



Optimisation d'un système de filtration des eaux usées brutes par MicroFiltration : stratégies optimales de nettoyage physique (Relaxation/Aération)

Aymen CHAABEN

Direction : Jérôme HARMAND
Marc HERAN





Introduction du sujet de thèse

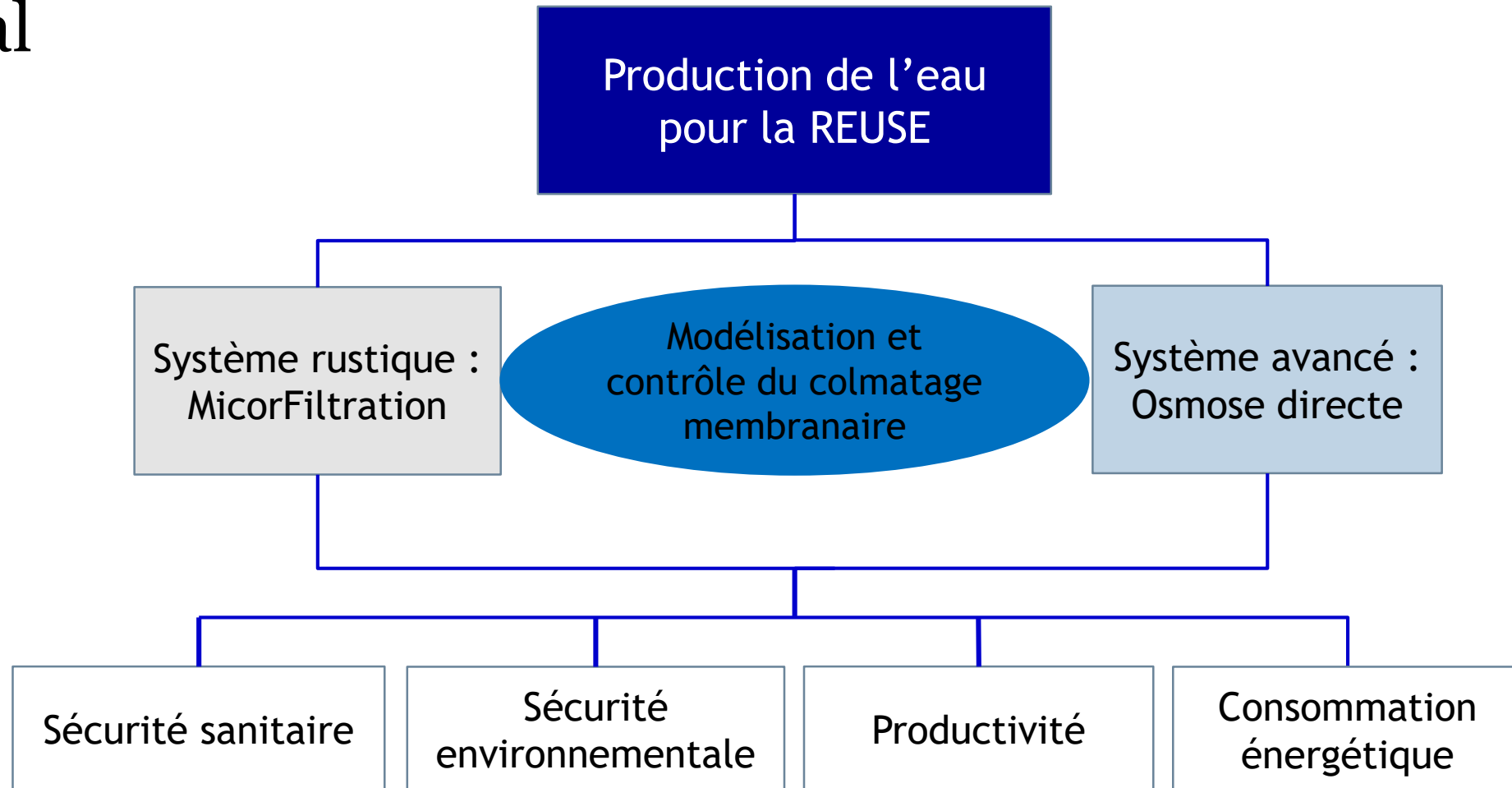


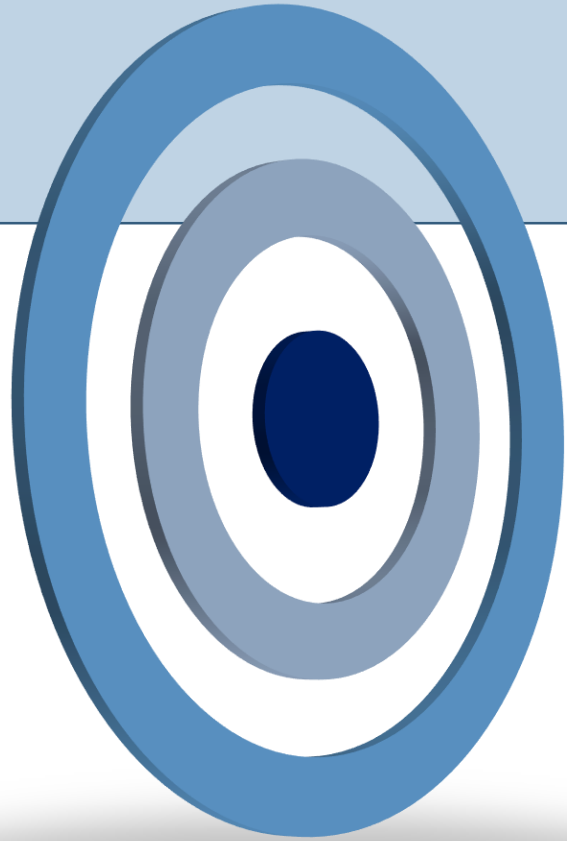
Contexte général

Objectif principal

Matériels et méthodes

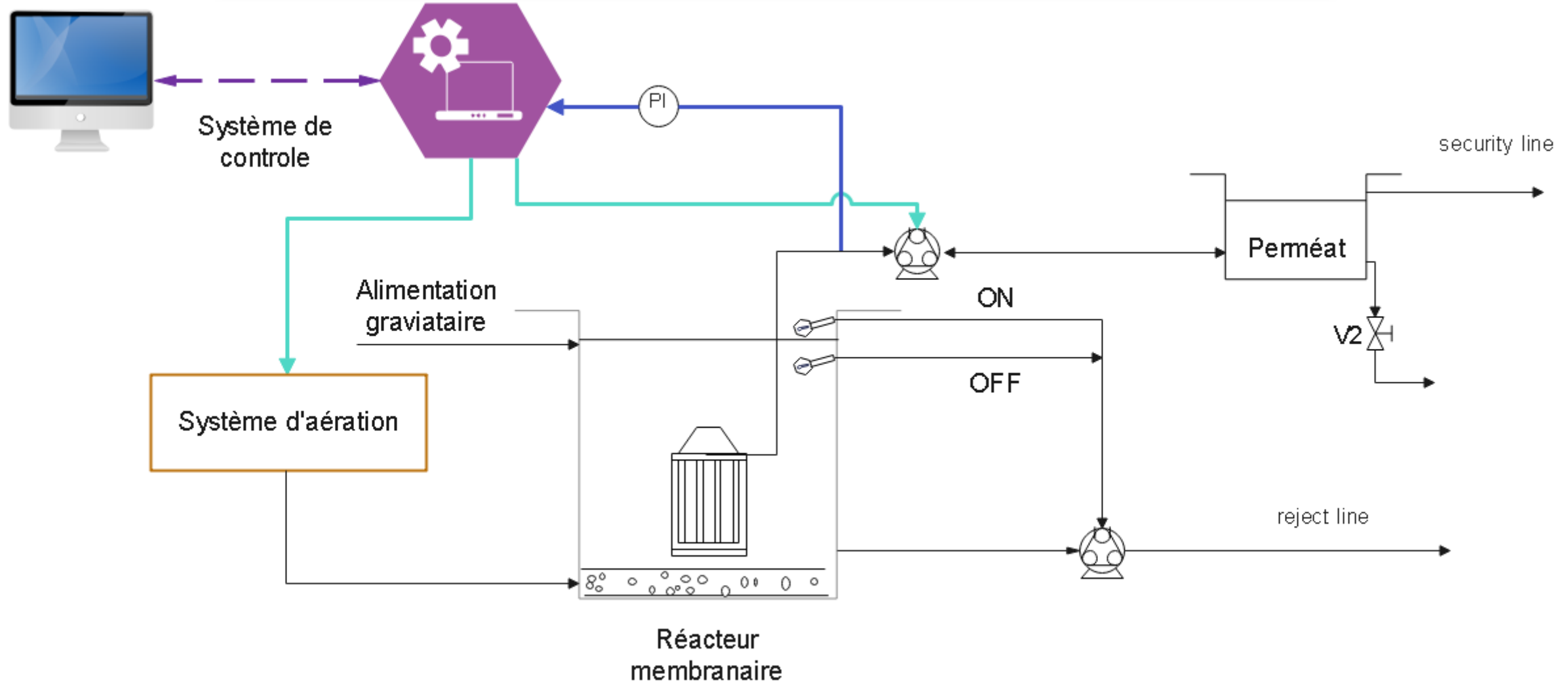
