
Journées de rencontres de la Graduate Initiative –Energy and industry
of the Future

Transfert de masse multiphasique entre une cavité et un écoulement externe

le 02 Juillet 2026

Par : **Zahrae OUTLYTE et Julien LANDEL**

Applications
industrielles et
quotidiennes





Ecologie & Energie

Réduire la consommation de
ressources (chimique) et
énergie



Sécurité Sanitaire

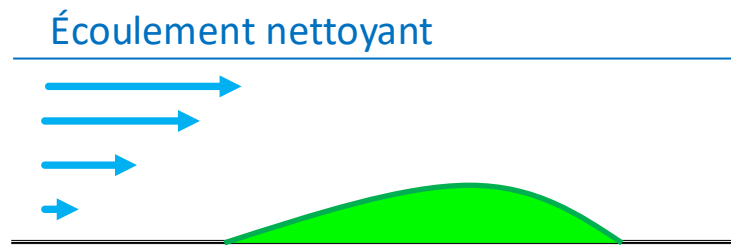
Hygiène et limiter la
prolifération de bactérie/virus



Durabilité

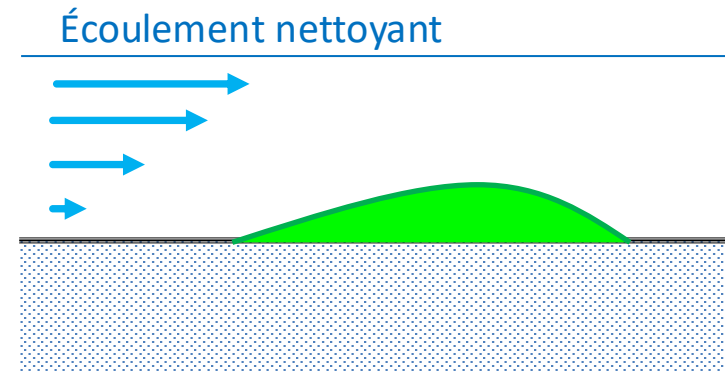
Longévité des équipements
industriels, ménagers

Surfaces planes imperméables



Landel et al. JFM (2016)

Surfaces poreuses et absorbentes

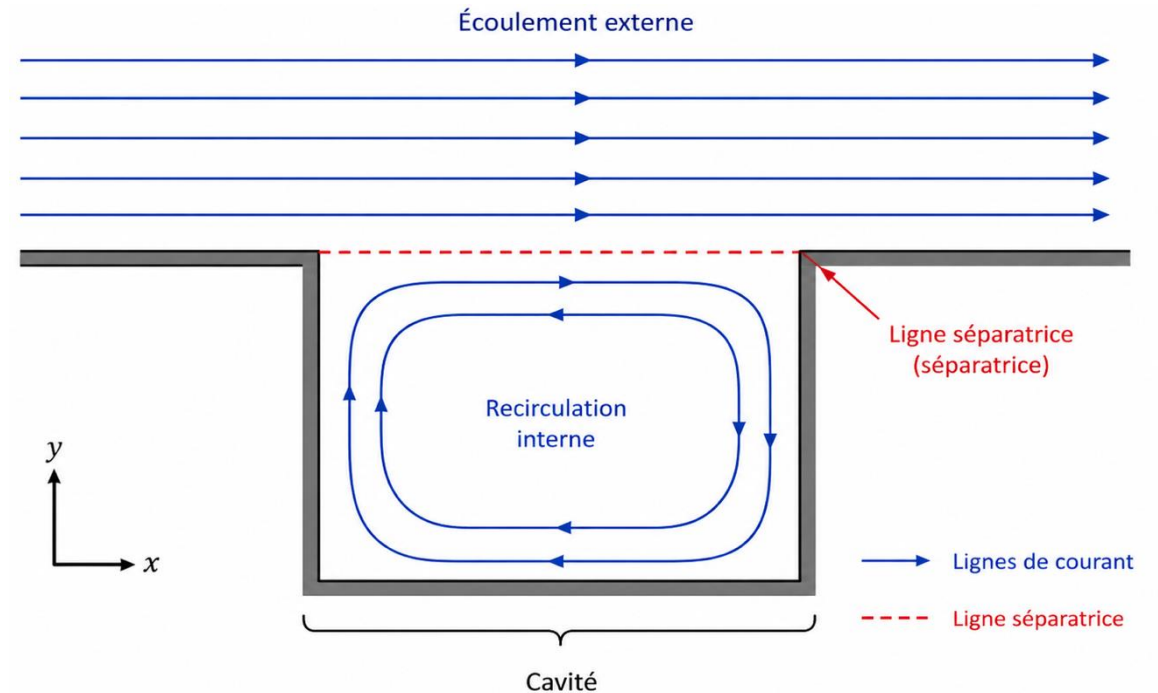


Etzold et al. JFM (2023)

Transfert de masse entre une cavité et un écoulement externe

Objectif général

- Étudier comment un fluide piégé dans une cavité est renouvelé par l'écoulement extérieur.
- Identifier le rôle du cisaillement, de la recirculation interne et de la séparatrice.
- la recirculation qui se forme à l'intérieur de la cavité, et la séparatrice



Pour comprendre complètement le transfert de masse, il faut regarder deux aspects complémentaires.

