

98^{ème} congrès de l'Astee - 4 au 6 juin 2019

Saumur – Abbaye Royale de Fontevraud

Limitation du colmatage dans les bioréacteurs à membranes à l'échelle industrielle : modélisation et caractérisation de l'hydrodynamique



Directrices de thèse : S. Gillot, C. Albasi

Encadrement : Y. Fayolle, M. Alliet

Speaker : Elodie Suard
Session :

#ASTEE2019



Bioréacteurs à membranes

- Traitement biologique suivi d'une séparation physique membranaire
- Problématiques industrielles
 - Maintien des capacités de filtration (rétrolavages, aération, lavages chimiques)
 - Consommation énergétique liée à l'aération
- Problématiques scientifiques
 - Identification et hiérarchie des paramètres opératoires et propriétés des boues impactant le colmatage
 - Compréhension des mécanismes physiques d'impact de l'aération par l'étude de la dispersion du gaz

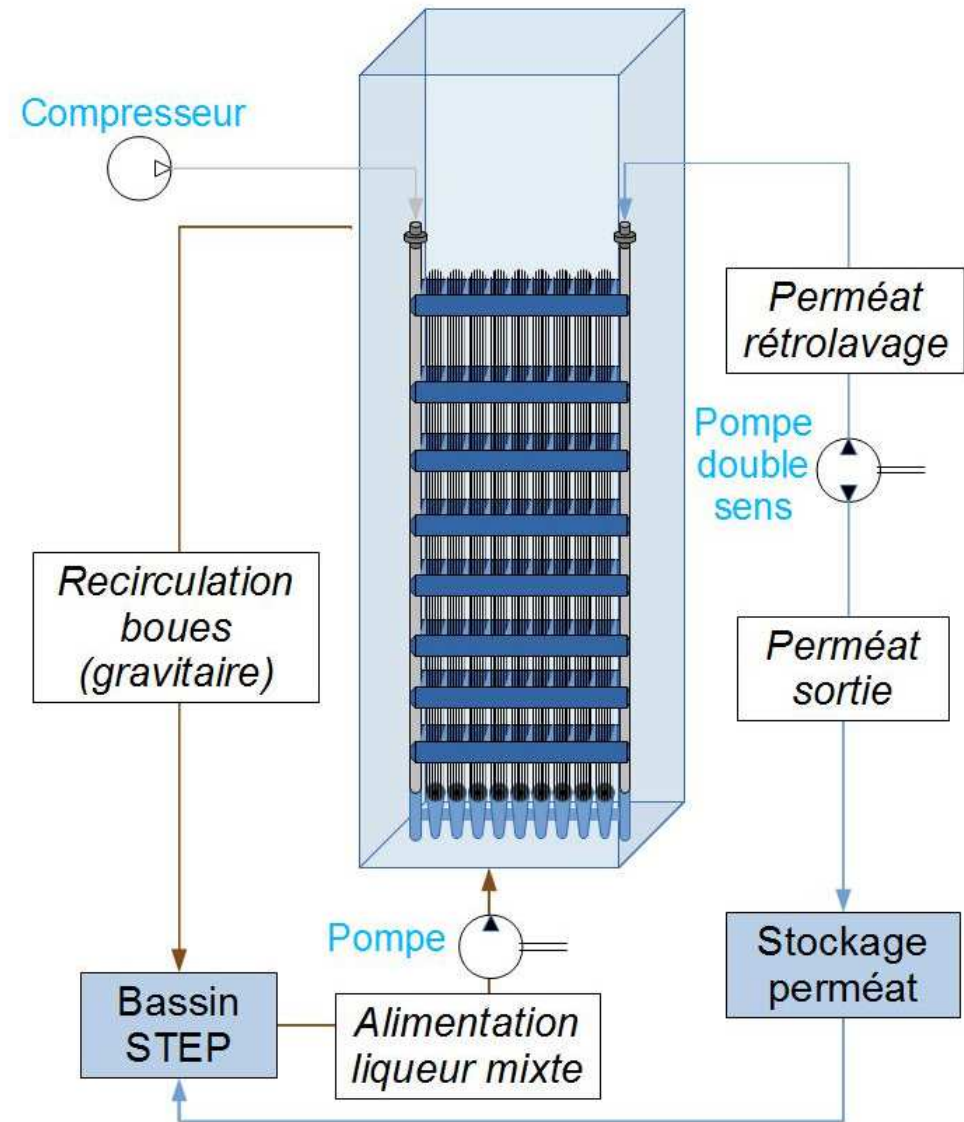
**Conception et mise en place d'un pilote
de filtration semi-industriel**