Évaluation des performances





Systeme de Microfiltration

Pilote d'expérience-Vue globale

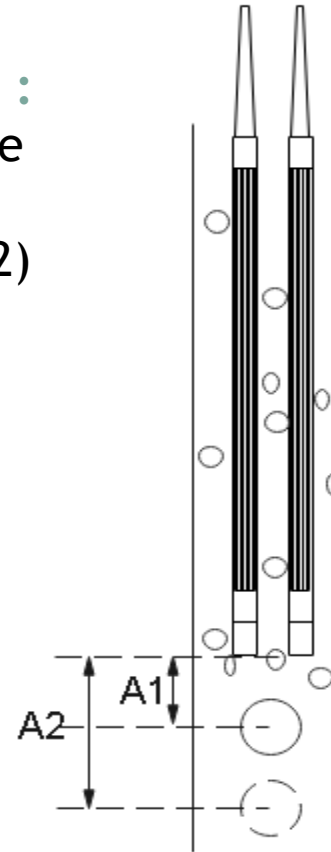


Dispositif membranaire



Matériaux de la membrane (Kubota) :

- **Plaque filtrante** : ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), Q(1)
- **Espaceur** : PP (Polypropylène), Q(2)
- **Membrane filtrante** : *Base : PET (Polyethylene Terephthalate),
*Agent filtrant : CPE Polyethylene Chloré