Déjà étudié

Concentration

Ce que l'on mesure

- Évolution de la concentration $c(t)$.
- Quantification du transfert de masse macroscopique.

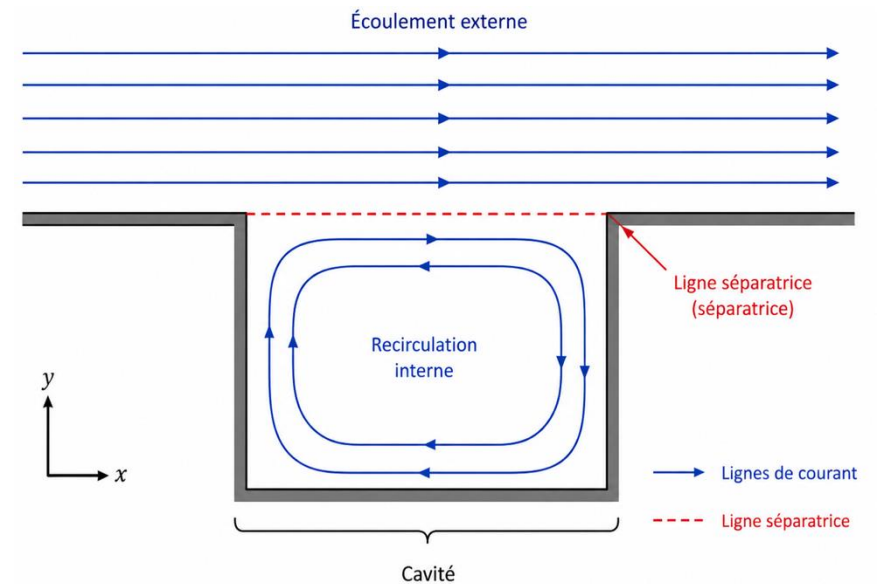


Mon stage

Vitesse / PIV

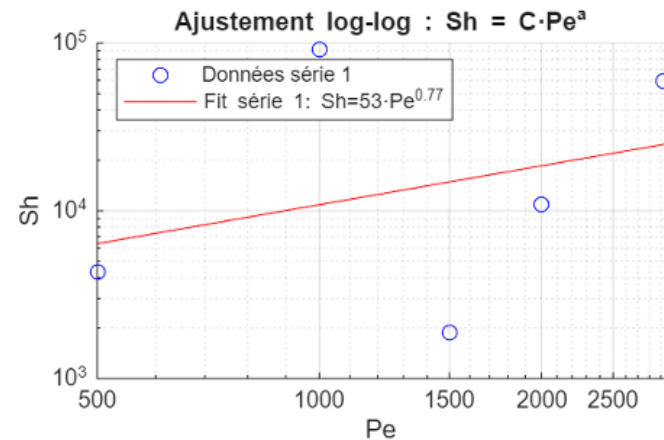
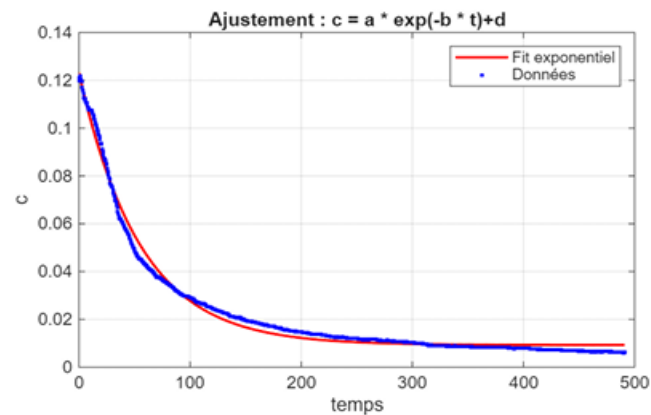
Ce que l'on comprend

- Champ de vitesse instantanée $v(t)$.
- Position de la recirculation et de la séparatrice.
- Effet du nombre de Reynolds sur les instabilités.



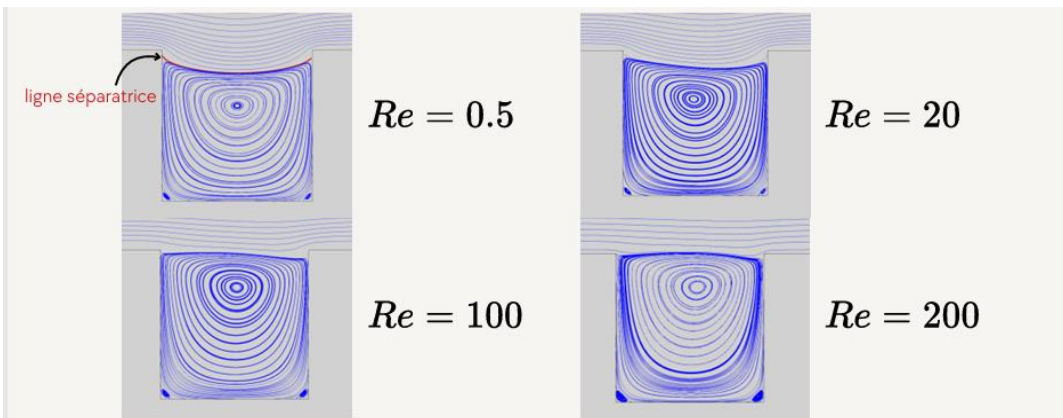
l'évolution de la concentration fait par Aurélien Bertrand – Stage à LMFA 2025

- Suivi de concentration : évolution de $c(t)$ dans le temps.
- Calibrage intensité caméra $\rightarrow$ concentration.
- Mise en évidence de régimes d'écoulement : stable, transitoire, instationnaire, chaotique.



