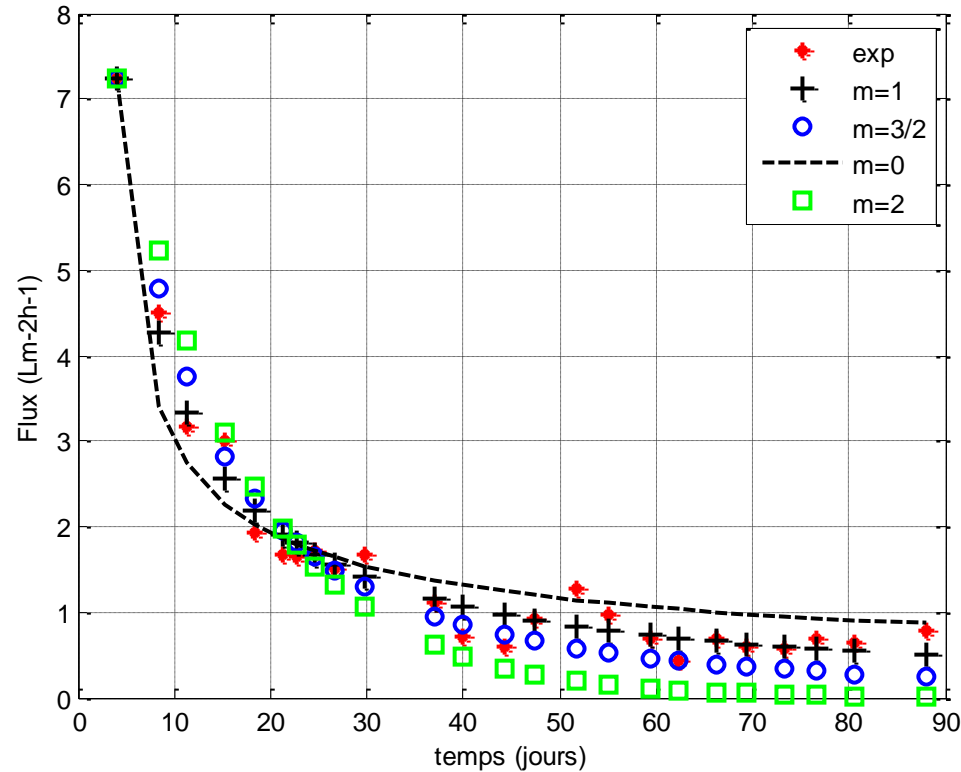
m=0; $K=0.8548 \text{ e-}003 \pm 0.1749 \text{ e-}003$
ERR=20%

⇒ **Formation de gâteau**

⇒ La filtration frontale favorise l'accumulation des particules à la surface de la membrane.

Mode de colmatage d'une membrane MF en polyéthylène, mode frontal à 35°C (Trzcinski 2009)

Etude du mode de colmatage



Mode de colmatage d'une membrane MF en polyethylene, mode frontal à 35°C
(Trzcinski 2010)

Effluent: lixiviat de déchets municipaux solides
TSB=30jours

$m=1$; $K=0.0222 \pm 0.0019$
ERR=8%

⇒ **Blocage intermédiaire**

⇒ A faible TSB la concentration en EPS liés est importante, la floculation est par suite importante.