Pilote de filtration

- 3 sous modules membranaires industriels

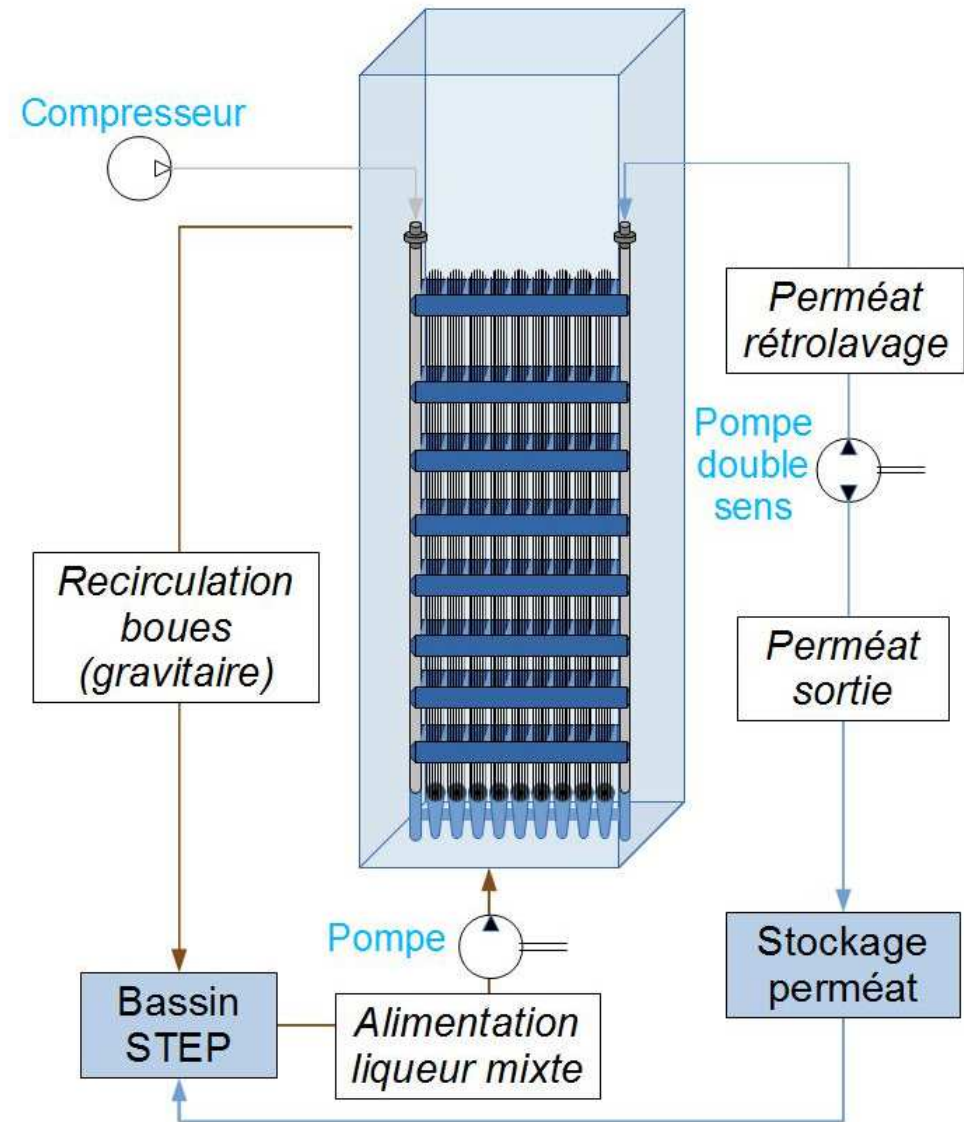


KMS Puron®



Pilote de filtration

- 3 sous modules membranaires industriels
- Alimenté en continu sur site (Seine Aval, SIAAP)
- Instrumenté pour suivre
 - les caractéristiques des boues : conductivité, pH, température, MES, DCO_{surageant}
 - du perméat : DCO
 - et l'évolution de la perméabilité



13 combinaisons de conditions opératoires testées sur 4,2 mois

($Q_{air\ inst}$ / Séquençage aération / Nombre sous-modules aérés)

Démarche

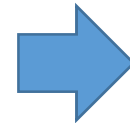


Pilote : suivi actif
avec focus aération



Caractérisation hydrodynamique

- Tomographie de résistivité électrique
- Etude de la dispersion du gaz pour différents Q_{air} et [MES]