Travaux numériques

En parallèle des expériences, des travaux numériques ont été réalisés par Shana Djouaher – Stage à LMFA 2025 .

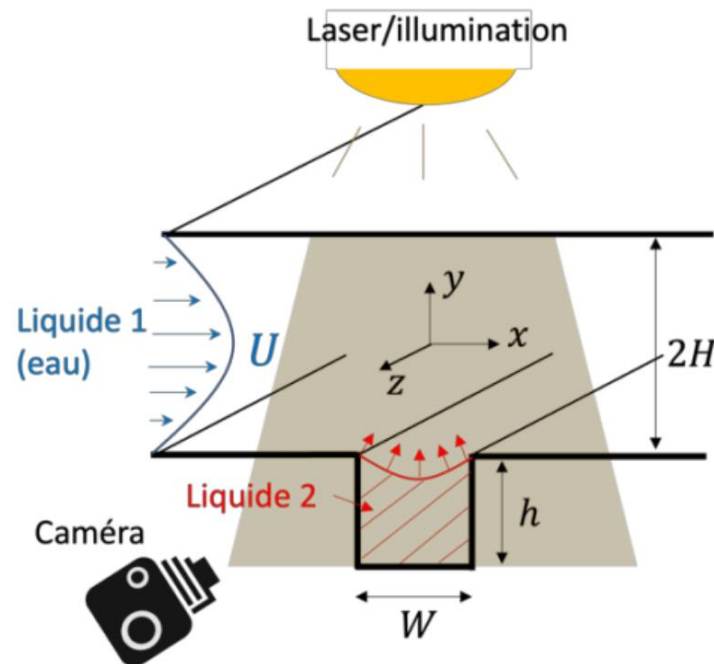


- Résolution numérique des équations de Navier-Stokes et du transport d'un scalaire passif.
- Analyser la recirculation, la séparatrice, et l'influence des nombres adimensionnels comme Reynolds et Péclet.

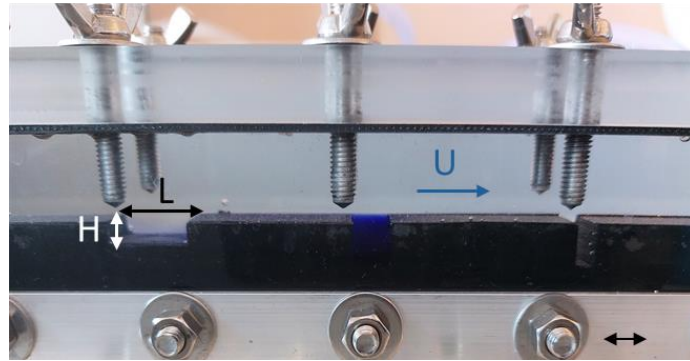
**Concentration + numérique + PIV =
compréhension complète du transfert de masse**

Montage expérimental

un cas monoespèce, car il permet de se concentrer uniquement sur la dynamique de l'écoulement, sans ajouter d'effets.

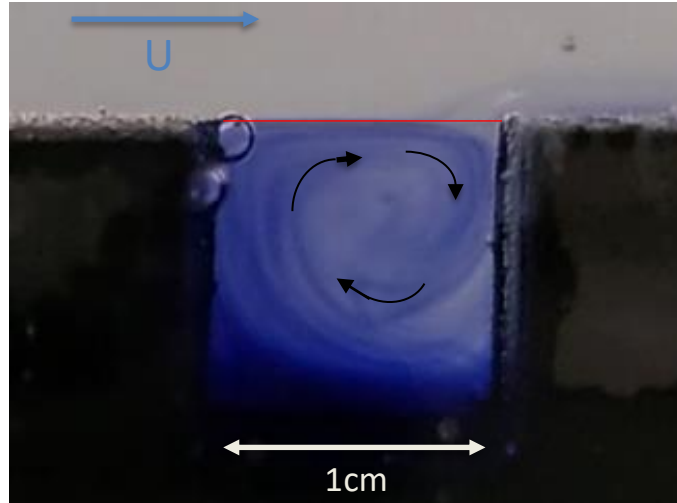


Montage expérimental



- Quatre cavités de dimensions différentes
- Ratios d'aspect $A = \frac{L}{H}$ de valeurs 0.5, 1 et 4





Nombres adimensionnés importants :

$$Re_h = \frac{Uh}{\nu}, A_{r1} = \frac{L}{H}, A_{r2} = \frac{W}{H}, A_{r3} = \frac{W}{h}$$