Les gros floes sont responsables du colmatage partiel

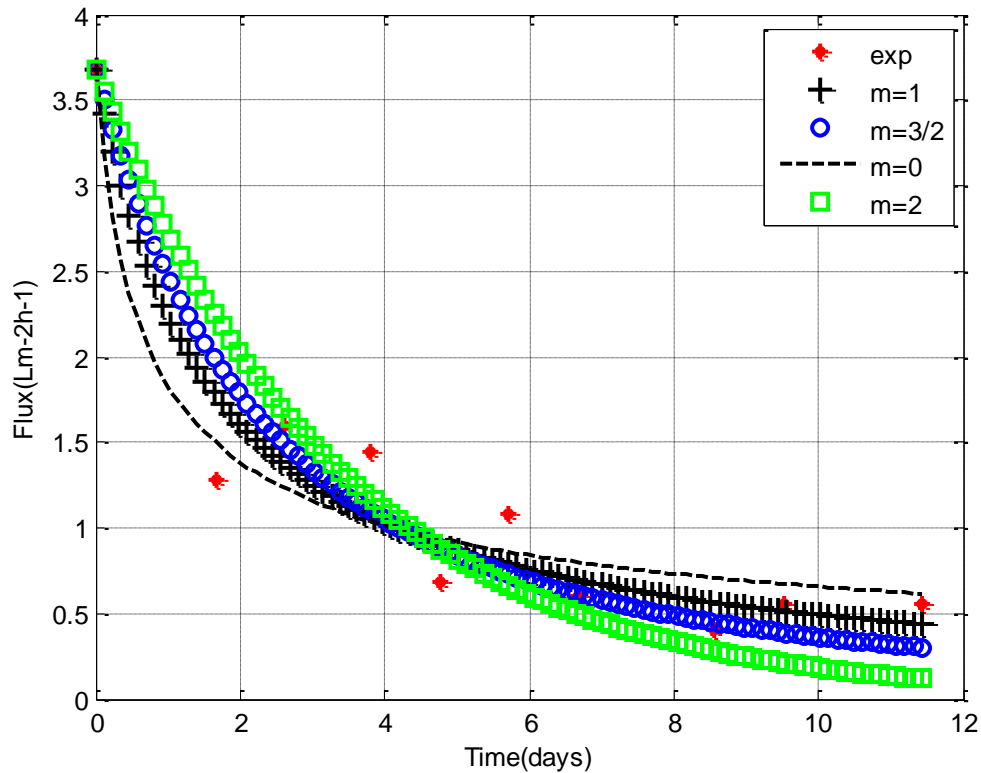


Figure 6: mode de colmatage d'une membrane MF en polyethylene, mode frontal à 20°C (Trzcinski 2010)

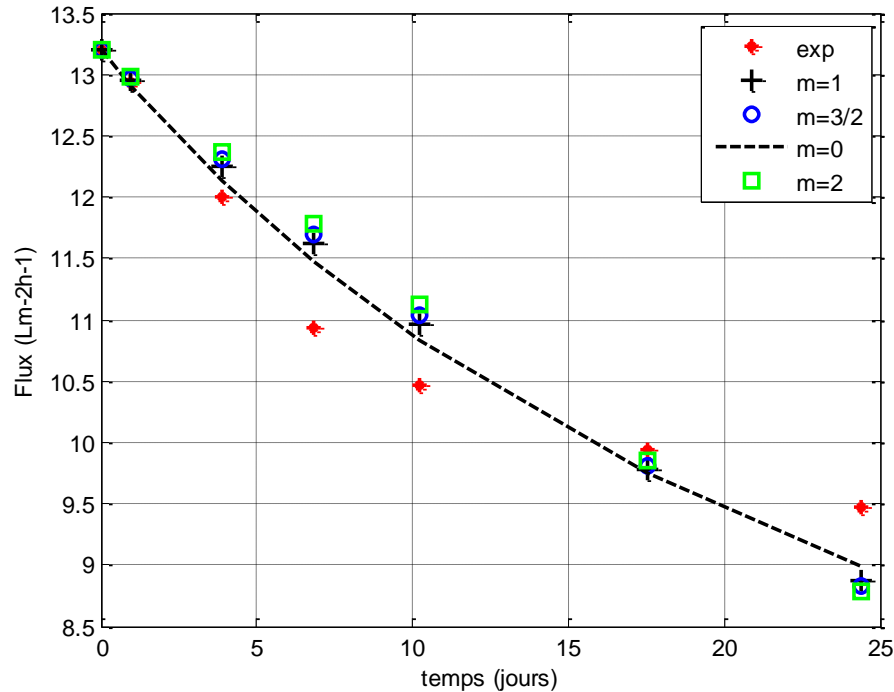
Effluent: lixiviat de déchets municipaux solides
TSB=300jours

$m=0$; $K= 0.1119 \pm 0.0434$
Err=38%

⇒ **Formation de gâteau**

⇒ A un long TSB, les micro-organismes croissent et la viscosité de la boue augmente d'où la formation du gâteau