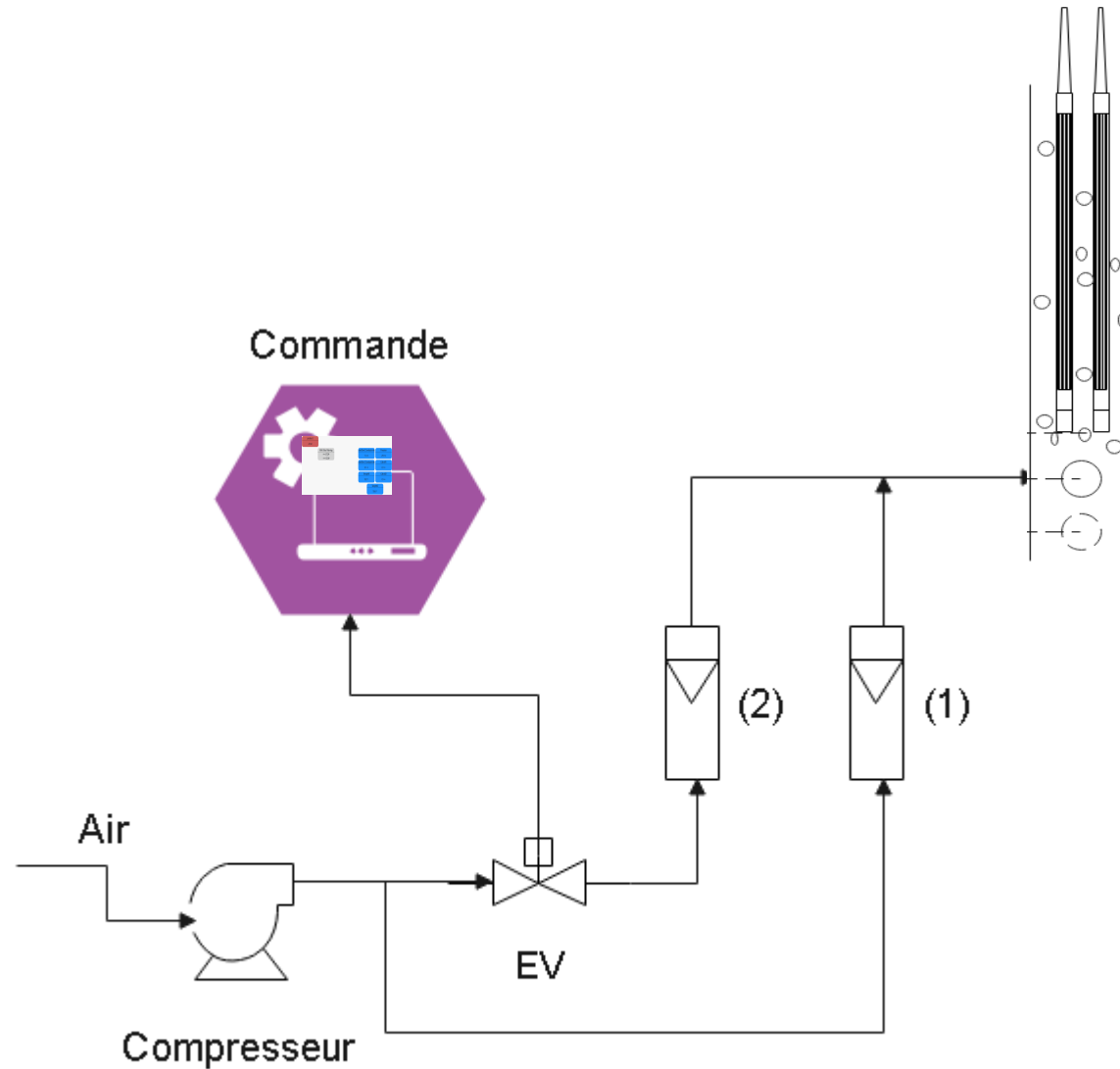
=



Caractéristiques de la membrane :

- MF feuille plane (Kubota)
- Surface A : 0,11 m²
- Taille de pores : 0,4 μm
- PTM_{max} = 25 kPa