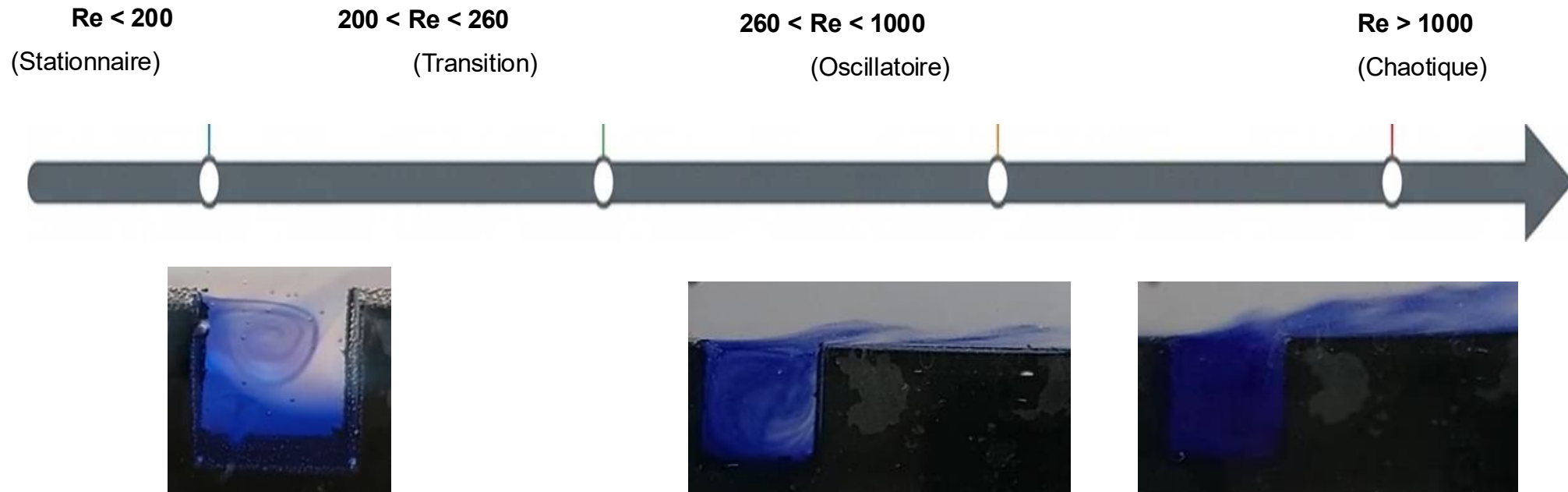
U =vitesse moyenne, ν =viscosité, h =hauteur de la conduite, L =longueur longitudinale, W =longueur transversale, H =profondeur de la cavité,

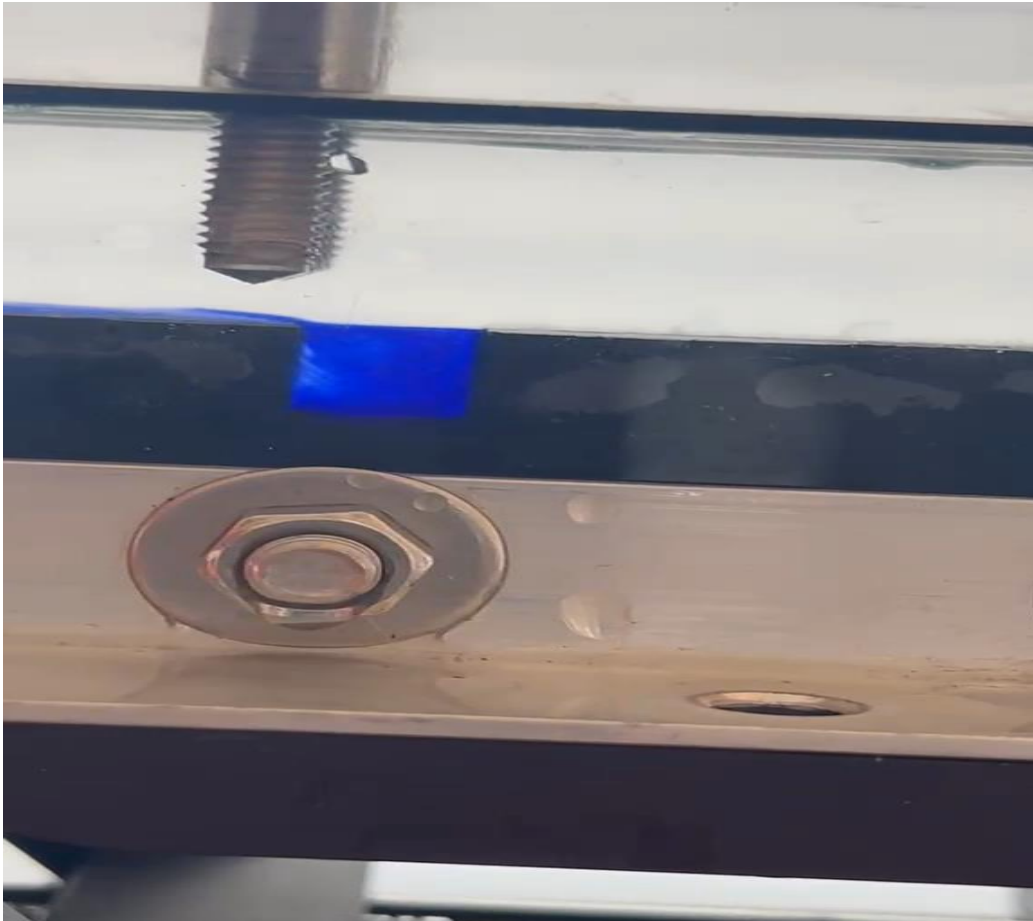
La structure typique de l'écoulement :

- Fort gradient de vitesse entre la cavité et l'écoulement extérieur
- Recirculation principale au centre
- **Ligne séparatrice** à la limite de la cavité
- Instabilités de la séparatrice dépendant du régime d'écoulement

Etude de la phénoménologie

En faisant varier le nombre de Reynolds, on observe plusieurs régimes d'écoulement.