Membrane UF (0,01 - 0,1 μ m)



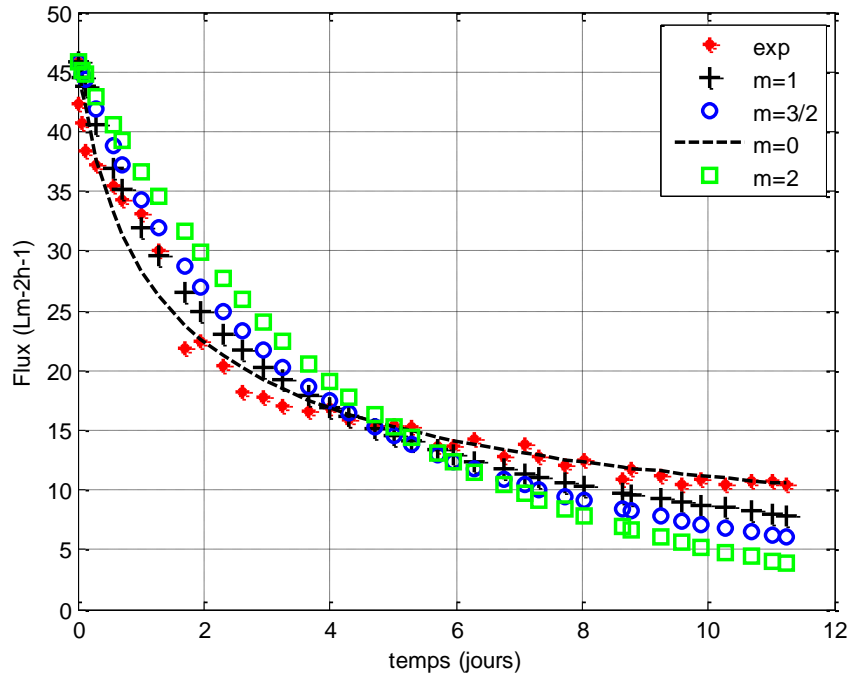
Effluent: eau usée municipale

$m=0$; $K=0.1357 \text{ e-}003 \pm 0.0222 \text{ e-}003$
Err=16%

=> **Formation de gâteau**

Mode de colmatage d'une membrane inorganique
UF en mode tangentiel à 37°C
(Saddoud, 2007)

Etude du mode de colmatage



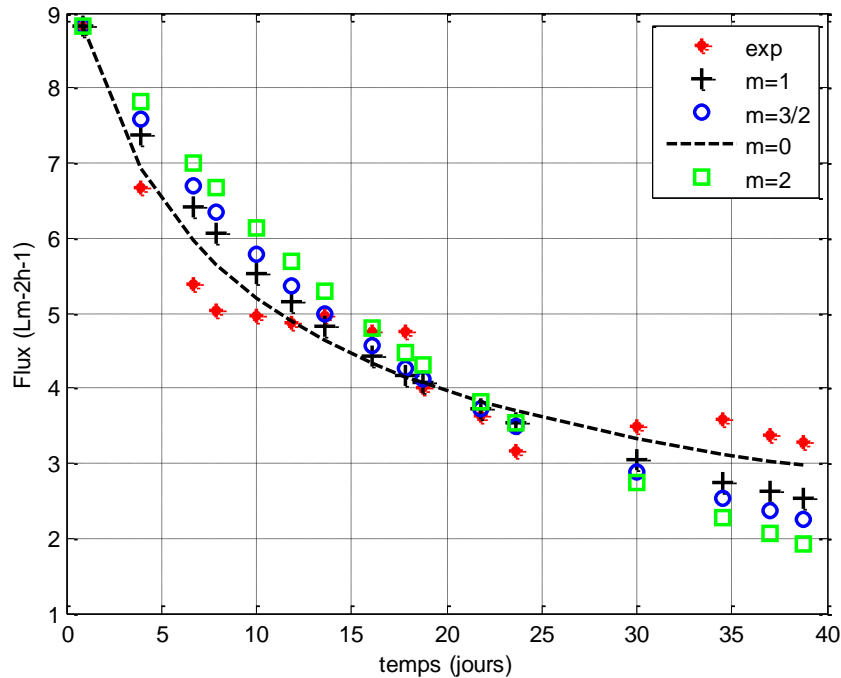
Effluent: des eaux usées d'une distillerie d'alcool

