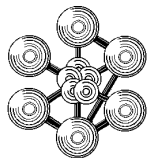


Modélisation d'une colonne d'extraction à effet Taylor-Couette.

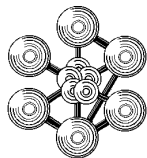
S. Gounand DEN/DM2S/SFME/LTMF CEA Saclay

J. Duhamet DEN/VRH/DRCP/STPI/LGCI CEA Valrhône-Marcoule

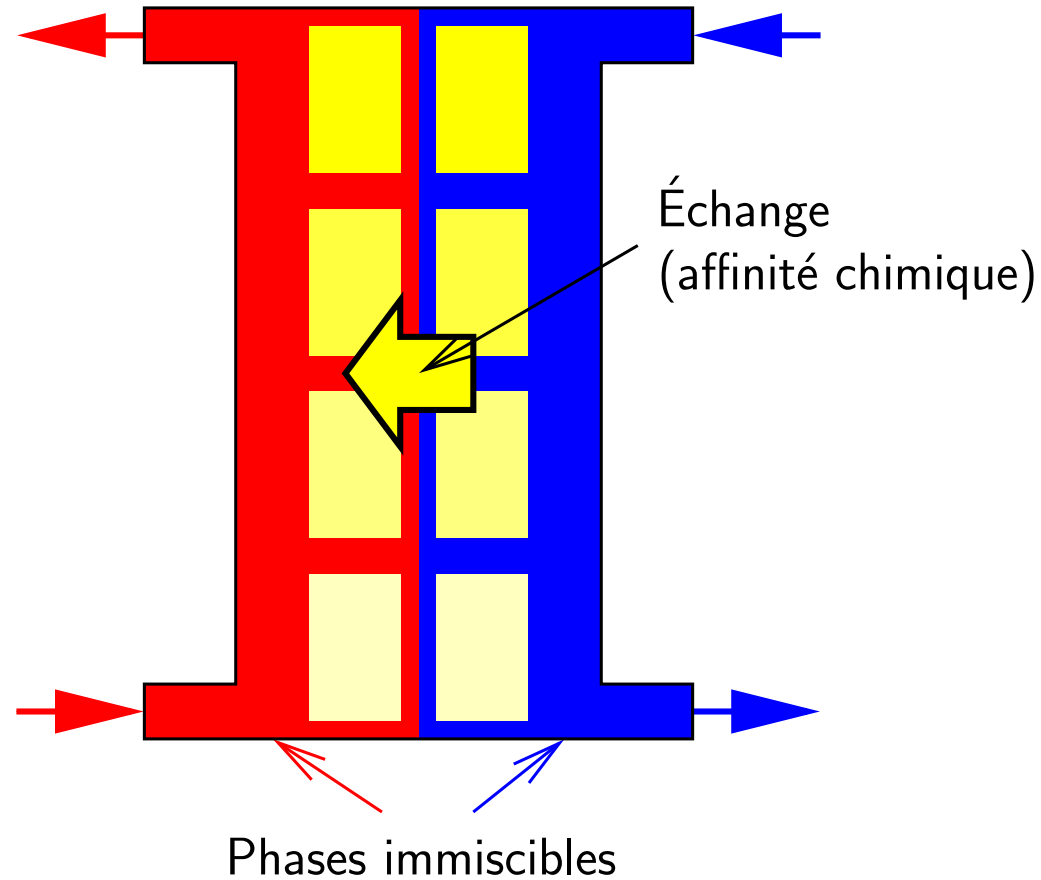


Plan

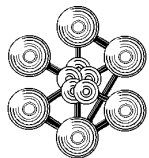
1. Description du dispositif ;
2. Modélisation fluide axisymétrique stationnaire monophasique : obtention des rouleaux de Taylor-Couette ;
3. Imposition d'un débit fluide traversant (axial) dans l'écoulement obtenu ;
4. Transport d'un colorant par le champ de vitesse obtenu à l'étape précédente ;
5. Perspectives.