Systeme d'aération



(1) : Aération en continue

(2) : Aération temporisée

Systeme de controle à distance

product

Marche

MH Ultra filtering

filter STOP

valve STOP

Filtration

Electrovanne

ON duration

00:00:05

OFF duration

00:00:05

Sauvegarder

snetDev0.Conductivite

7 $\mu\text{S/cm}$

Pression

-70 mbar

snetDev3.Conductivite

0 S/cm

CdtvM1

0 S/cm

TempM1

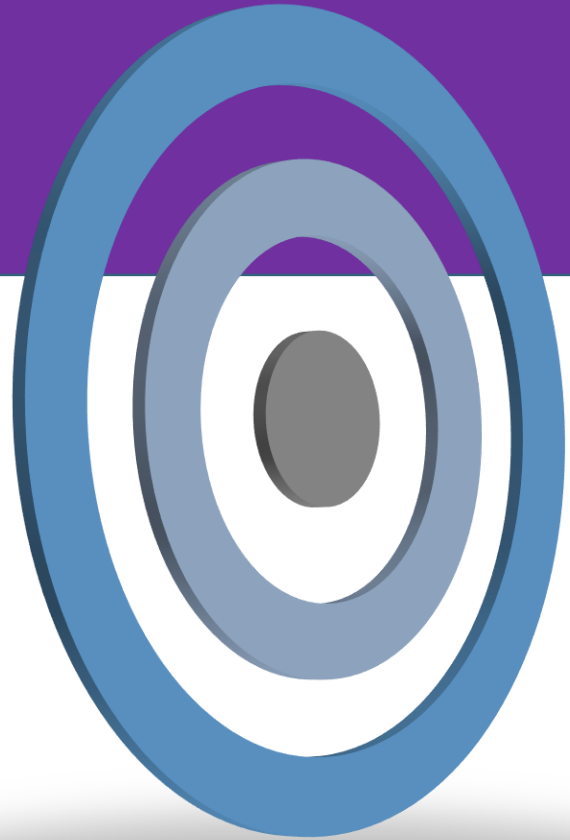
18.7 °C

CdtvM2

0 S/cm

TempM2

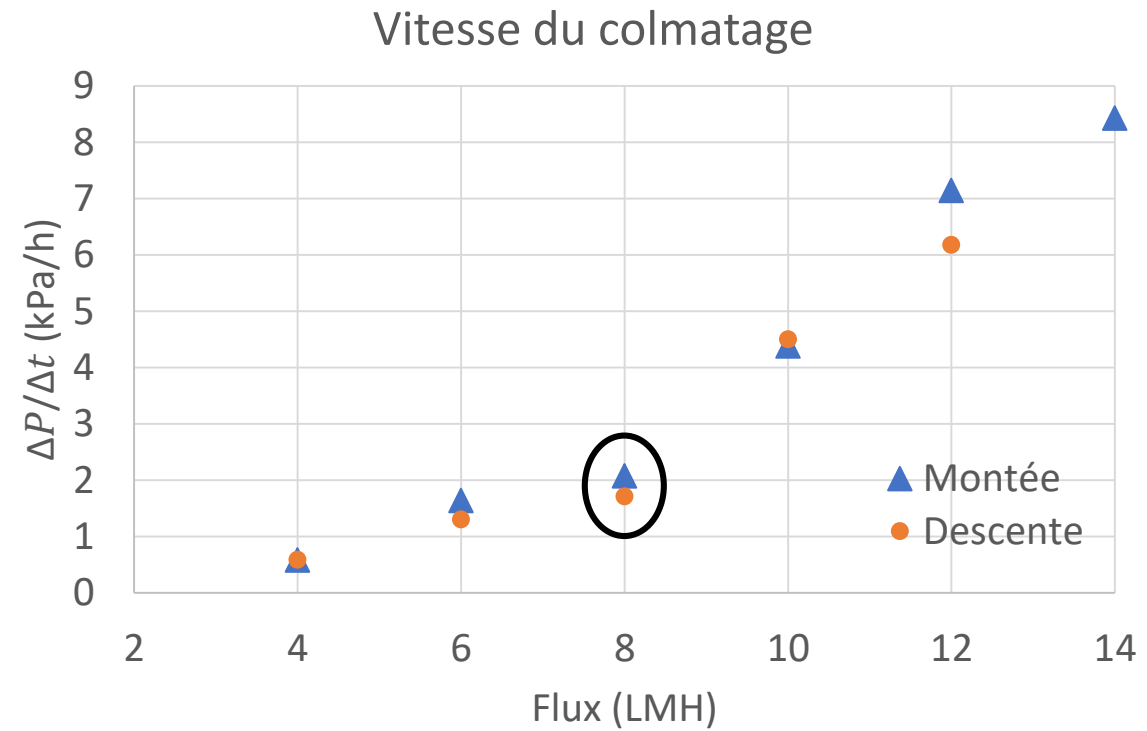
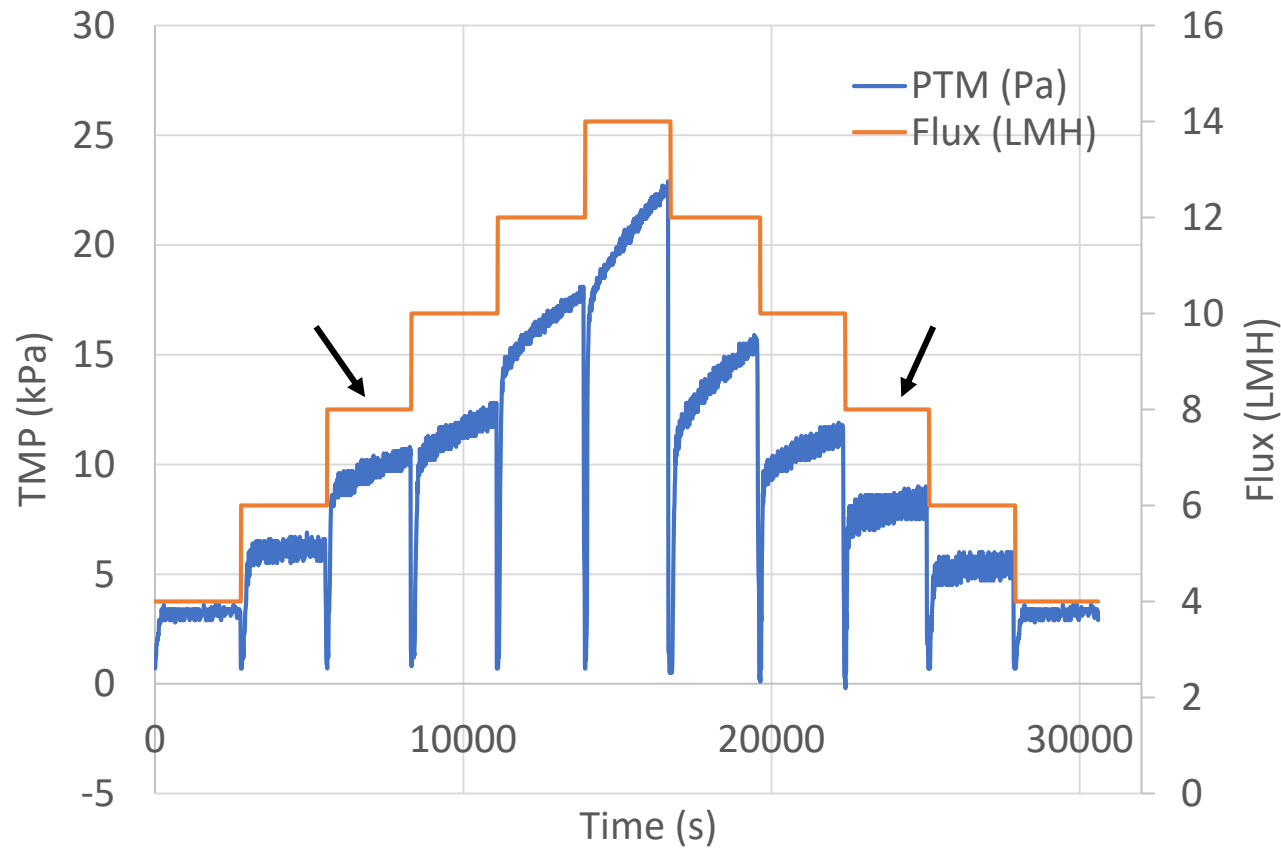
18.6 °C