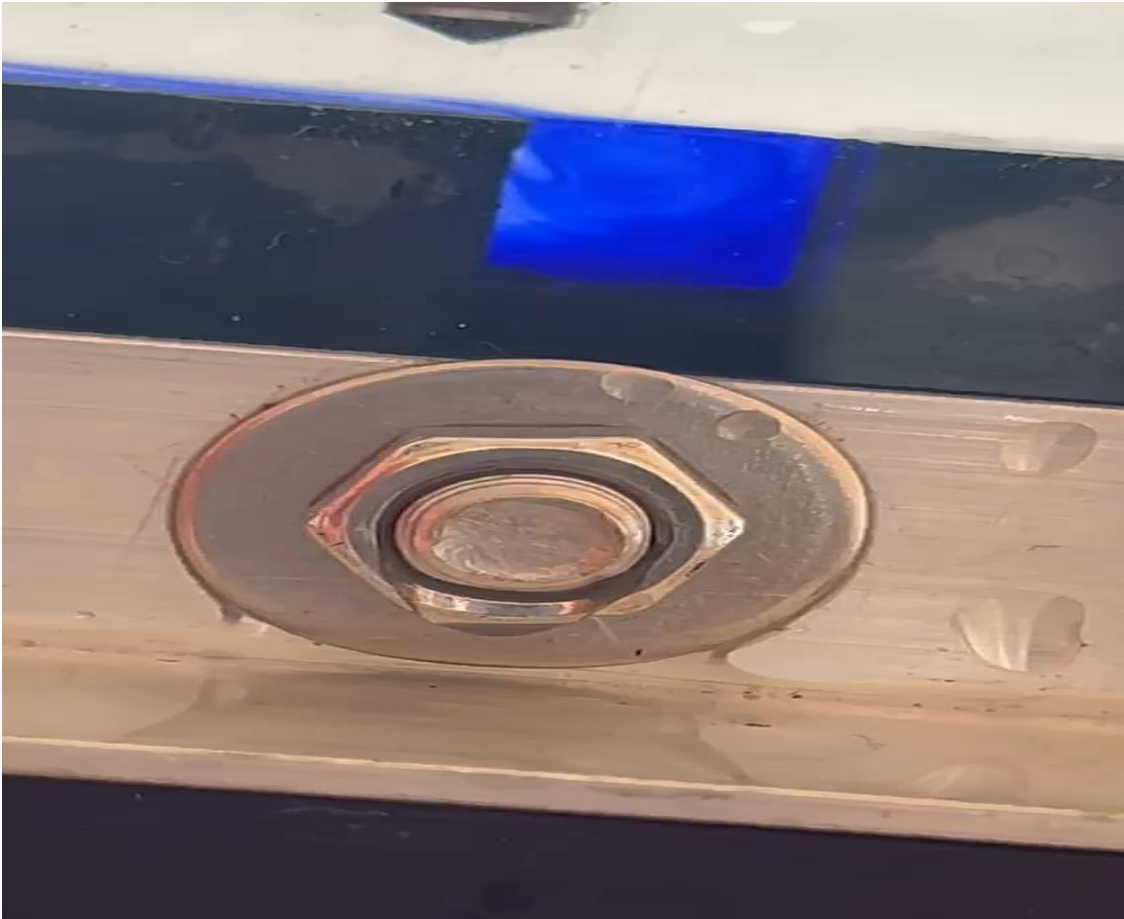
Essai : Régime Instationnaire

Débit (Q) : $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Nombre de Reynolds (Re): 278

R3 (Instationnaire) : $260 < Re < 1000$

Éjections successives périodiques dues au battement vertical de la séparatrice.



