

Perméabilité hydrodynamique des cristaux dendritiques

Parcours Recherche

Thomas Zielinski

Tuteurs : Miha Zaloznik et Jean-Sébastien Kroll-Rabotin

10 juin 2022

École Nationale Supérieure des Mines de Nancy
Institut Jean Lamour



Contexte

• Origine des dendrites

Croissance des dendrites

Importance industrielle

Contexte

- Origine des dendrites

Croissance des dendrites

Importance industrielle

- Simulations numériques

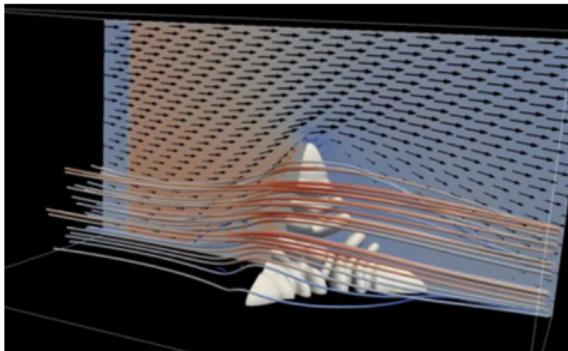


Figure 1 – Simulation d'écoulement autour d'une dendrite.

Contexte

- Origine des dendrites

Croissance des dendrites

Importance industrielle

- Simulations numériques

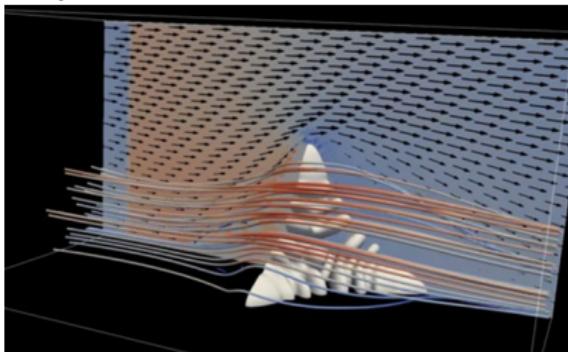


Figure 1 – Simulation d'écoulement autour d'une dendrite.

- Objectif : détermination de la force de trainée

$$\overline{F_{trainée}} = \iint_{S_{dendrite}} (-p\bar{n} + \bar{\tau} \cdot \bar{n}) dS \quad (1)$$