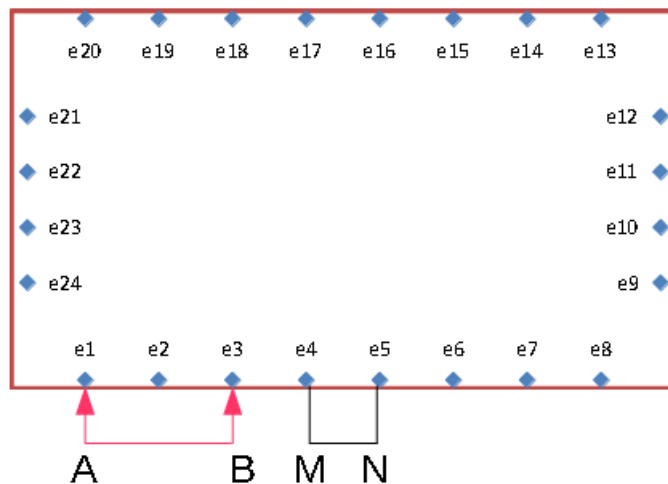


Analyse des données

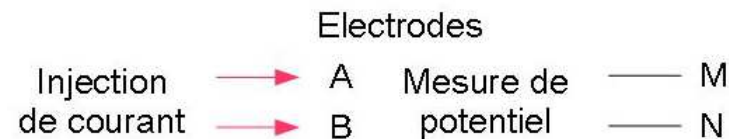
- Logique floue
- Détermination des impacts et hiérarchie des facteurs d'influence

Tomographie de résistivité électrique

- Basée sur la différence de résistivité des phases en présence
- Injection de courant (**I**) sur 2 électrodes A et B et mesure du potentiel résultant (**ΔV**) sur 2 autres électrodes M et N



$$\rho = \frac{K \cdot \Delta V}{I} \quad (\text{Ohm m})$$



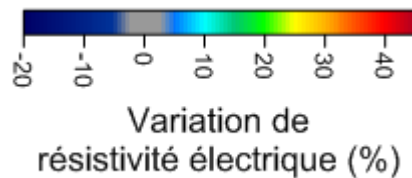
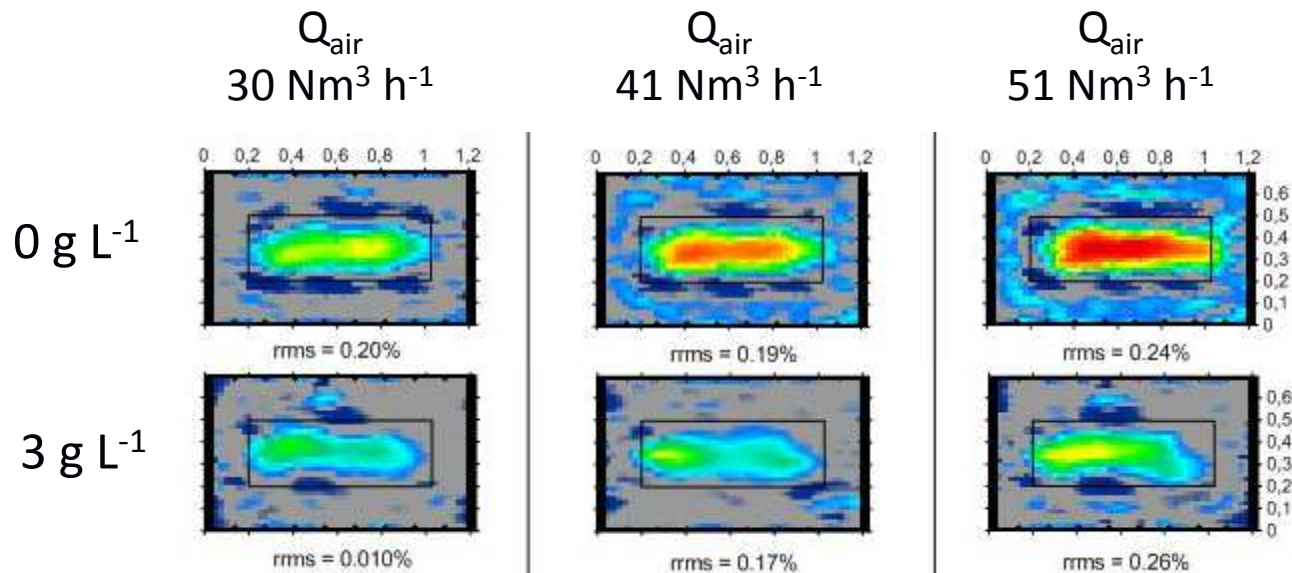
- Mesure sur une séquence de quadripôles ABMN
- Etape d'inversion nécessaire pour reconstituer la cartographie des résistivités électriques du système