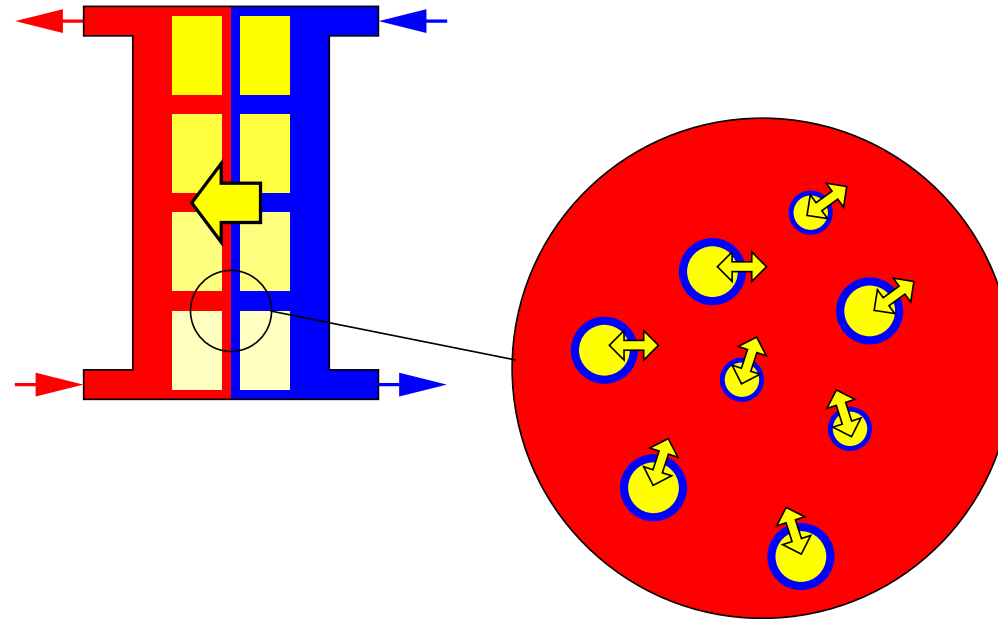
Description : schéma de principe



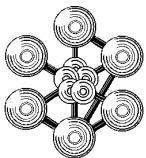
Colonne d'extraction liquide-liquide à contre-courant.



Description : échange entre phases



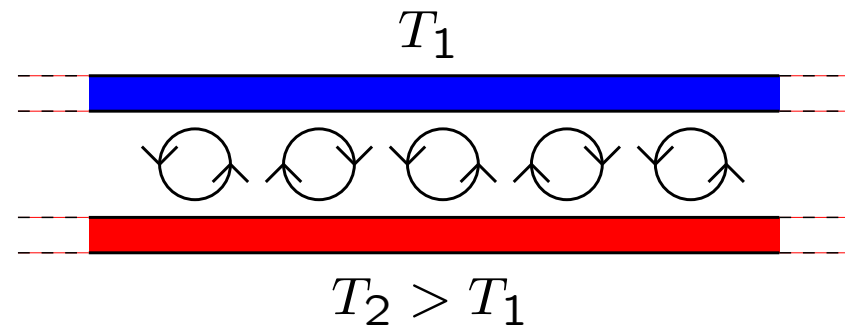
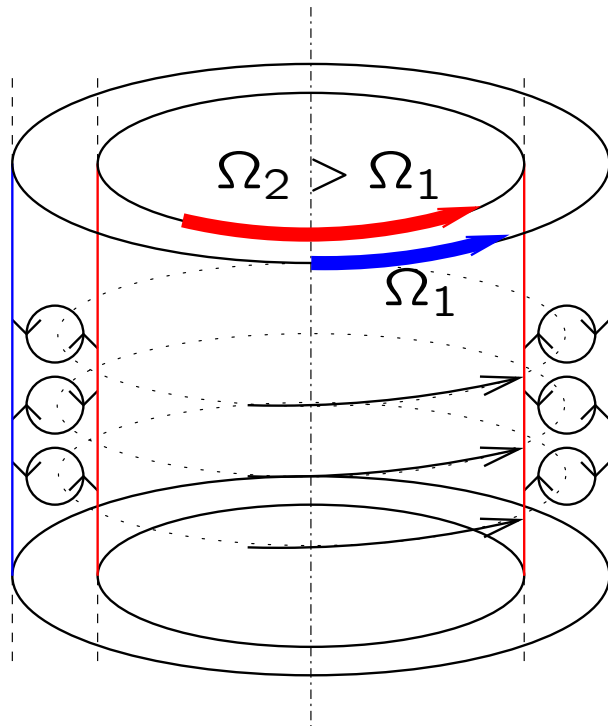
- Création et maintien d'une émulsion (chimique, mécanique,...)
- Effets concurrents (taille des gouttes) :
 - augmentation de la surface d'échange : $S/V \propto 1/a$;
 - vitesse de Stokes : $v = \frac{2g\delta\rho}{9\mu}a^2$.



Description : instabilités à seuil

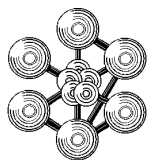
Taylor-Couette

Rayleigh-Bénard

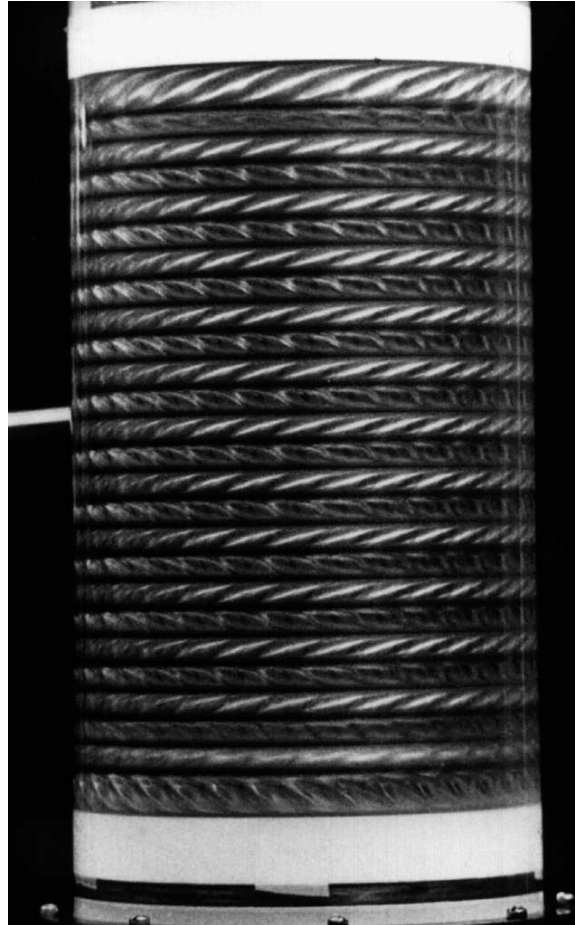


gradient radial de force centrifuge \longleftrightarrow
viscosité

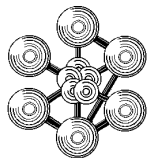
poussée d'Archimède \longleftrightarrow diffusion
thermique