1 Détermination d'une force de trainée

- Résultats

2 Modélisation de la distribution de force

- Résultats

3 Conclusion et perspectives

4 Bibliographie

Réseau cubique de dendrites

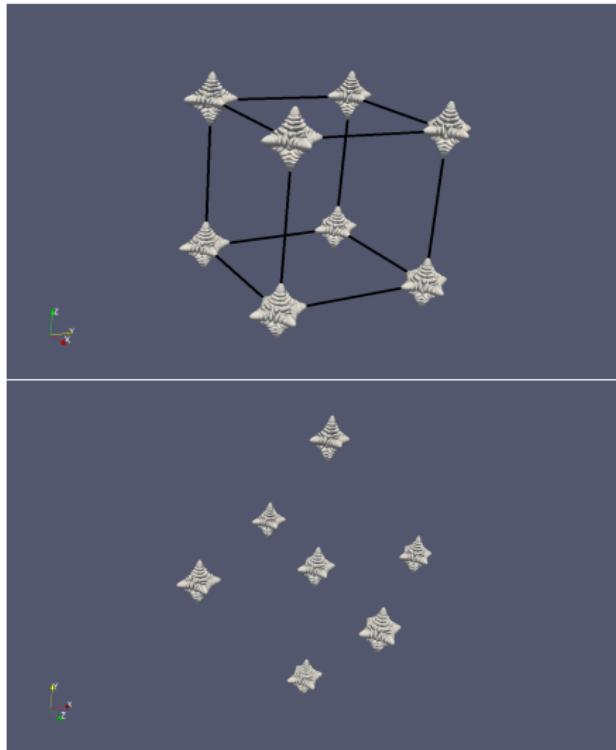


Figure 2 – Visualisation sur Paraview d'un réseau cubique de dendrites

Morphologies de dendrites équiaxes

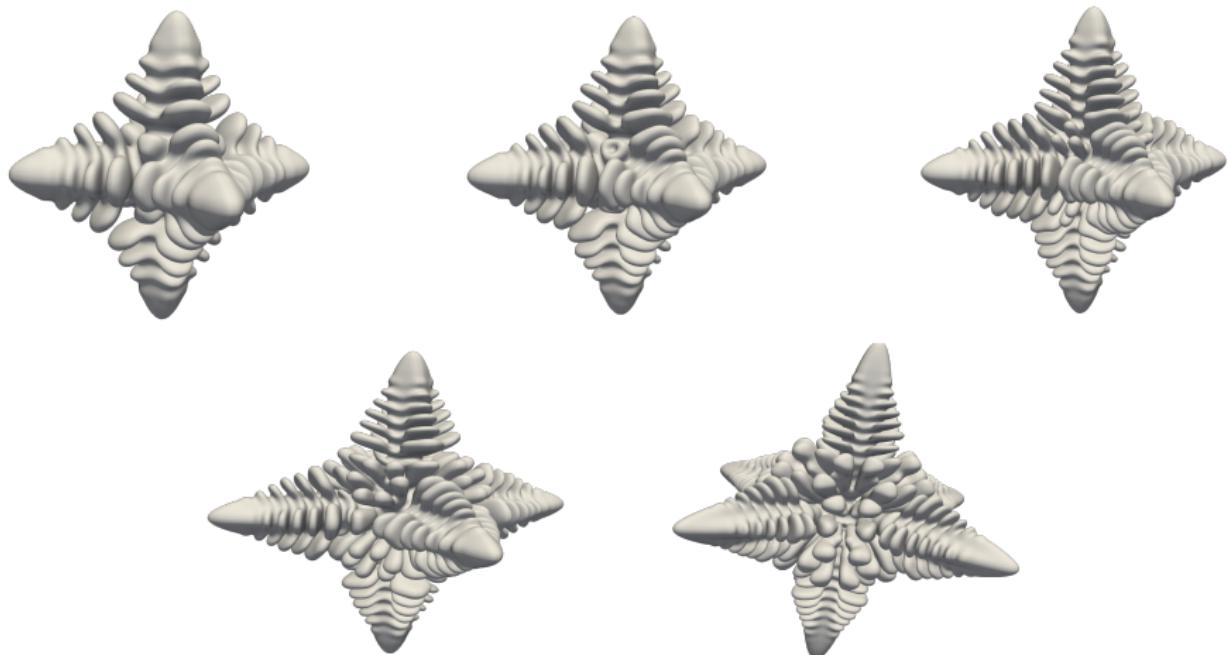
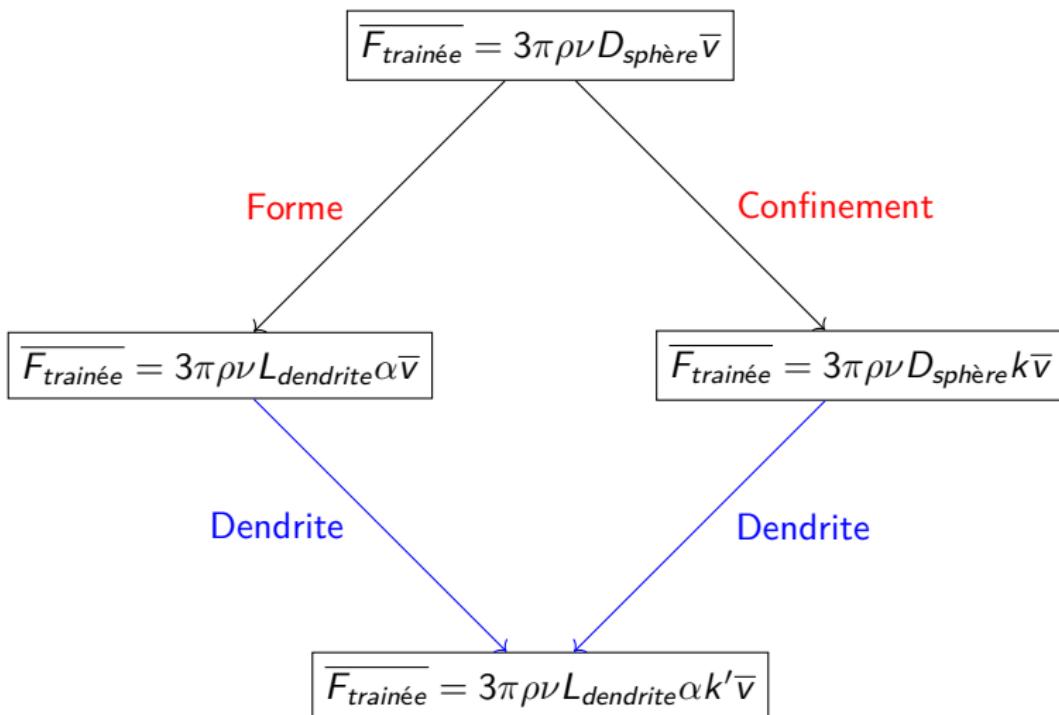