Optimisation du système de MF

I-Expérimentations

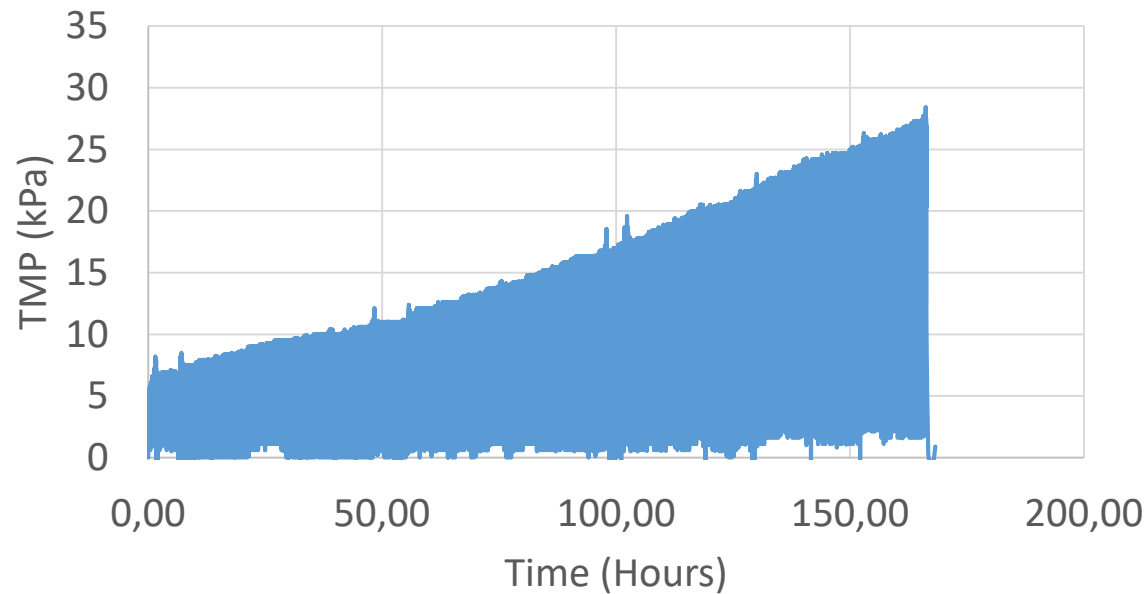
➤ Détermination de flux critique



I-Expérimentations

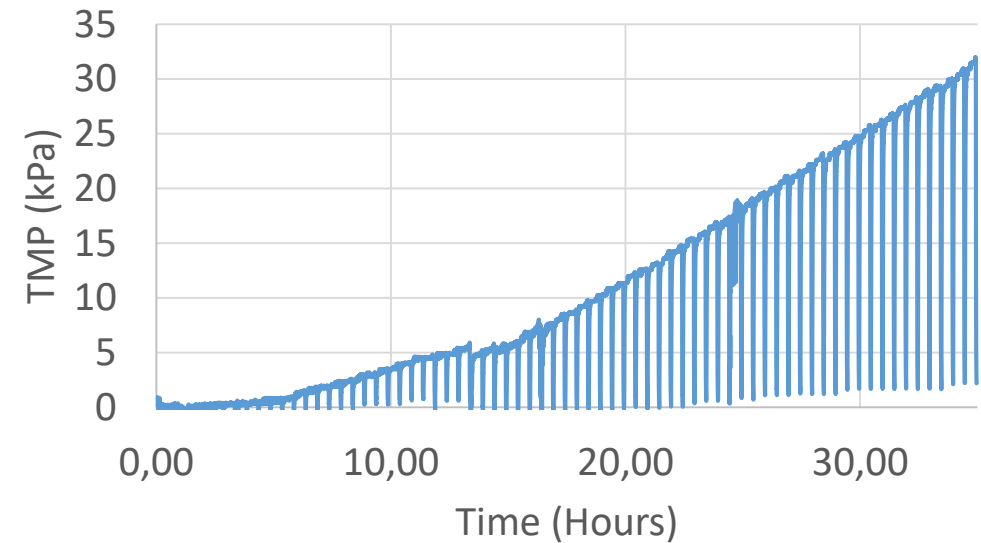
➤ Avec aération (Expérience A)

$$\text{TMP (kPa)} = f(t)$$



➤ Sans aération (Expérience B)

$$\text{TMP (kPa)} = f(t)$$



	Expérience A	Expérience B
Flux Jv (LMH)	8	
Durée Filtration/Relaxation (min)	28F/2R	
Débit d'aération (L/h)	300	0

II-Modélisation d'un système de filtration membranaire

❖ Modèle à flux constant

Les hypothèses du modèle :

- Colmatage par accumulation des particules à la surface.
- Flux de perméat constant.
- Régénération de la membrane par Relaxation/Rétro-lavage.

La dynamique d'évolution de la PTM :

$$PTM = J_V \times \mu \times (R_m + R_c)$$

Surface filtrante :

$$A(t) = \frac{A_0}{1 + \frac{m(t)}{\sigma}}$$

Résistance de la couche du gâteau :

$$R_c(m(t)) = \alpha \left(\frac{m(t)}{A(t)} \right)$$

La dynamique d'évolution de la masse :

$$\dot{m} = \underbrace{\frac{u+1}{2} (-a_p \times m + b_p)}_{\text{Dynamique de filtration ; } u=+1} - \underbrace{\frac{1-u}{2} (a_r \times m)}_{\text{Dynamique de nettoyage ; } u=-1}$$

II-Modélisation d'un système de filtration membranaire

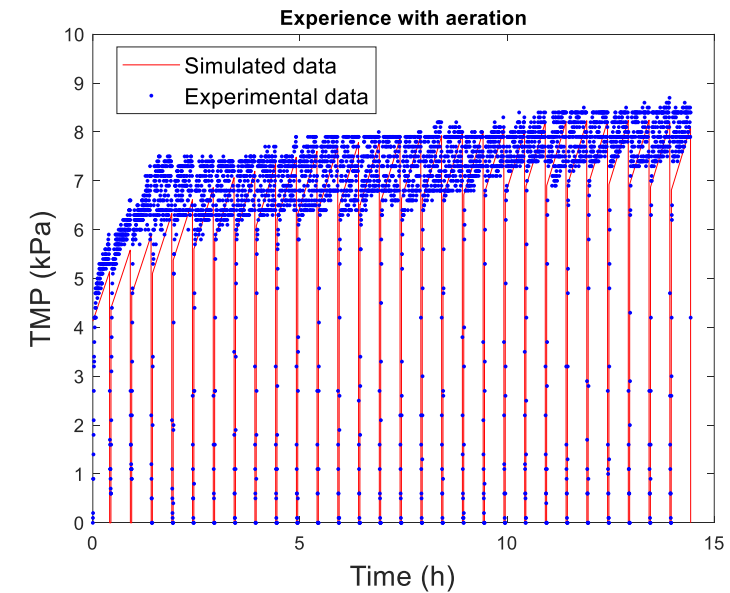
➤ Résultats de la modélisation des deux essais