$m=0$; $K= 0.3797 \text{ e-}003 \pm 0.0315 \text{ e-}003$
Err= 8%

=> **Formation de gâteau**

Mode de colmatage d'une membrane UF en
Fluoropolymere, mode tangentiel à 55°C
(Choo et Lee 1998)

Etude du mode de colmatage



Effluent: le lixiviat d'une décharge municipale

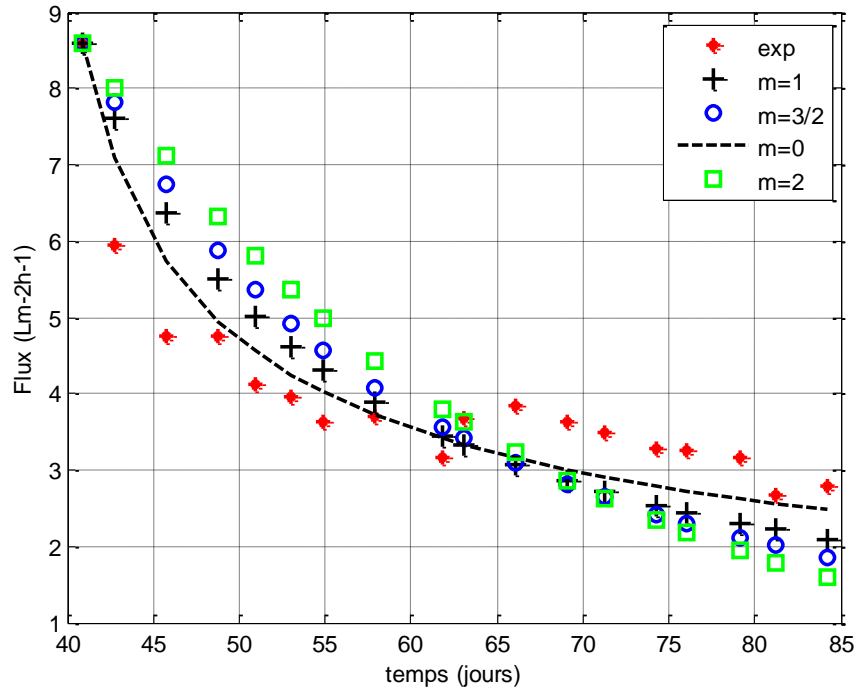
$m=0$; $K= 0.0013 \pm 0.0002$

Err= 15%

=> **Formation de gâteau**

Mode de colmatage d'une membrane inorganique UF
en mode tangentiel à 37°C, 1er cycle (Zayen 2010)