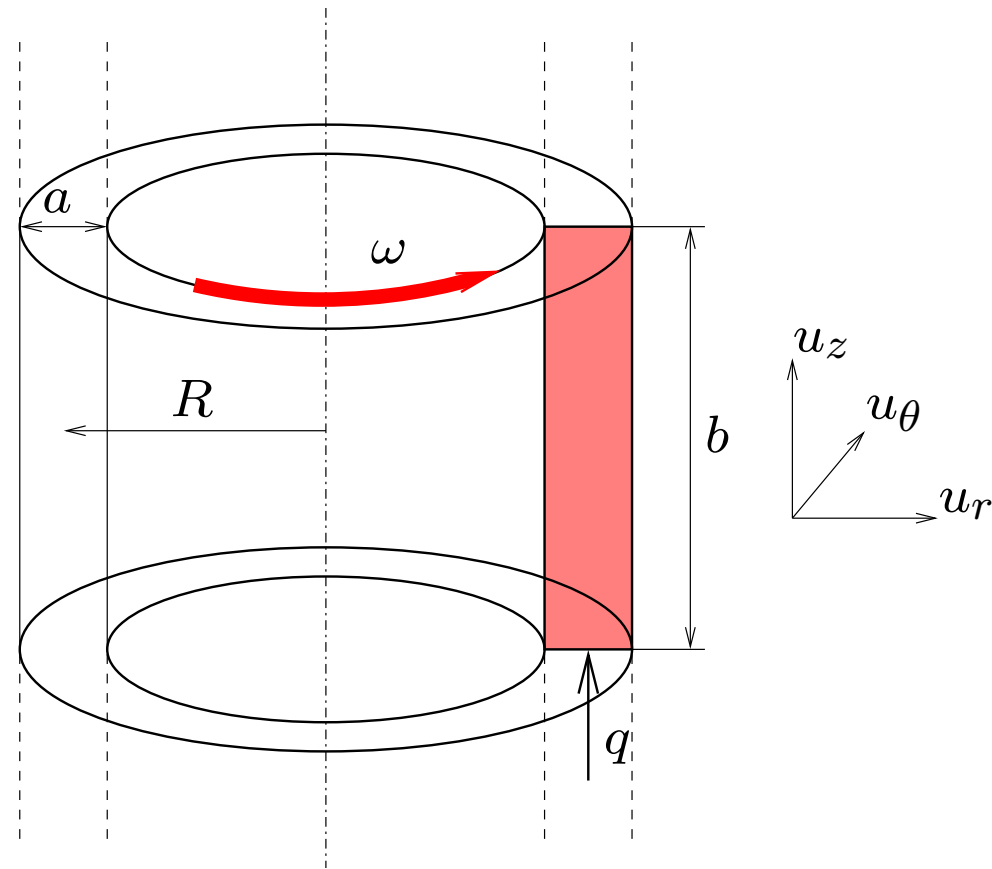
Description : photo



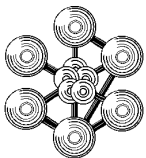
Colonne à effet Taylor-Couette.



Modélisation fluide : géométrie



Géométrie modélisée.



Modélisation fluide : équations

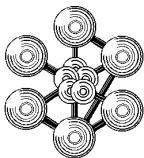
- Axisymétrique :

$$\frac{\partial}{\partial \theta} = 0 \text{ pour les inconnues } \mathbf{v} = (v_r \ v_\theta \ v_z) \ P$$

- Navier-Stokes stationnaire :

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{v}^{n+1} = 0 \\ (\mathbf{v}^n \cdot \nabla) \mathbf{v}^{n+1} = -\frac{\nabla P^{n+1}}{\rho} + \nu \Delta \mathbf{v}^{n+1} \\ \mathbf{v}^{n+1}|_{\text{bord}} = \mathbf{v}^0|_{\text{bord}} \end{cases}$$

- Méthode d'éléments finis standard (éléments Q_2/Q_1).



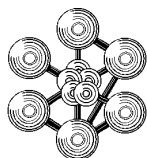
Modélisation fluide : paramètres

- Paramètres géométriques :

