

Directions de croissance des dendrites cristallines : vers une universalité ?

Alain Pocheau¹, Julien Deschamps¹, & Marc Georgelin¹

IRPHE, CNRS & Aix-Marseille Université, 49 rue Joliot-Curie, B.P. 146, 13384 Marseille, Cedex 13, France
alain.pocheau@irphe.univ-mrs.fr

La solidification d'un liquide se produit le plus souvent en présence de germes d'orientations cristallines variées plongés dans un gradient de température. Chacun de ces facteurs détermine une direction essentielle au processus de solidification : la direction du flux thermique pour le gradient de température (noté \mathbf{G}) et la direction de croissance la plus favorisée par le réseau cristallin (notée \mathbf{a}) pour l'orientation des germes. Par ailleurs, au-delà du seuil d'instabilité primaire, l'interface liquide-solide se structure en réseau de dendrites dont la direction de croissance s'avère essentielle envers la morphologie des microstructures, leurs échelles et les hétérogénéités de concentration piégées dans le matériau solidifié. Comment cette direction de croissance se place-t-elle vis à vis des deux directions imposées \mathbf{G} et \mathbf{a} ? Comment évolue-t-elle avec la vitesse de croissance, la norme du gradient de température ou les facteurs d'anisotropie interfaciales ?

Pour répondre à ces questions, nous avons mené une étude expérimentale exhaustive des directions de croissance dendritiques en lame mince. Il s'avère que ces directions tournent de la direction \mathbf{G} à la direction \mathbf{a} au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse de croissance V . Ce phénomène répond de manière cohérente au nombre de Péclet basé sur V , la taille des dendrites et le coefficient de diffusion solutale. Ceci est le signe qu'il est régi par un couplage diffusif. Au delà, il dépend de l'angle entre les deux directions \mathbf{G} et \mathbf{a} et, possiblement, de l'intensité G du gradient thermique et de celles des modulations interfaciales anisotropes, donc du matériau.

De manière étonnante, il est cependant apparu que la *manière* dont les directions de croissance tournent avec le nombre de Péclet Pe s'avère bien plus universelle qu'attendue. Elle répond en effet à une symétrie d'échelle en Pe qui unifie les différentes rotations sous un même type de réponse. Par ailleurs, en utilisant dans le nombre de Péclet la taille du corps des dendrites plutôt que leur distance, ces différentes rotations se trouvent rassemblées certes dans un même type mais plus encore sous une réponse *unique*. Cette réponse commune est enfin apparue *indépendante* de l'intensité du gradient thermique et *insensible* au changement de matériau et donc à ses facteurs d'anisotropie.

Ce problème essentiel pour la morphologie des matériaux cristallins, donc pour la métallurgie, apparaît ainsi gouverné par une loi physique robuste et universelle. Bien que son origine soit identifiée expérimentalement comme relevant d'une symétrie d'échelle, la compréhension théorique de son existence reste à éclaircir.

Références

1. J.DESCHAMPS, M. GEORGELIN, A. POCHEAU, Crystal anisotropy and growth directions in directional solidification, *Europhys. Lett*, **76**, 291-297 (2006).
2. A. POCHEAU, J.DESCHAMPS, M. GEORGELIN, Dendrite growth directions and morphology in the directional solidification of anisotropic materials, *JOM* **59**, 71-77 (2007).
3. J. DESCHAMPS, M. GEORGELIN, AND A. POCHEAU, Growth directions of microstructures in directional solidification of crystalline materials, *Phys. Rev. E*, **78**, 011605 (2008).