Etude du mode de colmatage



Effluent: le lixiviat d'une décharge municipale

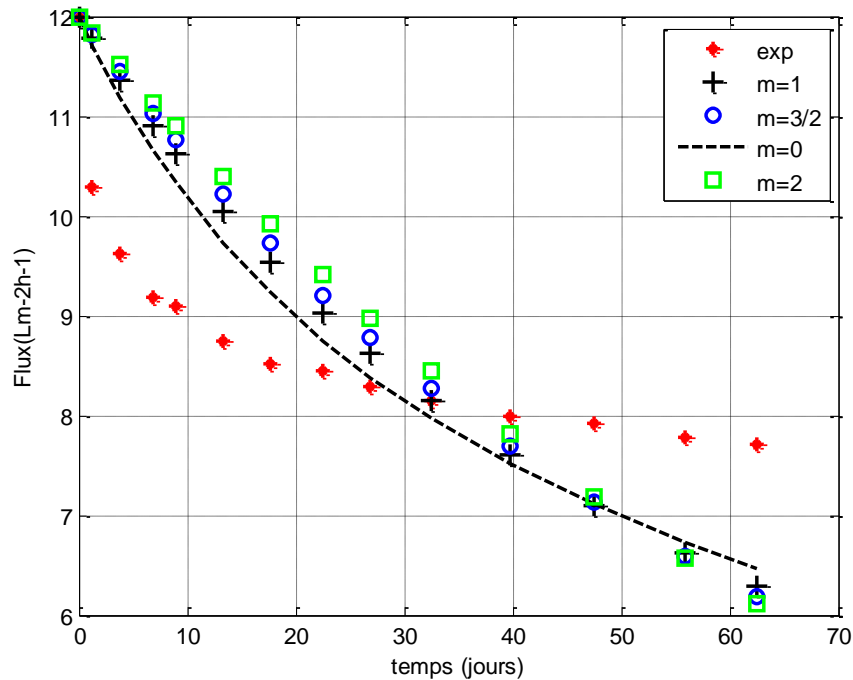
$m=0$; $K= 0.0017 \pm 0.0003$

Err= 17%

=> **Formation de gâteau**

Mode de colmatage d'une membrane inorganique UF en mode tangentiel à 37°C, 2ème cycle (Zayen 2010)

Etude du mode de colmatage



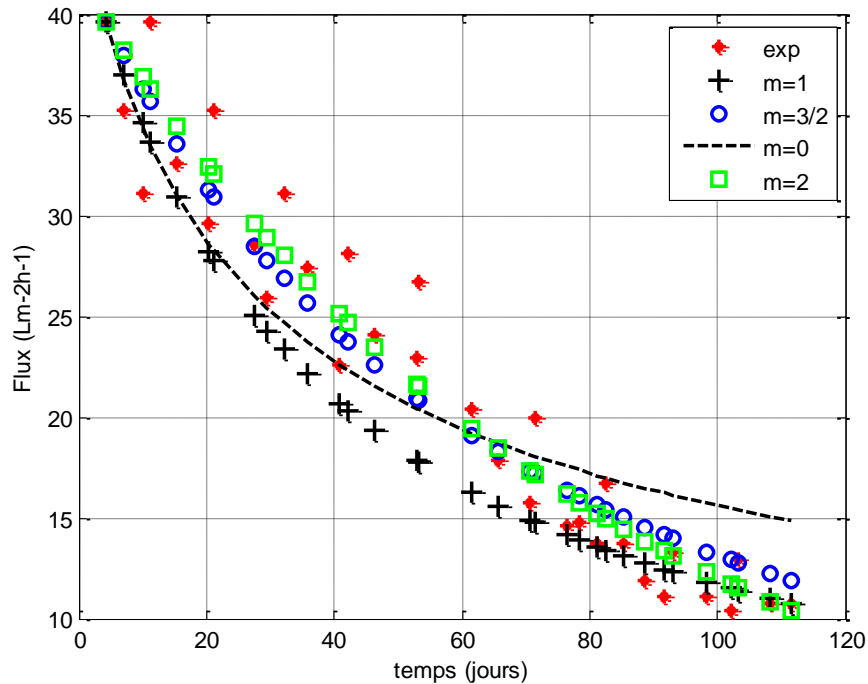
Effluent: d'une eau usée reconstituée

$m=0$; $K=0.1355 \text{ e-}003 \pm 0.0400 \text{ e-}003$
Err=29%

=> **Formation de gâteau**

Mode de colmatage d'une membrane en cPVDF,
mode tangentiel à 30°C
(Gao, 2010)

Etude du mode de colmatage



Mode de colmatage d'une membrane UF
en PES (20kDa), mode tangentiel à 37°C
(He 2005)