ρ : résistivité électrique

K : coefficient géométrique dépendant de la configuration du quadripôle

Dispersion du gaz au sein du pilote

Coupe transversale du pilote – 1,2 m du fond

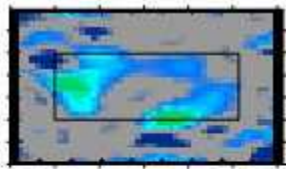


- Répartition sur l'ensemble de la zone membranaire
- Distribution moins homogène en présence de MES
- Augmentation de la proportion de gaz avec le Q_{air} injecté
- Proportion de gaz plus faible en présence de MES

Dispersion du gaz au sein du pilote

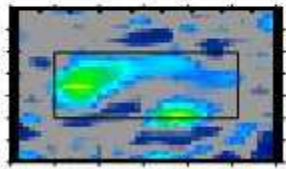
Coupe transversale du pilote – 1,2 m du fond

Q_{air}
30 $Nm^3 h^{-1}$



rms = 0.20%

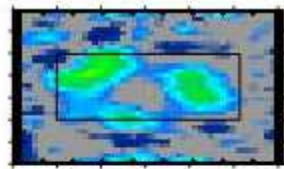
6 $g L^{-1}$



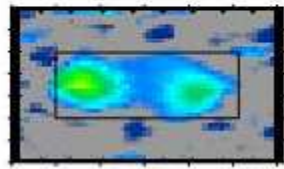
rms = 0.24%

10 $g L^{-1}$

Q_{air}
41 $Nm^3 h^{-1}$

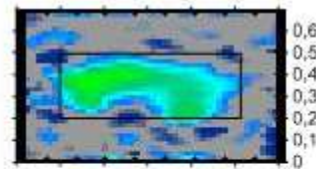


rms = 0.25%

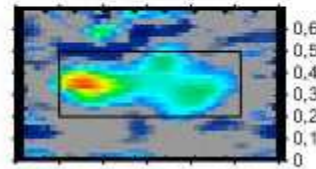


rms = 0.20%

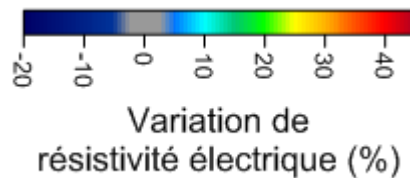