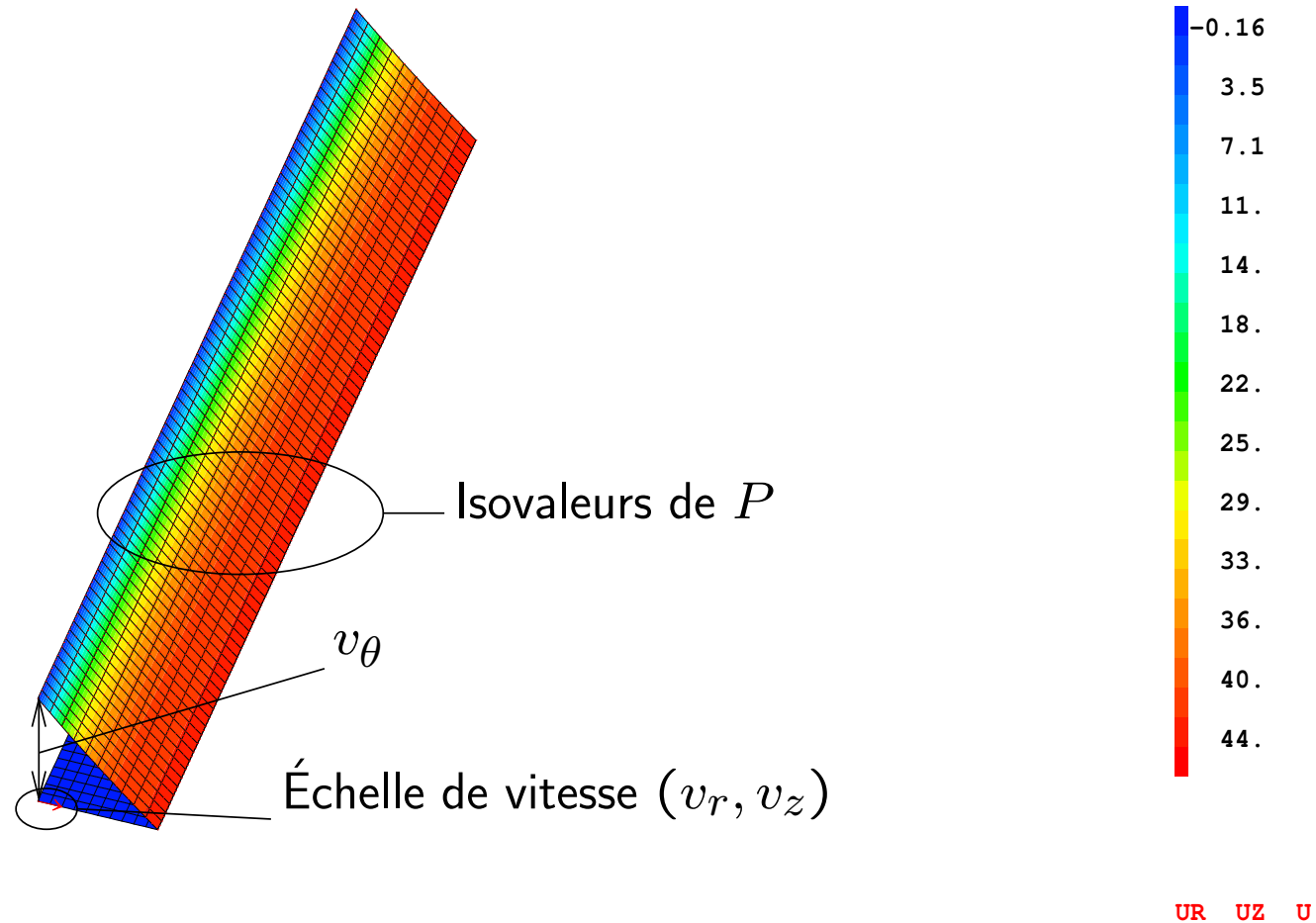
Nom	Symbole	Unité	Valeur
Rayon moyen	R	mm	9,25
Intervalle entre les cylindres	a	mm	1,5
Allongement	b/a	—	8
Hauteur (allongement réel)	$H, H/a$	$mm, —$	750, 500
Vitesse de rotation	ω	$tr.min^{-1}$	1000

- Paramètres physiques :

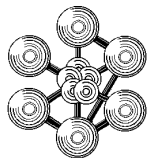
Nom	Symbole	Unité	Valeur
Masse volumique	ρ	$kg.m^{-3}$	1000
Viscosité dynamique	ν	$m^2.s^{-1}$	1.10^{-6}
Nombre de Taylor	$Ta = \frac{\omega^2 a^3 R}{\nu^2}$	—	$3,4.10^5$
Taylor critique	Ta_c	—	1712
Débit volumique	q	$ml.h^{-1}$	0 ou 200