Paramètre du modèle	Unité	Valeurs des paramètres	
		Expérience A (28min-F/2min-R)	Expérience B (28min-F/2min-R)
a_p	s^{-1}	3,41E-07	2,00E-10
b_p	$kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	1,87E-07	2,00E-07
a_r	s^{-1}	1,35E-03	4,80E-04
α	m/Kg	3,00E+14	1,00E+14

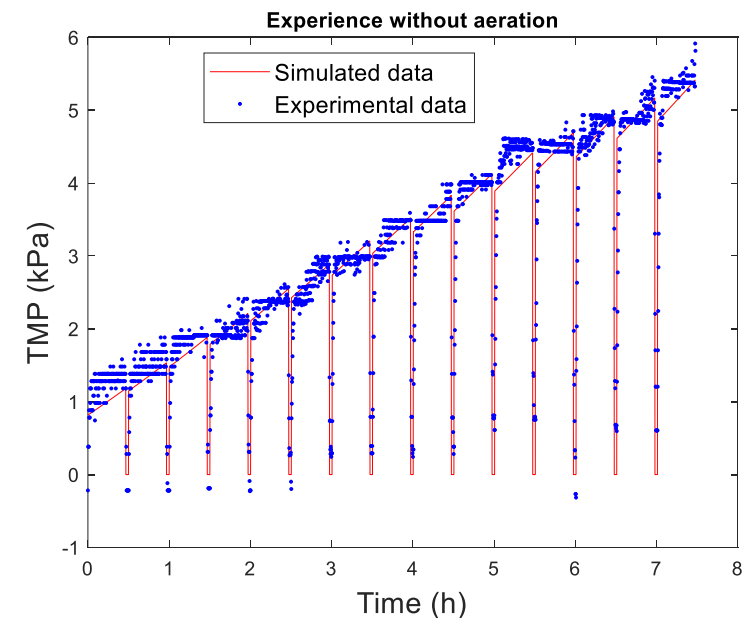
$a_p \approx C \times J_V \times \beta_C \propto$ aux forces de cisaillement

$b_p \approx C \times J_V$: vitesse d'attachement de la matière sur la membrane

a_r : efficacité de nettoyage physique



A



B

III-Application théorique de la stratégie de contrôle optimal

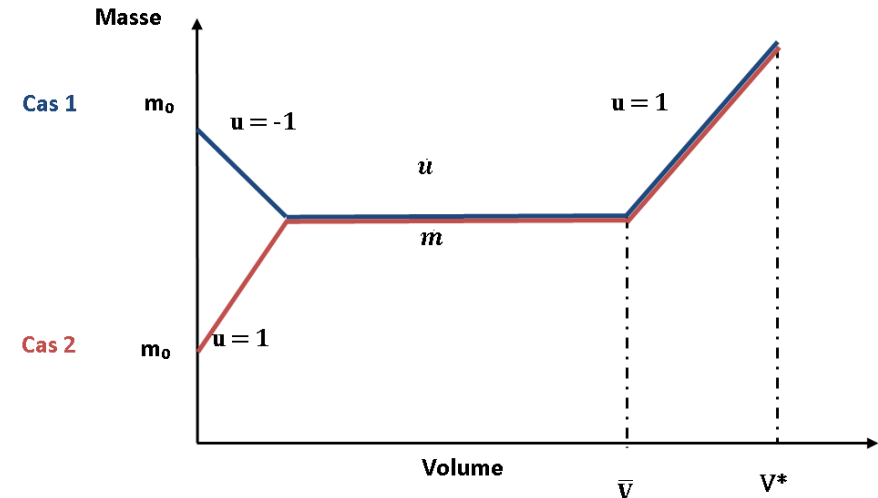
➤ Résultats d'application de la stratégie optimale

	Critère d'optimisation
Dynamique de la filtration :	$\dot{m} = \frac{u+1}{2}(-a_p \times m + b_p) - \frac{1-u}{2}(a_r \times m)$
Fonction objective :	$E_T = \min \int_0^{t_f} \left(\frac{u+1}{2}(-c_p \times m + d_p) - \frac{1-u}{2}(c_r \times m + d_r) \right)$

Application du principe de maximum de Pontryagin (PMP)

Détermination des paramètres du contrôle optimal : \bar{m} , \bar{u} , V_e , \bar{V} , ...