Q_{air}
51 $Nm^3 h^{-1}$



rms = 0.22%



rms = 0.25%

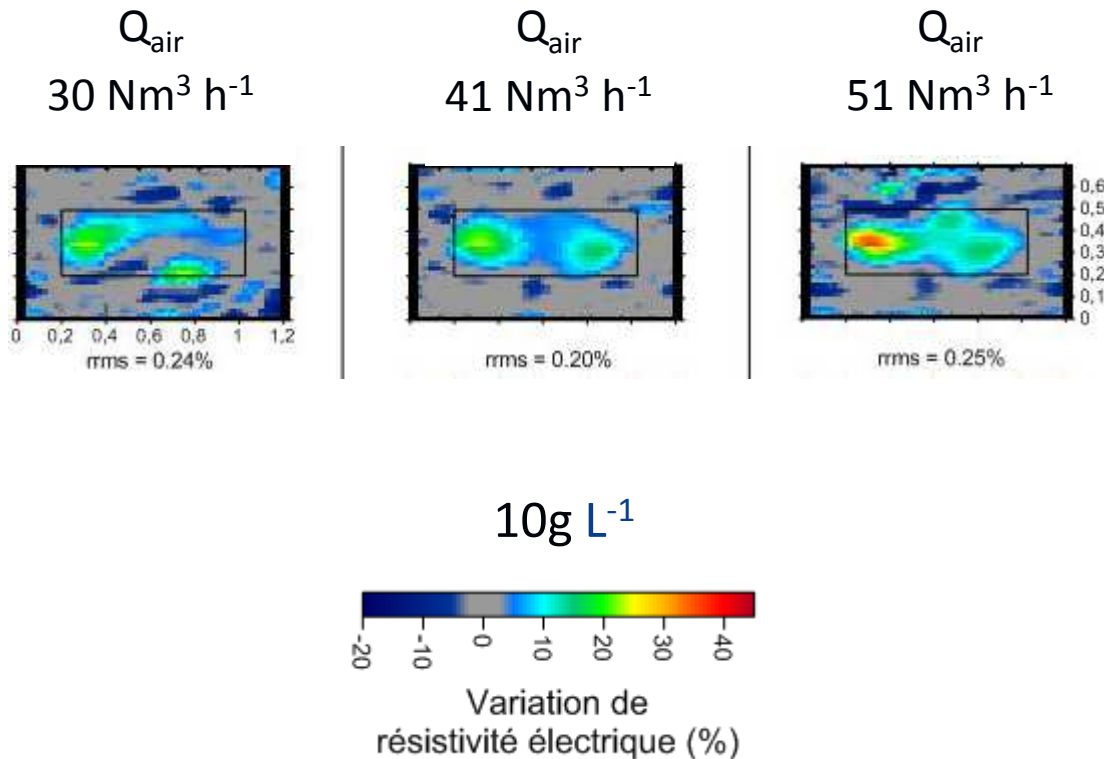


- Existence de chemins préférentiels de passage des bulles
- Q_{air} élevé nécessaire pour une répartition sur l'ensemble de la zone membranaire

Stratégie d'asservissement de l'aération aux propriétés des boues

Impact sur l'évolution de la perméabilité

Coupe transversale du pilote – 1,2 m du fond



Q_{air} Nm ³ h ⁻¹	MES g L ⁻¹	DCO _s mg L ⁻¹	dPe _{j moy} L m ⁻² h ⁻¹ bar ⁻¹
30	9,8	887	-0,8
42	9,5	867	-0,7
42	11,0	1099	-1,4
50	11,2	1028	-0,8
30	10,1	1112	-1,3

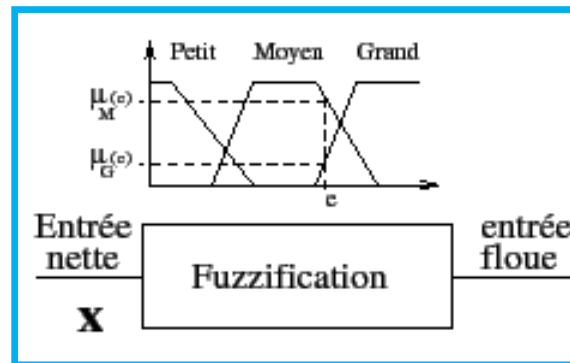
Impact positif du Q_{air} à concentrations en MES et DCO_{surageant} similaires

Systeme d'inférence floue

- Concept d'ensemble flou (Zadeh, 1965)
- Simulation de systèmes à l'aide de règles simples (Si ...Alors ...)
- Création de systèmes d'inférence floue (SIF)
 - Logiciel FisPro