Essai : Régime Chaotique

Débit (Q) : $Q = 3000 \text{ ml/min} = 50 \text{ cm}^3/\text{s}$

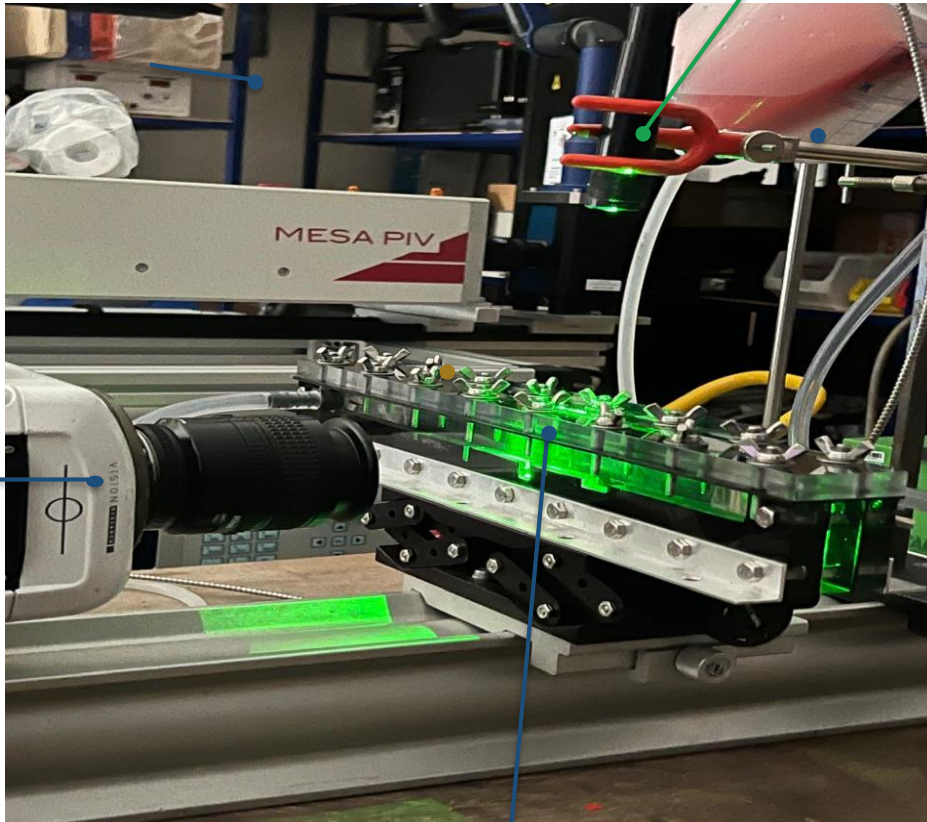
Nombre de Reynolds (Re): 1398

R4 (Chaotique) : $Re > 1000$

Éjection chaotique et fluctuations aléatoires ;
transfert de masse extrêmement rapide

Montage expérimental PIV

Nappe laser verte



Caméra rapide

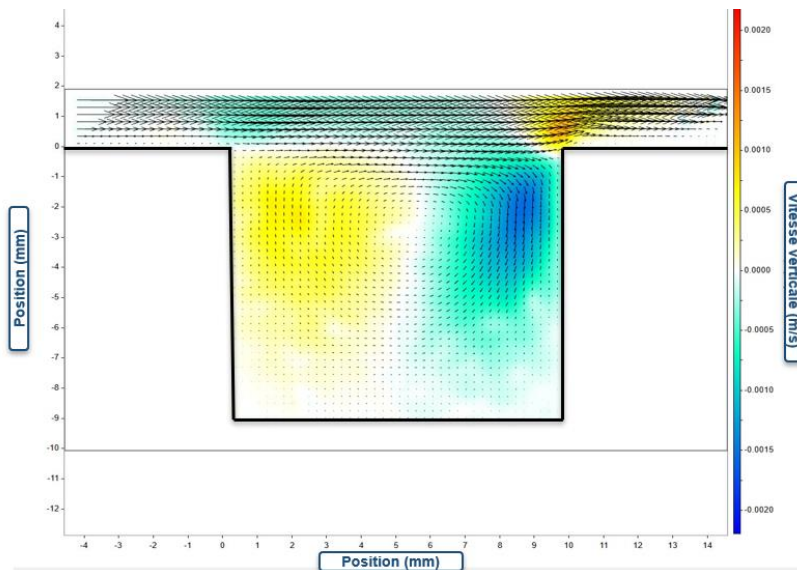
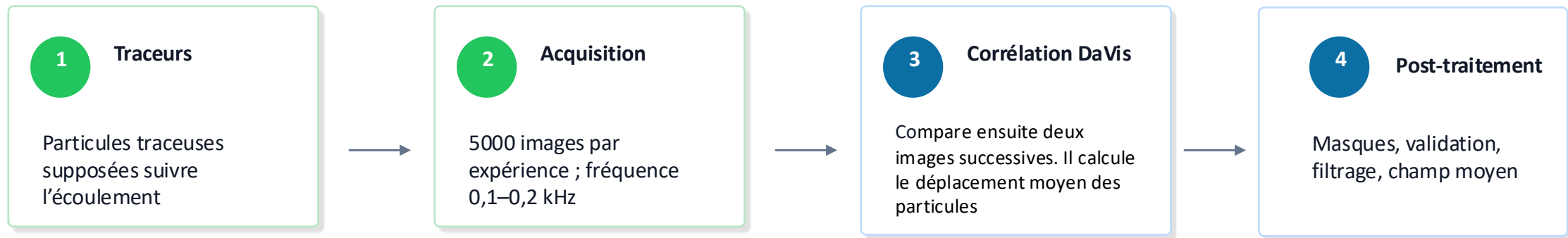
Cellule transparente

Objectif

Visualiser la recirculation interne et la séparatrice à partir du champ de vitesse.