Effluent: eau usée issue d'une usine
d'aliments

Lavage chimique 2-3 fois /4mois

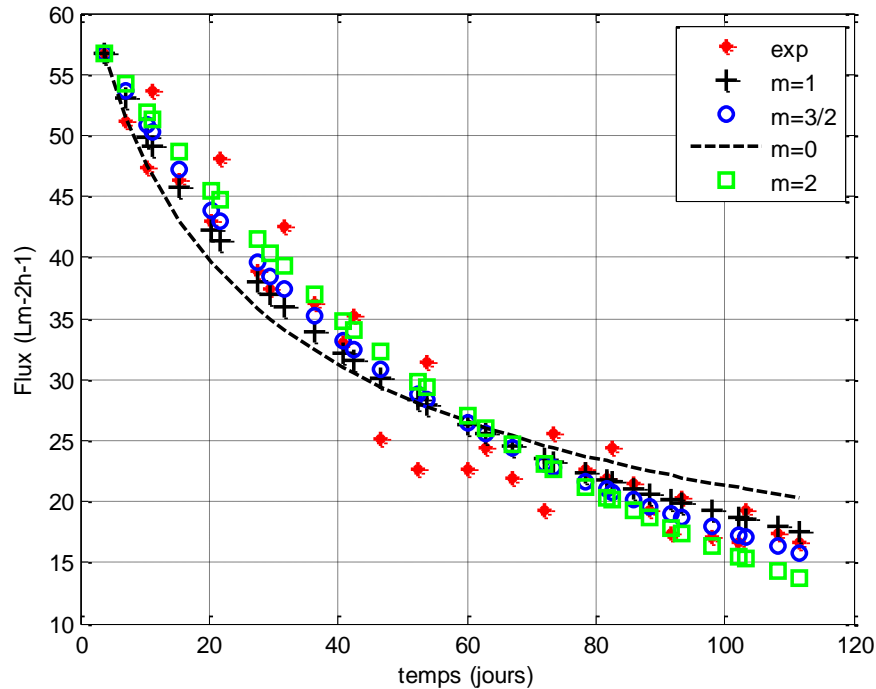
$m=2$; $K=0.0174 \pm 0.0023$

Err=13%

⇒ **Blocage complet**

⇒ La taille des particules plus grande que
celle des pores entraîne le blocage
complet des pores

Etude du mode de colmatage



Mode de colmatage d'une membrane UF
en PES (30kDa), mode tangentiel à 37°C
(He 2005)

Effluent: eau usée issue d'une usine
d'aliments

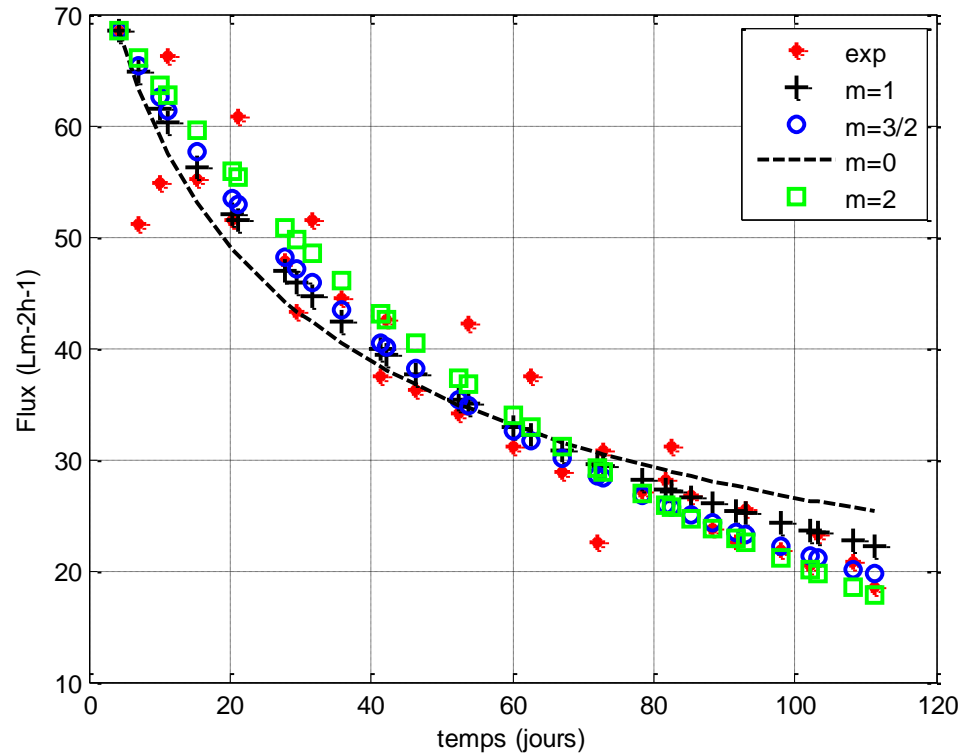
Lavage chimique 2-3 fois /4mois

$m=3/2$; $K= 0.0022 \pm 0.0001$
Err= 4.54%

⇒ **Constriction des pores**

⇒ La taille des particules est plus petite
que celle des pores.