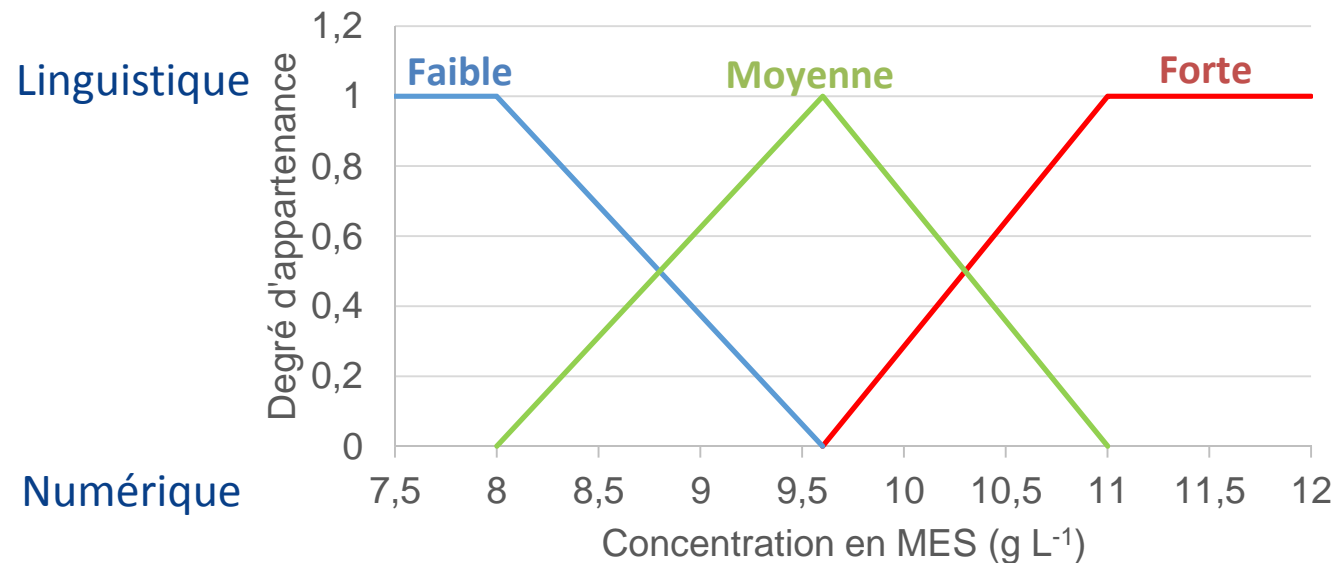


Fuzzy Inference
System PROfessional



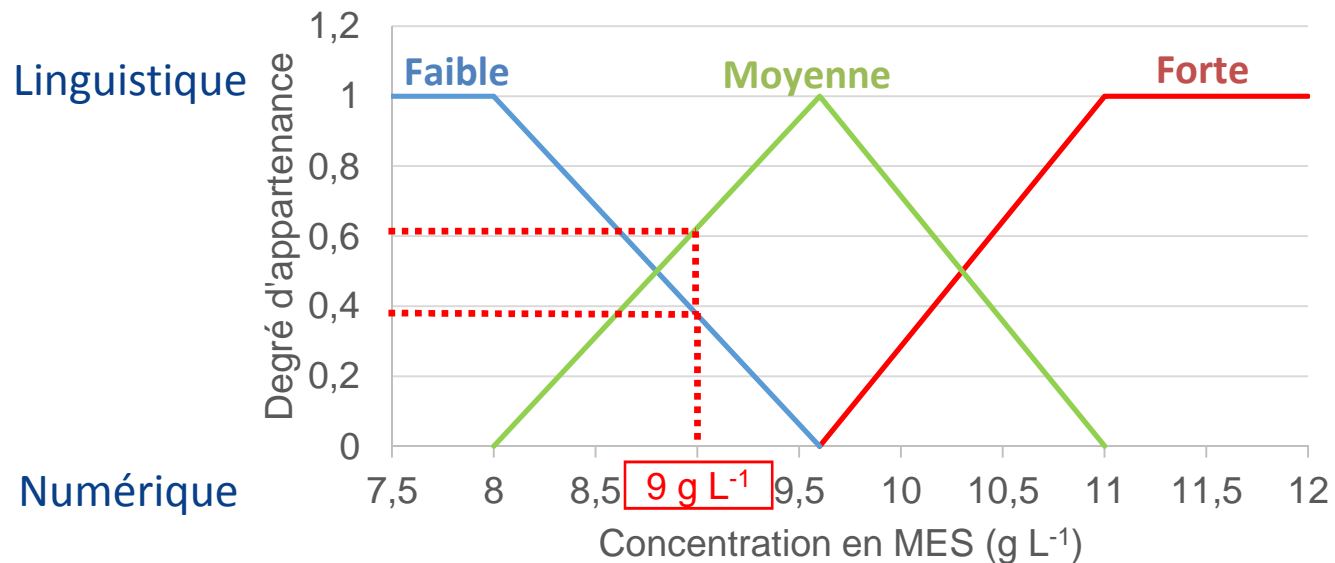
Partitionnement des variables

- Plage de variation divisée en plusieurs sous-ensembles flous



Partitionnement des variables

- Plage de variation divisée en plusieurs sous-ensembles flous



- Variables définies par leur(s) degré(s) d'appartenance à un ou plusieurs sous-ensembles flous