- Circuit hydraulique : écoulement d'eau au-dessus d'une cavité
- Caméra rapide Phantom + logiciel LaVision / DaVis
- Traceurs et filtre optique pour améliorer le signal utile

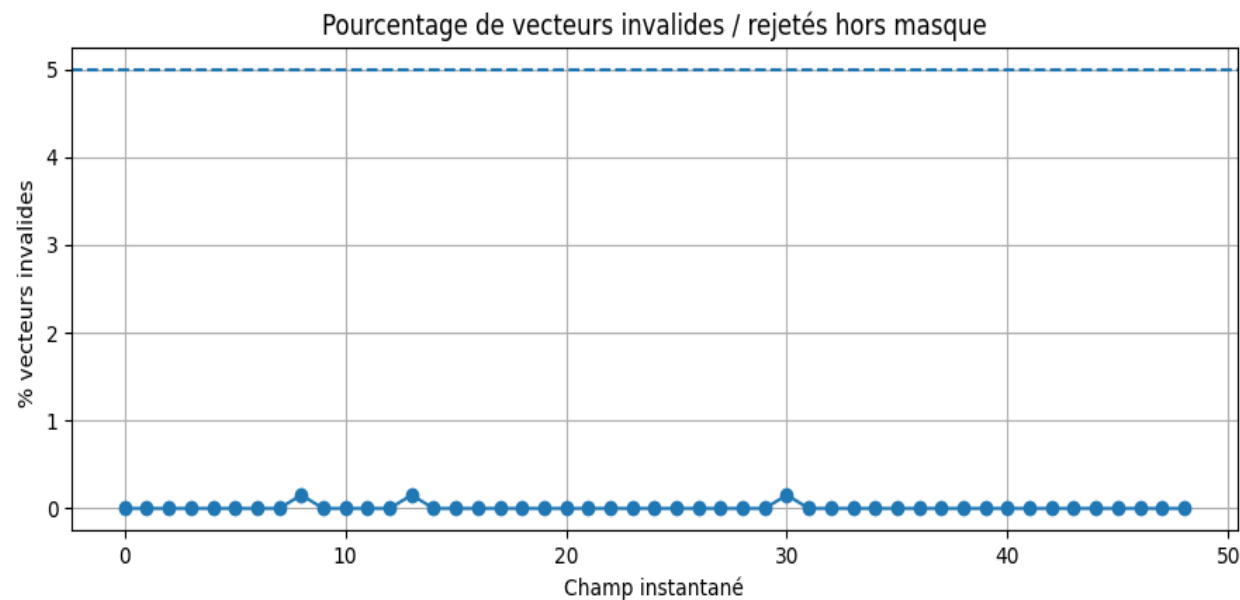
Chaîne d'acquisition et de traitement



Sortie DaVis : champ instantané de vitesse

- Vecteurs : direction et intensité locale de l'écoulement
- Masque : exclusion des parois et zones saturées

Contrôler la qualité avant l'interprétation physique



Pourcentage de vecteurs invalides / rejetés hors masque

Critère

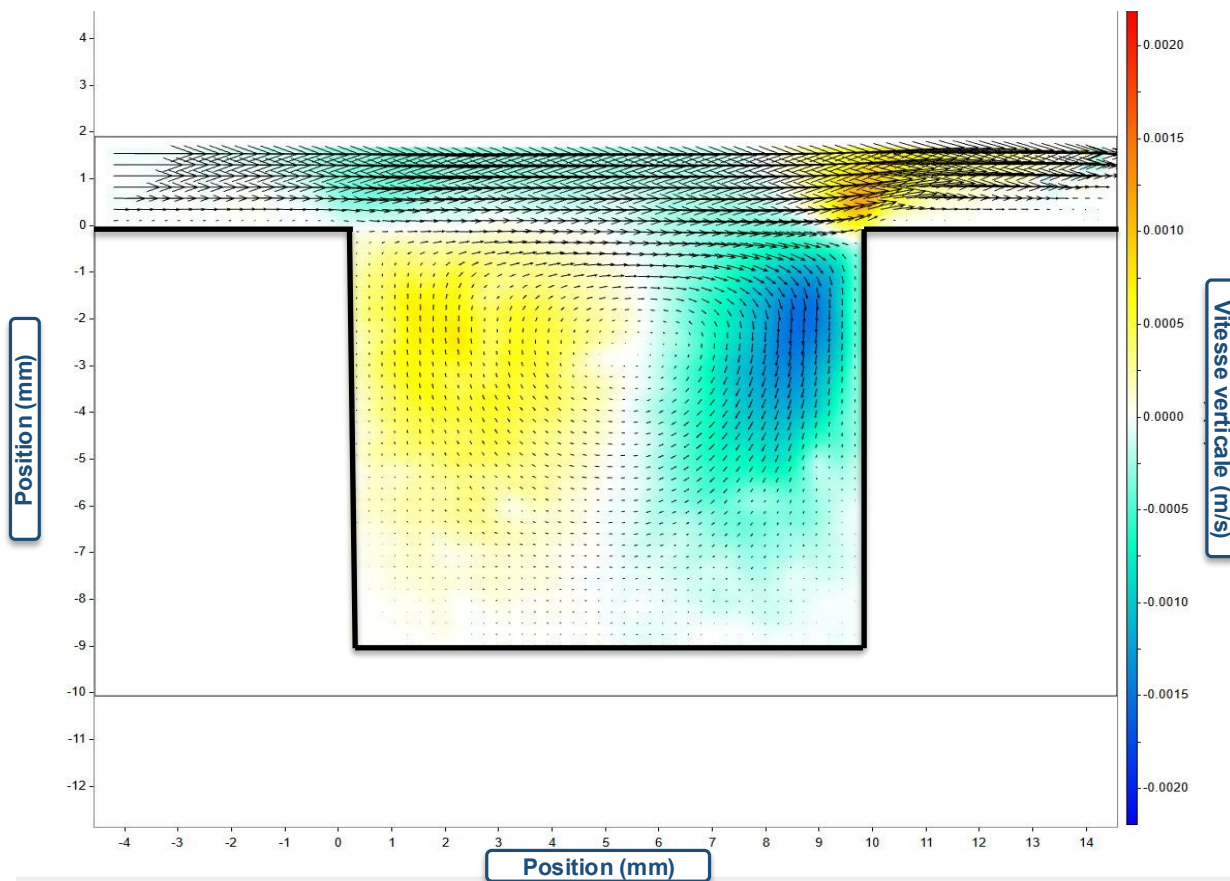
$$P_{\text{rejet}} = N_{\text{rejets}} / N_{\text{total}} \times 100$$