Figure 3 – Visualisation des différentes géométries de dendrites

Force de trainée globale



Force de trainée globale

- Prise en considération du confinement

$$\chi = \frac{\text{Taille de l'objet}}{\text{Longueur de maille}} \quad (2)$$

Force de trainée globale

- Prise en considération du confinement

$$\chi = \frac{\text{Taille de l'objet}}{\text{Longueur de maille}} \quad (2)$$

- Modification de la force de trainée

$$\overline{F_{\text{trainée}}} = 3\pi\rho\nu L_{\text{objet}}\alpha\bar{v}k'(\chi) \quad (3)$$

Force de trainée globale

- Prise en considération du confinement

$$\chi = \frac{\text{Taille de l'objet}}{\text{Longueur de maille}} \quad (2)$$

- Modification de la force de trainée

$$\overline{F_{\text{trainée}}} = 3\pi\rho\nu L_{\text{objet}}\alpha\bar{v}k'(\chi) \quad (3)$$

- Pour des sphères (Sangani et Acrivos, 1982)

$$k = \sum_{i=0}^{30} \beta_i \chi^i \quad (4)$$

Force de trainée globale

- Prise en considération du confinement

$$\chi = \frac{\text{Taille de l'objet}}{\text{Longueur de maille}} \quad (2)$$

- Modification de la force de trainée

$$\overline{F_{\text{trainée}}} = 3\pi\rho\nu L_{\text{objet}}\alpha\bar{v}k'(\chi) \quad (3)$$

- Pour des sphères (Sangani et Acrivos, 1982)

$$k = \sum_{i=0}^{30} \beta_i \chi^i \quad (4)$$

- Détermination de k par simulation

$$k = \frac{2\Delta p I_y^3}{3\pi\mu\chi Q} \quad (5)$$

Méthode de simulation

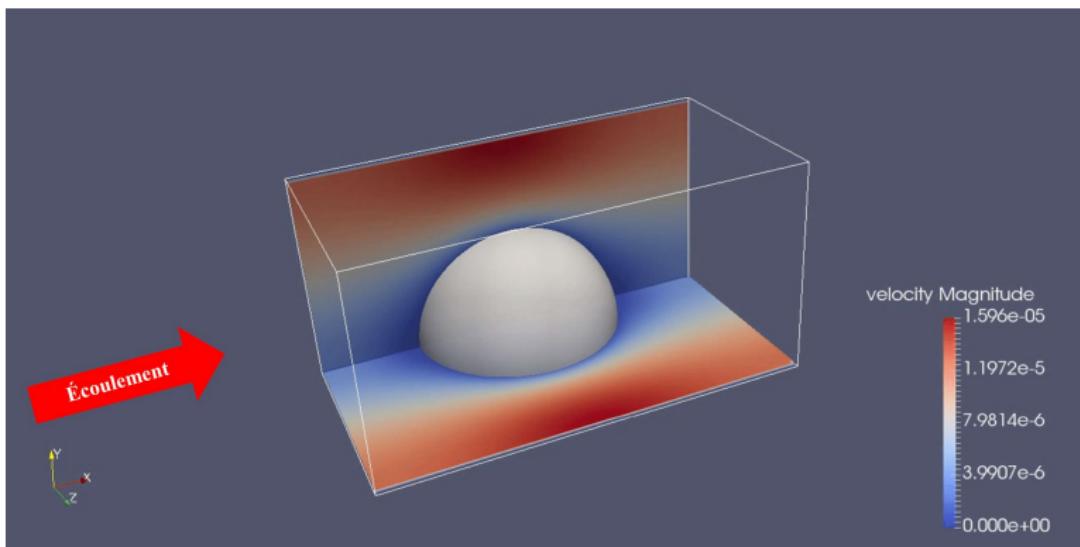


Figure 4 – Visualisation d'une simulation d'écoulement autour d'une sphère.