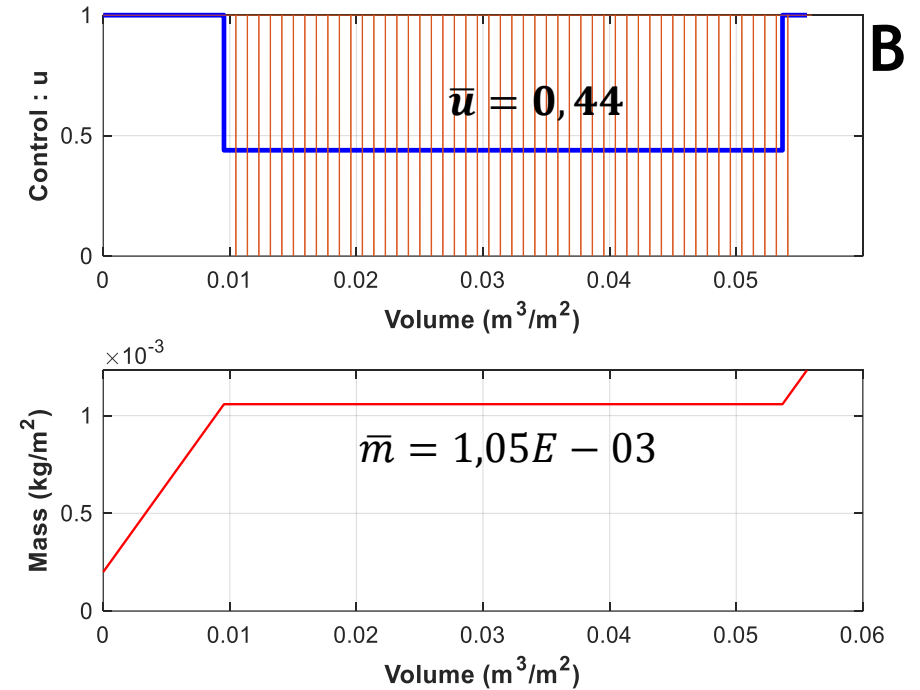
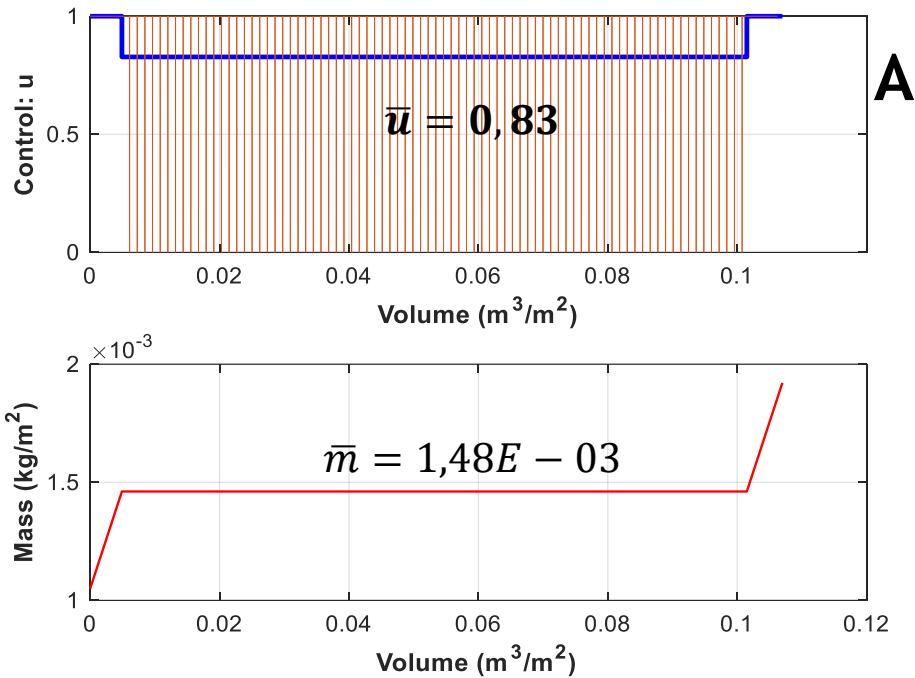
$$u(m, V) = \begin{cases} +1, & \text{si } m < \bar{m} \text{ et } V < V_e \\ \bar{u}, & \text{si } m = \bar{m} \text{ et } V \leq \bar{V} \\ +1, & \text{si } m > \bar{m} \text{ ou } V \geq \bar{V} \end{cases}$$



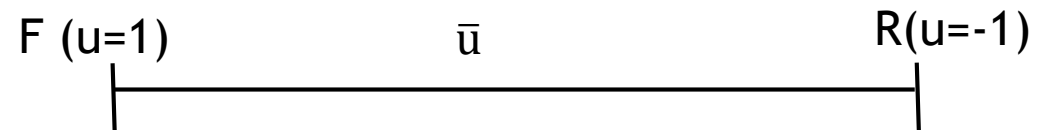
III-Application théorique de la stratégie de contrôle optimal

➤ Résultats d'application de la stratégie optimale

$$u(m, V) = \begin{cases} +1, & \text{si } m < \bar{m} \text{ et } V < V_e \\ \bar{u}, & \text{si } m = \bar{m} \text{ et } V \leq \bar{V} \\ +1, & \text{si } \bar{V} \leq V \leq V_f \end{cases}$$