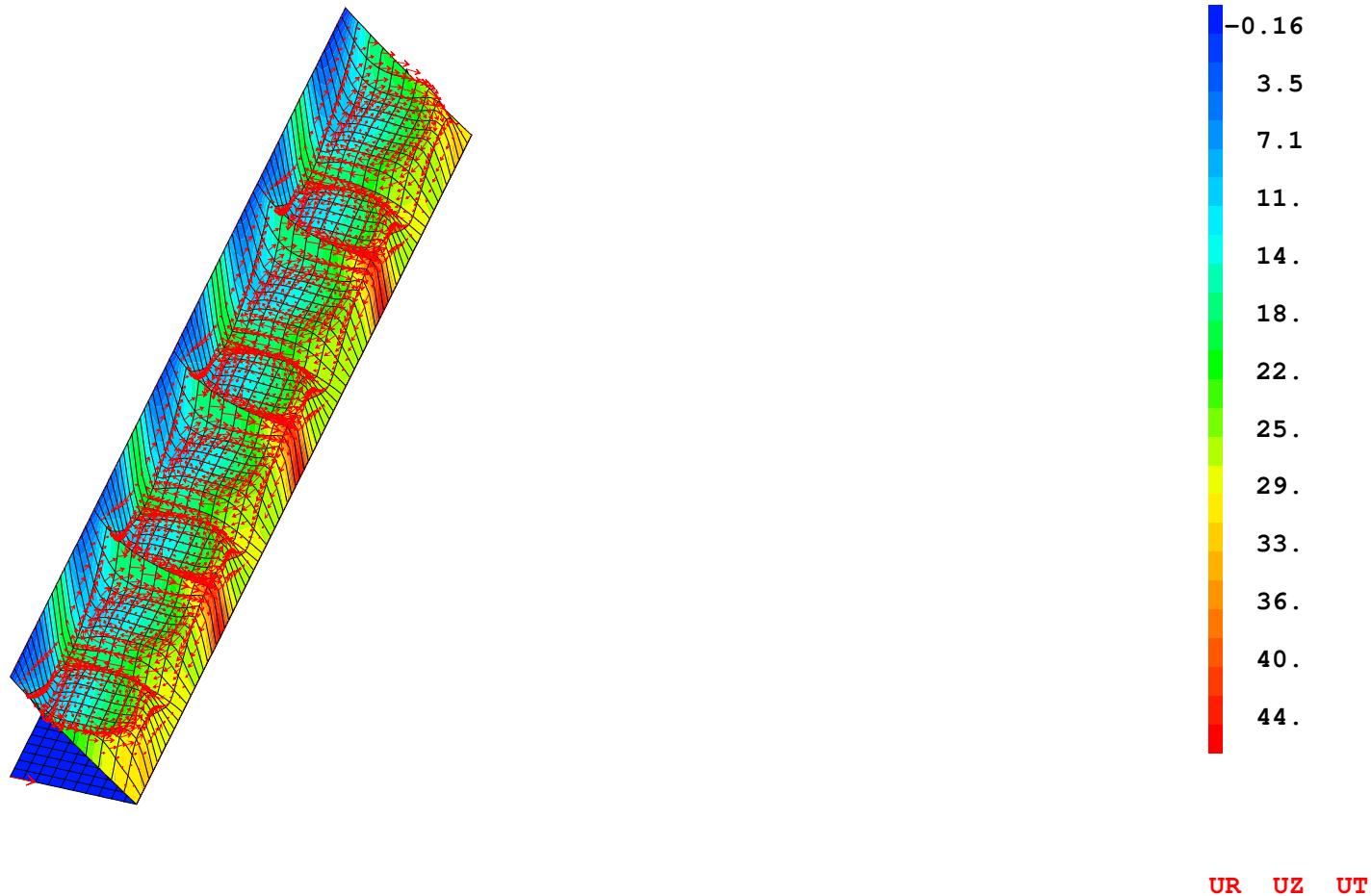
Modélisation fluide : résultats (I)



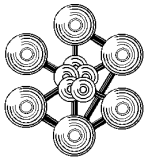
Écoulement initial (\mathbf{v}^0, P^0) non déstabilisé (Couette).



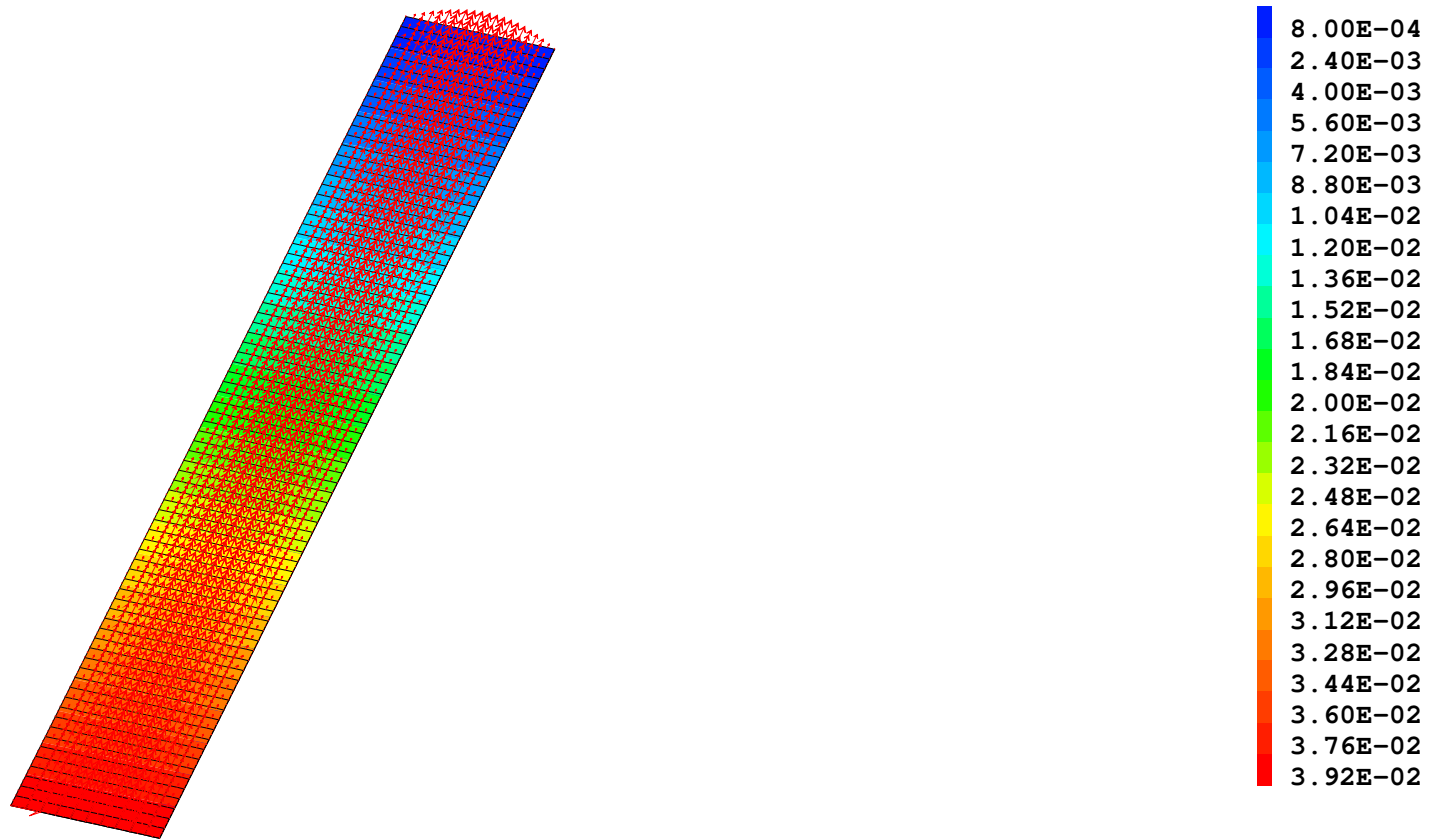
Modélisation fluide : résultats (II)