Validation de la méthode

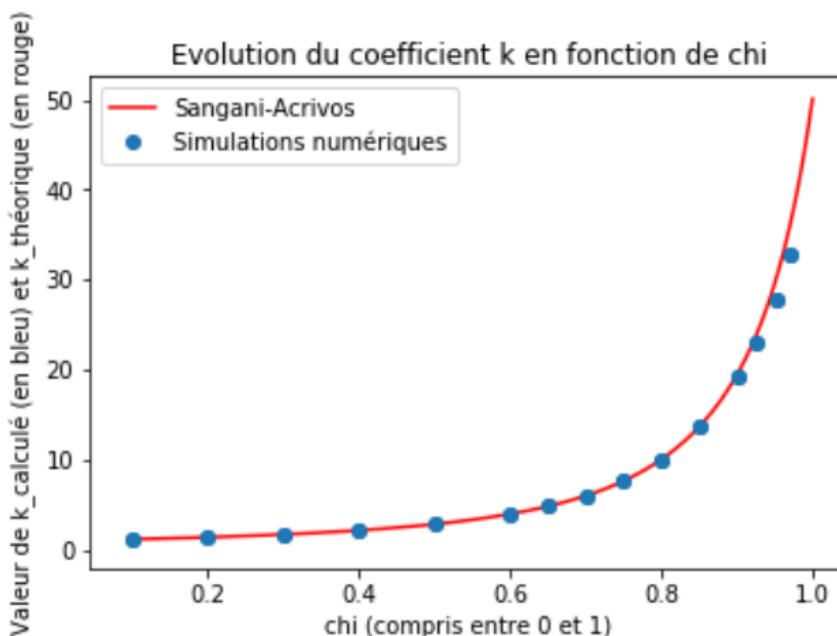


Figure 5 – Évolution du coefficient k en fonction de χ .

Méthode de simulation

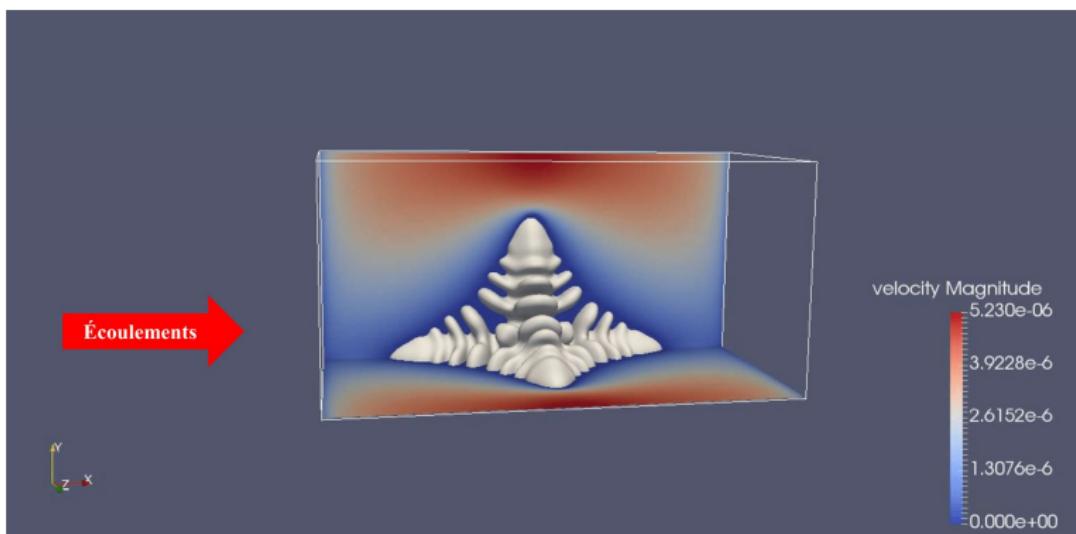


Figure 6 – Visualisation d'une simulation d'écoulement autour d'une dendrite.