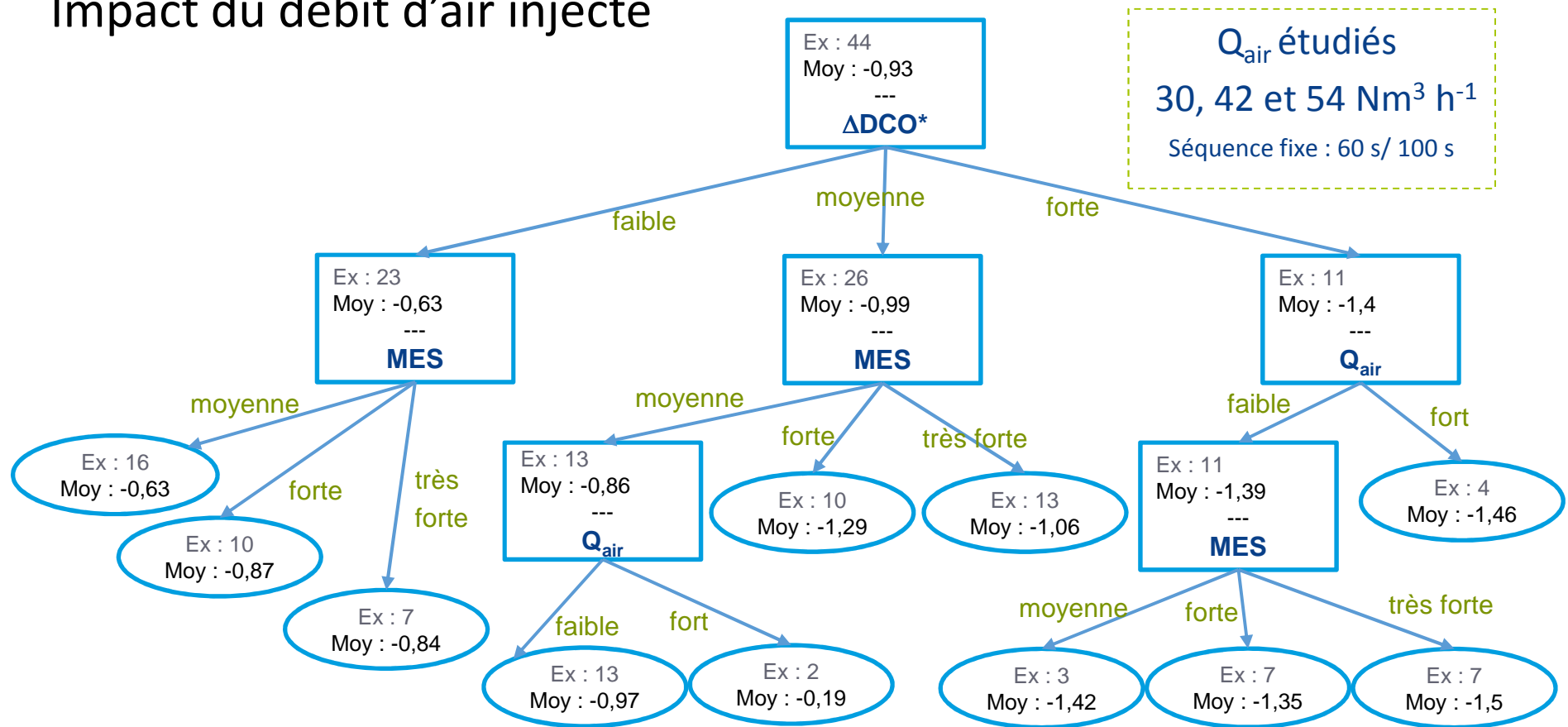
Une donnée peut activer plusieurs règles

Possibilité d'intégrer des connaissances expertes
du procédé en ajustant les sous-ensembles

Analyse par scénario

* ΔDCO : $DCO_{\text{surnageant}} - DCO_{\text{perméat}}$

- Impact du débit d'air injecté



Impact secondaire du débit d'air
Impact dépendant de la ΔDCO

Conclusions et perspectives

- Intérêt du **couplage d'une analyse statistique et d'une étude de phénomènes locaux** pour la compréhension de l'impact de l'aération sur le colmatage
- **Hiérarchisation de l'impact des paramètres** opératoires et des propriétés des boues sur l'évolution du colmatage
- Etude de l'impact de la configuration membranaire et de l'injection d'air sur la répartition du gaz et les performances de filtration associées
- Développement de modèles sur d'**autres jeux de données**
- **Intégration des modèles** à la gestion des installations industrielles
- Intégration de **mesures innovantes** (mesures optiques notamment) aux jeux de données considérés pour l'amélioration des modèles

98^{ème} congrès de l'Astee - 4 au 6 juin 2019

Saumur – Abbaye Royale de Fontevraud

Merci de votre attention !