Écoulement déstabilisé (Taylor-Couette) ($\|v_r, v_z\| = 0,17 \text{ m.s}^{-1}$).

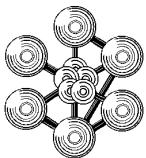


Modélisation fluide : résultats (III)

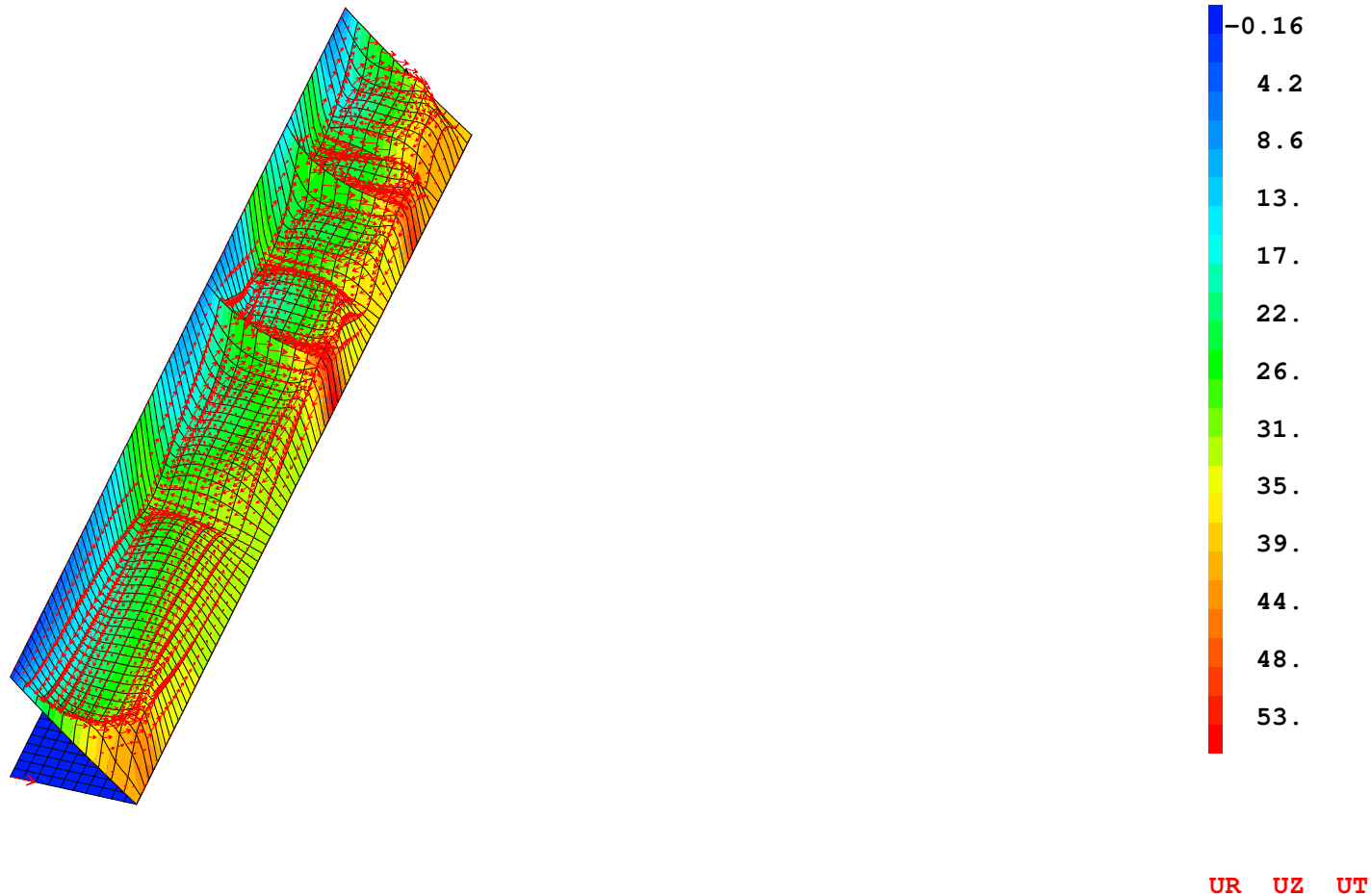


UR UZ UT

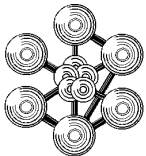
Écoulement de Poiseuille ($\|v_z\| = 9,4 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$).