Résultat

Le taux de rejet reste très faible et largement inférieur à la limite indicative de 5%.

→ les champs retenus sont cohérents pour l'analyse.

Champ moyen de vitesse obtenu par PIV

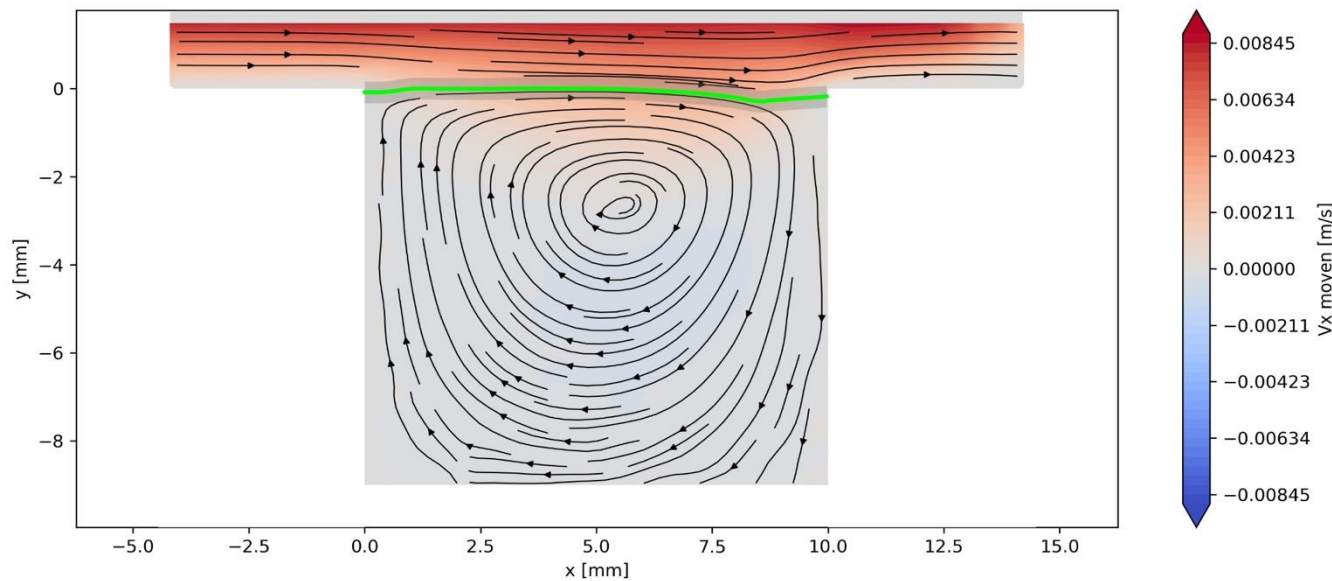


Observation

- Écoulement principal orienté de l'amont vers l'aval au-dessus de la cavité
- Zone de cisaillement au niveau de l'ouverture
- Recirculation principale dans la cavité
- Vitesses plus faibles dans la cavité : mouvement confiné

Moyenne sur 100 images

Comparer la topologie de la Vitesse moyenne pour différents nombres de Reynolds



Séparatrice moyenne avec bande d'incertitude

La séparatrice délimite l'écoulement principal et la zone de recirculation interne.

Résultats : analyse de la séparatrice dans la cavité pour différents régimes

- Cas 1 $Re = 93$
- Cas 2 $Re = 172$
- Cas 3 $Re = 188$
- Cas 4 $Re = 207$
- Cas 5 $Re = 260$



Position de la séparatrice pour les régimes stable et transitoire

Tendance observée

- À faible Re : séparatrice proche d'une position stable
- Quand Re augmente : déformation progressive, surtout vers l'aval

Perspectives

- Étudier les autres régimes d'écoulement
- Calculer la vitesse d'éjection
- Comparer PIV, concentration et simulations numériques

Concentration + numérique + PIV

→ comprendre les mécanismes du transfert de masse dans la cavité