Résultats pour les dendrites

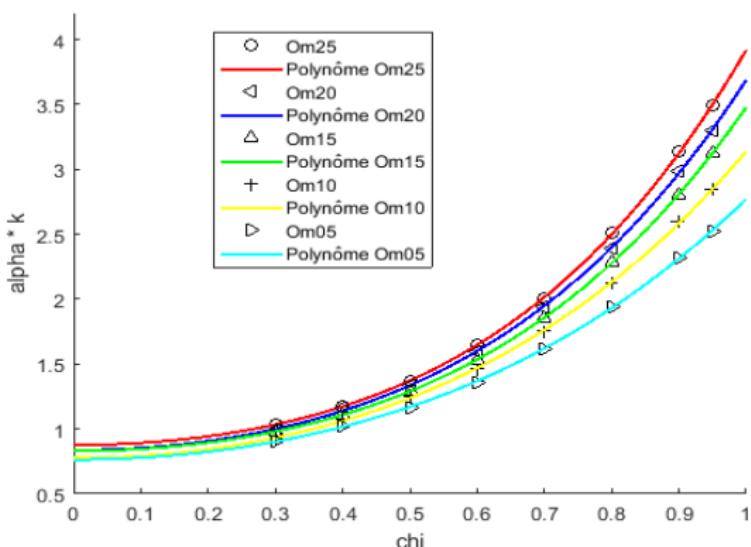
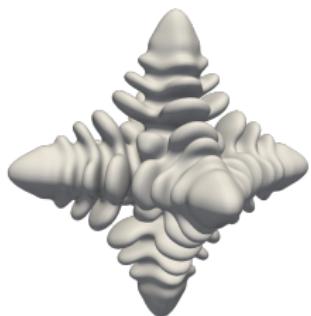


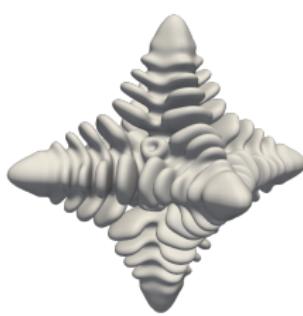
Figure 7 – Évolution du coefficient $\alpha k'$ en fonction de χ .

$$P(\chi) = \alpha + A\chi^2 + B\chi^4 \quad (6)$$

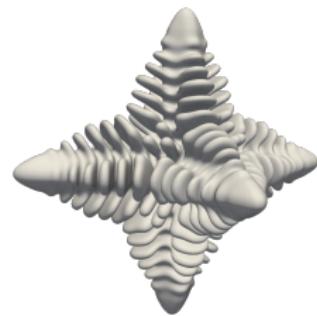
Résultats sur la morphologies des dendrites



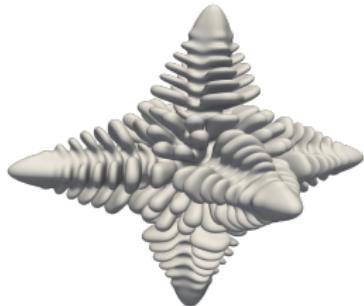
$$\alpha = 0.843$$



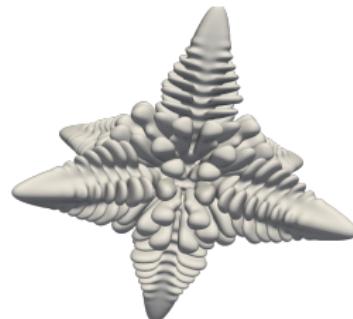
$$\alpha = 0.833$$



$$\alpha = 0.823$$



$$\alpha = 0.775$$



$$\alpha = 0.763$$

Figure 8 – Visualisation des différentes géométries de dendrites

Calcul de perméabilité dans une dendrite

- Loi de Darcy

$$\langle \bar{v}_L \rangle^L = \frac{-1}{\mu} \bar{\overline{K}} \cdot \bar{\nabla} \langle p_L \rangle^L \quad (7)$$

Calcul de perméabilité dans une dendrite

- Loi de Darcy

$$\langle \bar{v}_L \rangle^L = \frac{-1}{\mu} \bar{K} \cdot \bar{\nabla} \langle p_L \rangle^L \quad (7)$$