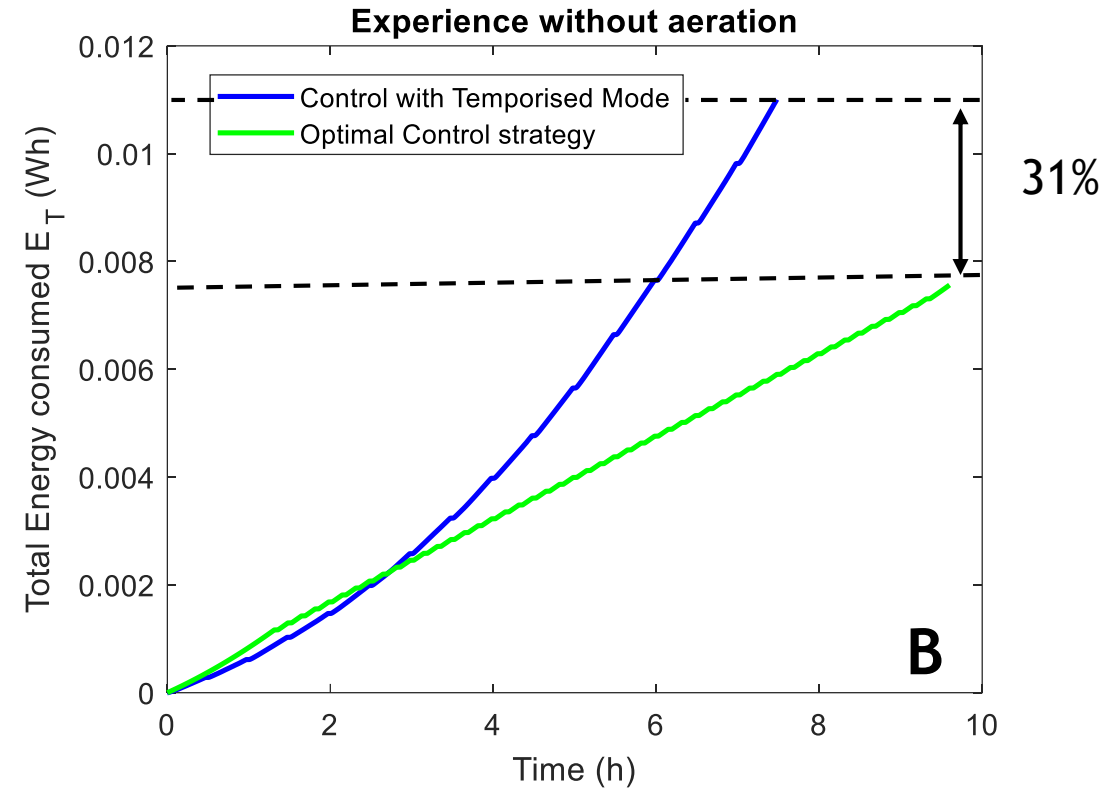
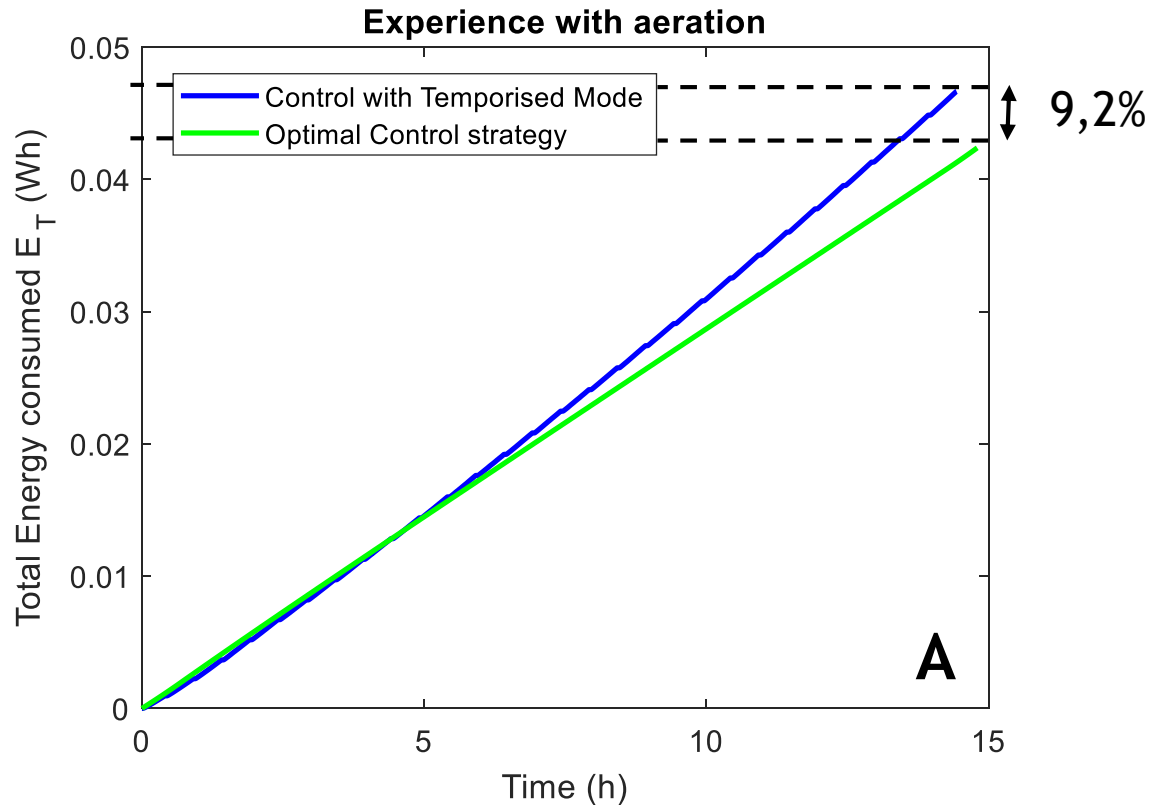


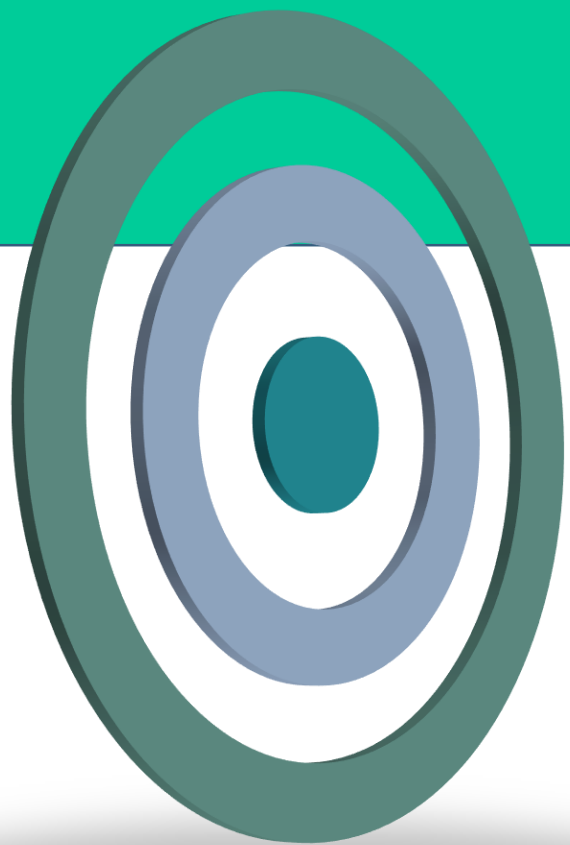
Signification pratique du contrôle singulier : $\bar{u} = \frac{t_f - t_R}{t_f + t_R}$



III-Application théorique de la stratégie de contrôle optimal

➤ Résultats d'application de la stratégie optimale





Conclusions

Conclusions

- ❑ Flux critique de MF des EUB : 8LMH
- ❑ Performance du contrôle du colmatage par aération+relaxation
- ❑ Minimisation de l'énergie consommée en appliquant la stratégie de contrôle optimal en boucle ouverte.



Perspectives

- Analyse détaillée des eaux brutes pour définir les matières colmatantes.
- Détermination des stratégies optimales de fonctionnement selon les besoins.
- Application de la stratégie de contrôle adaptatif.

Merci pour votre attention