Modélisation fluide : résultats (IV)



Écoulement déstabilisé + débit ($\|v_r, v_z\| = 0,17 \text{ m.s}^{-1}$).



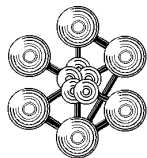
Modélisation fluide : résultats (V)

- Paramètres numériques :

Nom	Unité	Valeur
Nombre d'éléments	-	800
Nombre de d.d.l.	-	11034
Nombre d'itérations	-	260 + 700
Temps CPU par itération	<i>s</i>	2,5

- Paramètres physiques :

Nom	Unité	Valeur
Échelle de vitesse v_r	$m.s^{-1}$	0,15
Échelle de vitesse v_θ	$m.s^{-1}$	0,89
Échelle de vitesse v_z	$m.s^{-1}$	0,14
Échelle de pression ΔP	<i>Pa</i>	20
Échelle de vitesse v_z (Poiseuille)	$m.s^{-1}$	1.10^{-3}
Échelle de pression ΔP (Poiseuille)	<i>Pa</i>	4.10^{-2}



Transport : équations

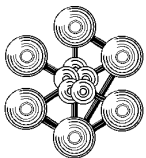
- Axisymétrique :

$$\frac{\partial}{\partial \theta} = 0 \text{ pour l'inconnue } c$$

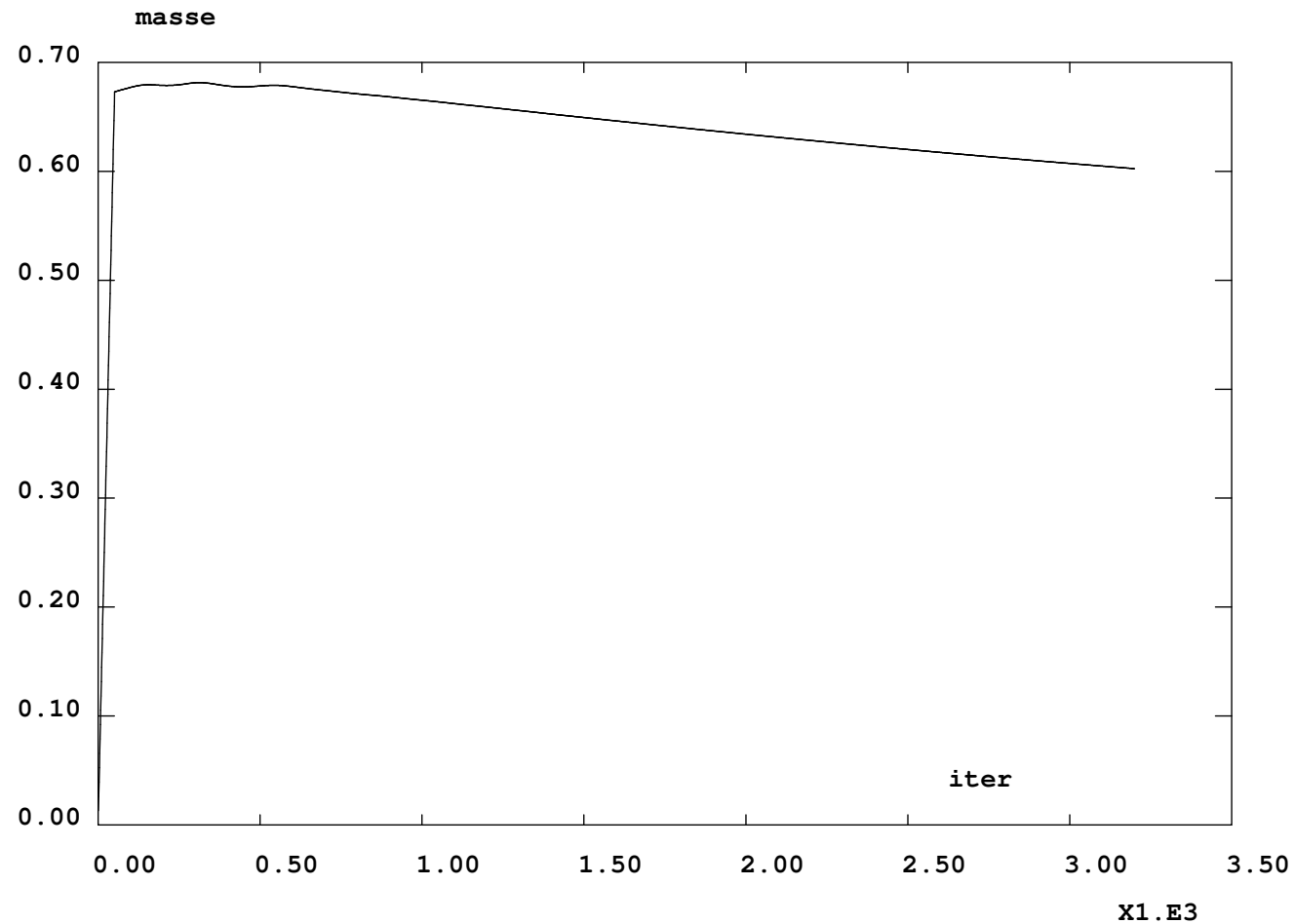
- Transport

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{v}_{\text{Taylor-Couette}} c) = s$$

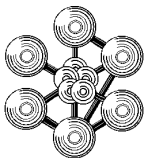
- Méthode d'éléments finis espace-temps moindres carrés (éléments Q_2).