- Analogie avec la loi de Darcy

$$\langle \bar{v}_L \rangle^L = \frac{-1}{\mu} \bar{K} \cdot \langle \bar{f}_{vol} \rangle \quad (8)$$

Calcul de perméabilité dans une dendrite

- Loi de Darcy

$$\langle \bar{v}_L \rangle^L = \frac{-1}{\mu} \bar{K} \cdot \bar{\nabla} \langle p_L \rangle^L \quad (7)$$

- Analogie avec la loi de Darcy

$$\langle \bar{v}_L \rangle^L = \frac{-1}{\mu} \bar{K} \cdot \langle \bar{f}_{vol} \rangle \quad (8)$$

- Calcul de k_{xx}

$$k_{xx} = -\mu \frac{(\langle \bar{v}_L \rangle^L)_x}{\langle \bar{f}_{vol} \rangle_x} \quad (9)$$

Introduction d'une perméabilité

- k_{xx} pour un volume de moyenne

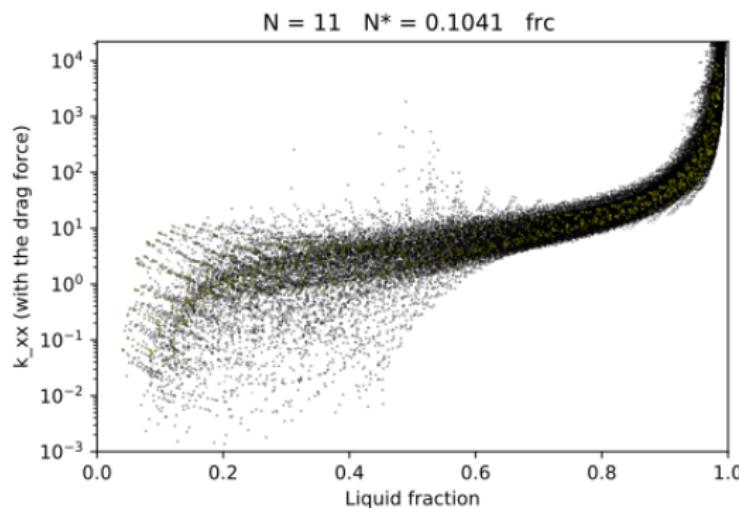


Figure 9 – Evolution de k_{xx} en fonction de la fraction liquide

Conclusion

- Validation de la méthode numérique

$$k = \sum_{i=0}^{30} \beta_i \chi^i \quad \text{et} \quad \chi = \frac{D_{sphere}}{D_{\text{entre deux sphères}}}$$

Conclusion

- Validation de la méthode numérique

$$k = \sum_{i=0}^{30} \beta_i \chi^i \quad \text{et} \quad \chi = \frac{D_{sphere}}{D_{\text{entre deux sphères}}}$$

- Etude de la morphologie pour les dendrites

Conclusion

- Validation de la méthode numérique

$$k = \sum_{i=0}^{30} \beta_i \chi^i \quad \text{et} \quad \chi = \frac{D_{sphere}}{D_{\text{entre deux sphères}}}$$

- Etude de la morphologie pour les dendrites
- Distribution spatiale de la force de trainée.

Conclusion

- Validation de la méthode numérique

$$k = \sum_{i=0}^{30} \beta_i \chi^i \quad \text{et} \quad \chi = \frac{D_{sphere}}{D_{\text{entre deux sphères}}}$$

- Etude de la morphologie pour les dendrites
- Distribution spatiale de la force de trainée.
- Modélisation par une perméabilité dans la dendrite.

$$\langle \bar{v}_L \rangle^L = \frac{-1}{\mu} \bar{\bar{K}} \cdot \langle \bar{f}_{vol} \rangle$$

Bibliographie

- SANGANI, A. S. et ACRIPOS, A, 1982. Slow flow through a periodic array of spheres. *International journal of multiphase flow*. 1982. Vol. 8, n° 4, p. 343 360. DOI 10.1016/0301-9322(82)90047-7.
- MARTIN DE BAZELAIRE, Amandine, 2020. *Étude numérique d'écoulement autour de géométries complexes* [en ligne]. 2020. Rapport de stage.
- GISSELBRECHT, Matthieu, 2019. *Simulation des interactions hydrodynamiques entre inclusions dans un métal liquide : établissement de noyaux d'agrégation dans les conditions représentatives du procédé de flottation* [en ligne]. Thèse de doctorat. Sciences des matériaux. Nancy : Université de Lorraine. Disponible sur http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2019_0073_GISSELBRECHT.pdf .
- CHAMPDOIZEAU, Quentin et KROLL-RABOTIN, Jean-Sébastien, 2018. *Quantification of confinement effects on a porous media flow confined in Hele-Shaw cells* [en ligne]. 2018. Article.