Etude du mode de colmatage



Effluent: eau usée issue d'une usine d'aliments

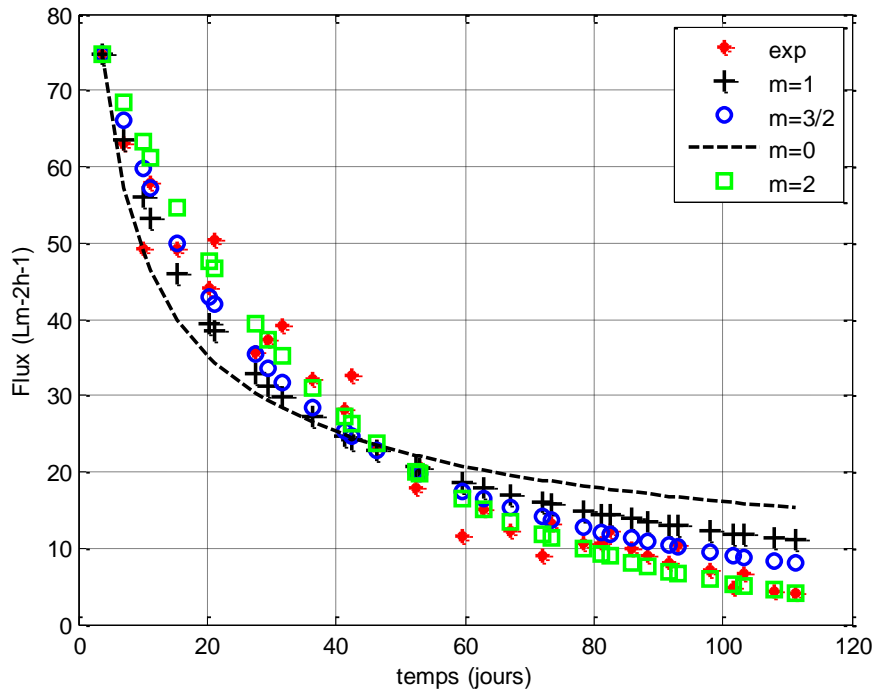
Lavage chimique 2-3 fois /4mois

$m=3/2$; $K = 0.0020 \pm 0.0002$
Err=10%

=> **Constriction des pores**

Mode de colmatage d'une membrane UF en PES (50kDa), mode tangentiel à 37°C (He 2005)

Etude du mode de colmatage



Effluent: eau usée issue d'une usine d'aliments

Lavage chimique 2-3 fois /4mois

$m=2; K= 0.0270 \pm 0.0017$

Err=6.29%

⇒ **Blocage complet**

Mode de colmatage d'une membrane UF en PES (70kDa), mode tangentiel à 37°C (He 2005)

Conclusions et perspectives

- Le mode de colmatage responsable de la chute du flux de perméat de la membrane de MF dans un BRMAN dépend du mode de filtration, de la température du bioréacteur, de la concentration en MES et du TSB.
- Dans un BRMAN MF mésophile, à faible concentration en MES et en mode tangentiel, Le colmatage se fait en deux phases : une première par constriction des pores et une deuxième par la formation de gâteau à la surface de la membrane.
- Dans le cas d'un BRMAN à membrane MF frontal ou d'un BRMAN thermophile le colmatage se fait par formation de gâteau
- A faible TSB le colmatage d'une membrane MF se fait par blocage intermédiaire
- Pour un BRMAN à membrane UF le colmatage se fait généralement par formation de gâteau
- L'exploitation d'autres données expérimentaux nous permettra de mieux comprendre le mode de colmatage dans le cas d'un BRMAN à membrane UF