

La dendrite à croissance spirale biphasée

Akamatsu Silvère *et al*[†]

Institut des Nanosciences de Paris, UPMC - CNRS, 4 place Jussieu, 75005 Paris
akamatsu@insp.jussieu.fr

Les fronts de solidification dirigée de mélanges eutectiques binaires forment des structures multiphasiques auto-organisées (quasi) planaires, associées à des branches de solutions stationnaires périodiques des équations non-linéaires de la croissance gouvernée par la diffusion. De symétrie de base en bandes ou hexagonales, elles produisent en volume les microstructures eutectiques dites lamellaires et fibreuses, fameuses en ingénierie des matériaux en tant que microcomposites naturels. La question de la stabilité morphologique de ces structures de front propagatif est centrale dans un contexte de physique des systèmes étendus hors équilibre. La clé de la recherche dans ce domaine complexe, typique des problèmes à frontière libre, est l'expérimentation *in situ* utilisant des méthodes d'observation en temps réel de l'interface solide-liquide en cours de propagation, épaulée par les simulations numériques résolues en temps (champ de phase). Nous aborderons ici le problème, d'un grand intérêt pour les applications industrielles, de la solidification univariante d'alliages eutectiques ternaires. Dans ce cas, le solide reste biphasé, mais un des constituants du mélange joue le rôle d'une impureté rejetée par le solide, dont la diffusion dans le liquide peut déstabiliser le front de solidification à une échelle bien plus grande que la taille caractéristique de la microstructure de croissance biphasée couplée. On trouve expérimentalement et théoriquement que, quand l'impureté est de faible concentration, le front eutectique plan reste stable en dessous d'une vitesse de solidification seuil. Au-delà de ce seuil, à cause d'un couplage complexe entre la structure eutectique sous-jacente et la dynamique de l'instabilité cellulaire, l'instabilité du front effectif produit des ondes dérivantes, qui ne s'observent pas dans une instabilité de Mullins-Sekerka classique [1]. Plus loin au-dessus du seuil, on observe différents phénomènes dont les plus remarquables sont, outre la formation de grandes "cellules eutectiques", la formation de structures de type cristal-aiguille, à savoir le doigt biphasé et la dendrite (à croissance biphasée) spiralee. Le doigt biphasé, sorte de dendrite fendue (ou doublon) contenant, le long de son axe de symétrie, un mince cristal de l'autre phase solide. Les lois d'échelles de cette morphologie de croissance ont été étudiées théoriquement par Boussinot, Hüter et Brener [2]. La dendrite spiralee est une morphologie de croissance stationnaire bi-échelle, dont la sous-structure de croissance eutectique se produit à partir d'une structure spirale à la pointe [3]. Nous avons montré que les caractéristiques principales (pas de la spirale, rayon de courbure de la pointe de la dendrite) de cette structure sont sélectionnées, et suivent approximativement la loi d'échelle standard "en $\lambda^2 V$ " des eutectiques. La sélection morphologique ne nécessite pas d'effet d'anisotropie (voir [4]), et la dendrite spiralee peut changer de direction de croissance en fonction des variations de l'environnement. Cette morphologie a été reproduite par simulations en champ de phase par Pusztai et Granasy [5].

Références

1. M. Plapp, A. Karma, Phys. Rev. E, **60** 6865 (1999). Akamatsu, G. Faivre, Phys. Rev. E, **61** 3757 (2000).
2. G. Boussinot, C. Hüter, E.A. Brener, Phys. Rev. E, **83** 050601 (2011).
3. S. Akamatsu, M. Perrut, S. Bottin-Rousseau, G. Faivre, Phys. Rev. Lett., **104** 056101 (2010).
4. S. Akamatsu, S. Bottin-Rousseau, M. Serefoglu, G. Faivre, Acta Mater., **60** 3199 (2012).
5. T. Pusztai, L. Granasy, unpublished results.