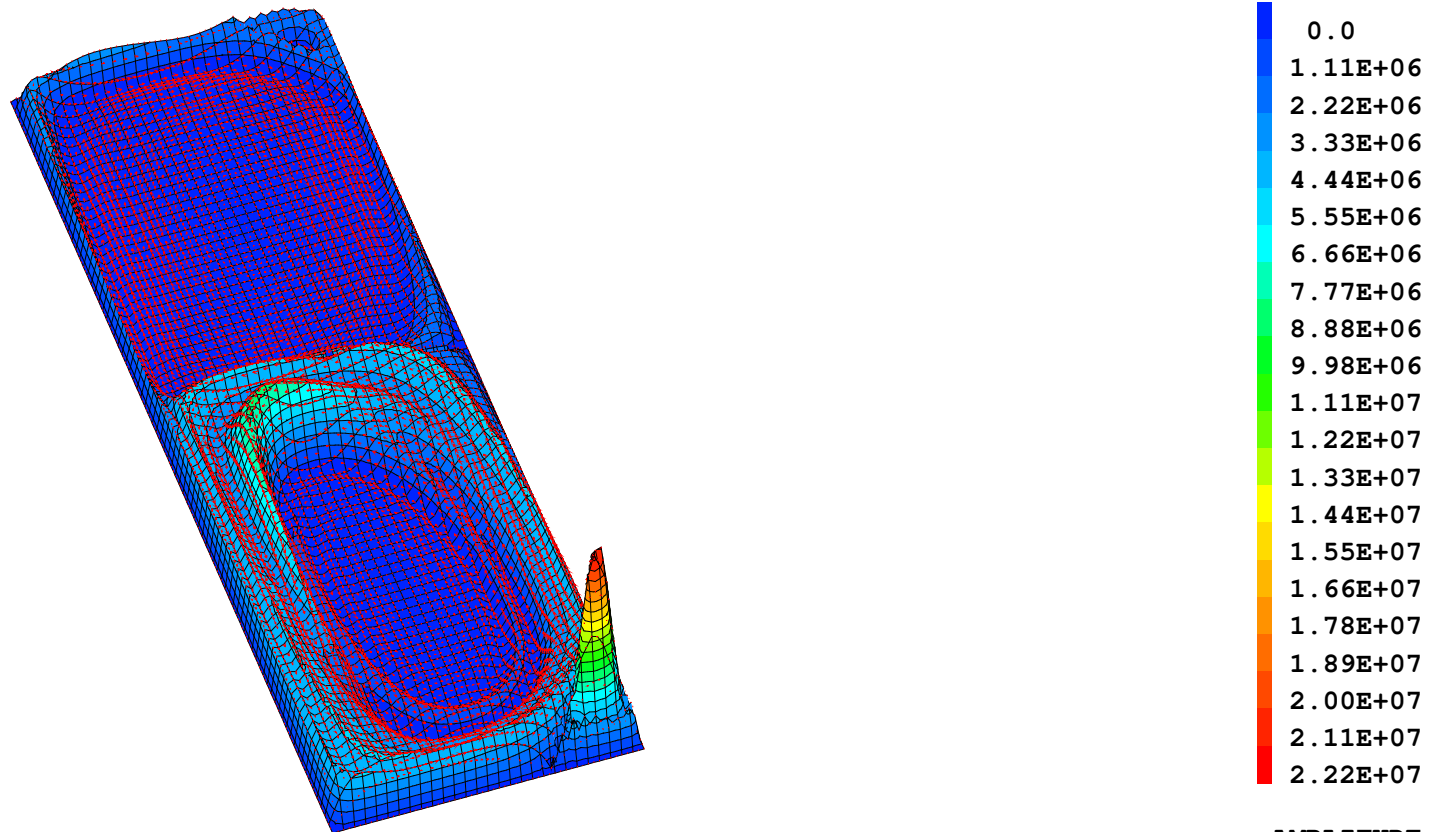
Transport : résultats (I)



Masse de colorant dans la colonne en fonction du nombre d'itérations.



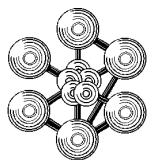
Transport : résultats (II)



AMPLITUDE
DEFORMEE

5U85E-11

Concentration à l'itération 3200.



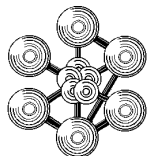
Transport : résultats (III)

- Paramètres numériques :

Nom	Unité	Valeur
Nombre d'éléments	-	2352
Nombre de d.d.l.	-	28899
Nombre d'itérations	-	6000
Temps CPU par itération	s	0,3

- Paramètres physiques :

Nom	Unité	Valeur
Nombre de cfl	-	0,9
Pas de temps dt	s	$3,5 \cdot 10^{-4}$
Temps final	s	2,11



Conclusion

- modélisation stationnaire axisymétrique monophasique d'un écoulement dans une colonne d'extraction ;
- méthode précise de transport passif d'un colorant.

Perspectives

- comparaison avec l'expérience ;
- modélisation diphasique ;
- conditions aux limites ;
- stabilité de la méthode de transport.