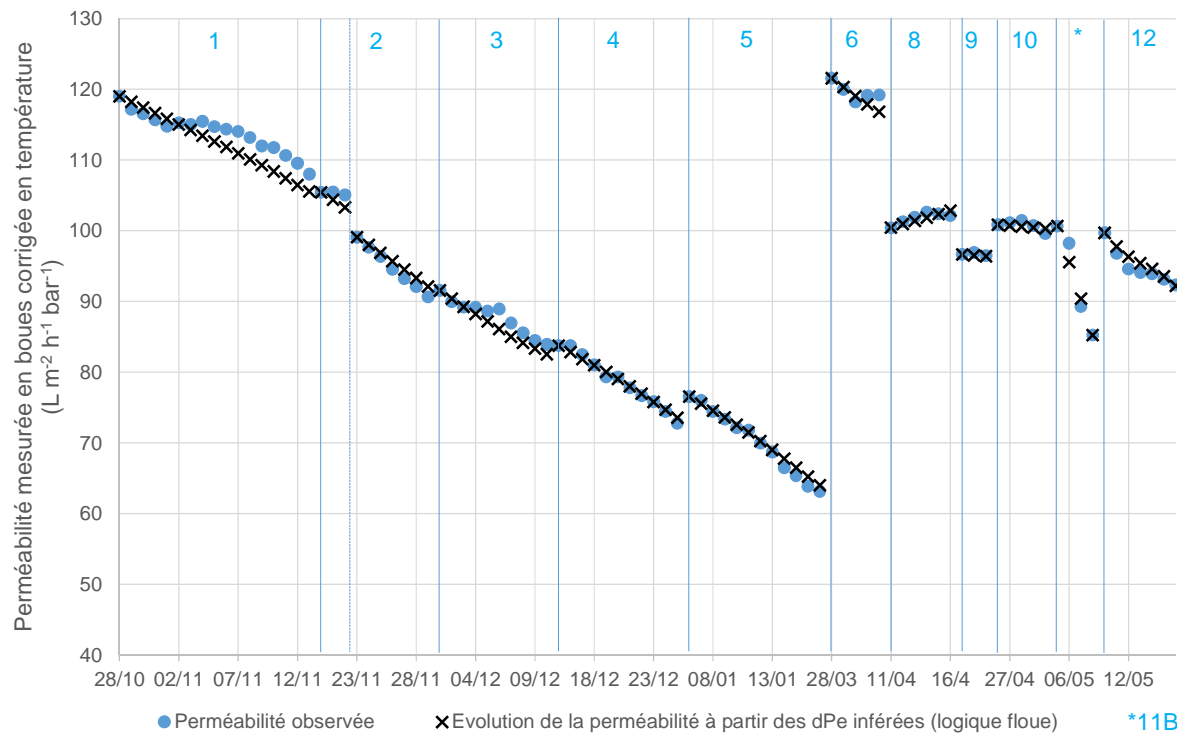
Speaker : Elodie Suard

Session :

#ASTEE2019

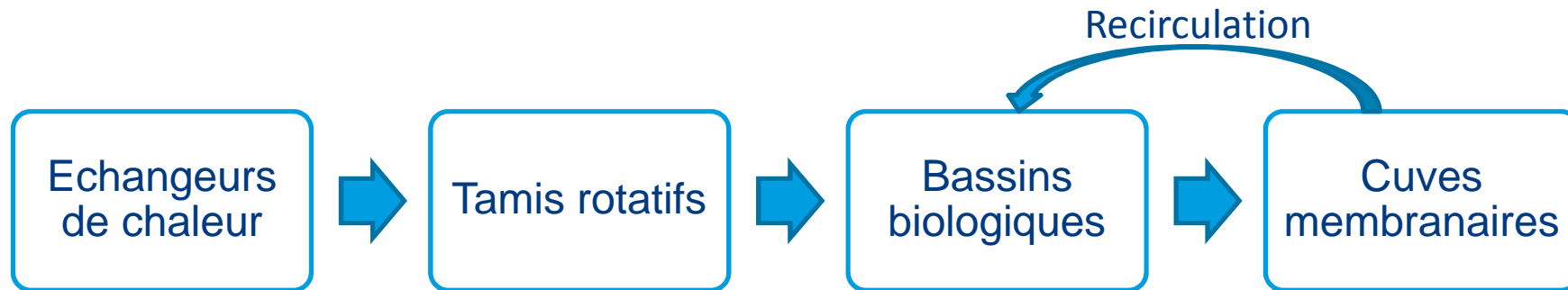
Développement d'un modèle prédictif

- Variable à modéliser : dérive de perméabilité journalière (dPe)
- Jeu d'apprentissage extrait de l'ensemble de la base de données (80 %)
- Validation sur les 20 % restant



Seine Aval – Unité de traitement des jus (TDJ)

- Filtrats issus du traitement des boues de la station Seine Aval



Valeurs médianes	Température (°C)	Age de boues (j)	MES _{CM} (g L ⁻¹)	DCOs (mg L ⁻¹)
Campagne expérimentale	34,2	17,5	9,1	1023

Adaptation au pilote – Simulation numérique

- Sensibilité aux paramètres de mesure et d'inversion

Choix de paramètres adaptés

- Diffusion observée en zone éloignée des électrodes
- Artéfacts générés lors de l'inversion