Bibliographie

- NOEL, Romain, 2019. *The lattice Boltzmann method for numerical simulation of continuum medium aiming image-based diagnostics* [en ligne]. Thèse de doctorat. Physique Computationnelle. Saint-Étienne : Université de Lyon. Disponible sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02955821>.
- GUILLEMOT, Gildas, 2004. *Formation of grain structure in dendritic alloy solidification : coupled cellular automaton - finite element modelling* [en ligne]. Thèse de doctorat. Sciences des matériaux. Nancy : Université de Lorraine. Disponible sur https://hal.univ-lorraine.fr/tel01749963/file/INPL_T_2004_GUILLEMOT_G.pdf .

Fin

Merci de votre attention

Méthode des simulations

- Importation des dendrites : introduction d'un coefficient h

$$\chi = \frac{h L_{dendrite}^{PF}}{2(n_y - 2)}$$

Méthode des simulations

- Importation des dendrites : introduction d'un coefficient h

$$\chi = \frac{h L_{dendrite}^{PF}}{2(n_y - 2)}$$

- Imposer l'écoulement

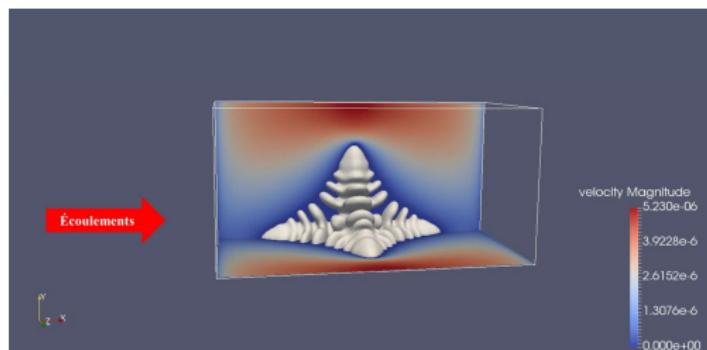


Figure 10 – Visualisation de l'écoulement autour de la dendrite (confinée)

Détermination de h_{min}

- Détermination de h_{min}

$$\epsilon = \frac{F_{\text{trainée référence}} - F_{\text{trainée numérique}}}{F_{\text{trainée référence}}}$$

- Évolution de l'erreur

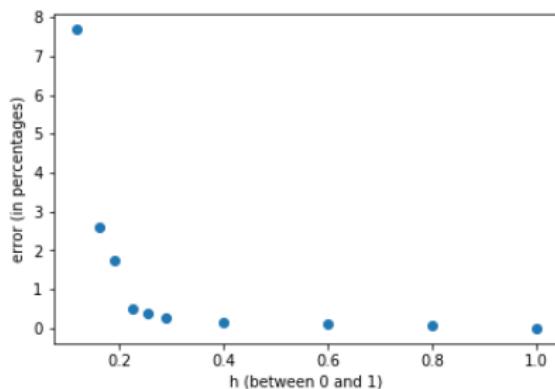


Figure 11 – Évolution de l'erreur en fonction de h .

Prise de moyenne

- Moyenne glissante

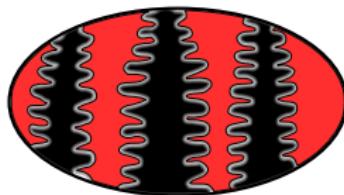


Figure 12 – Moyenne glissante dans un volume élémentaire représentatif

- Calcul de la moyenne

$$\langle \bar{v}_L \rangle^L = \frac{1}{V_L} \int_{VER} \bar{v} \cdot X_L dV \quad (10)$$

$$\langle p_L \rangle^L = \frac{1}{V_L} \int_{VER} p \cdot X_L dV \quad (11)$$