Zeitschrift: Horizons : le magazine suisse de la recherche scientifique
Herausgeber: Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique
Band: - (1996)
Heft: 31

Artikel: Une forêt de dendrites
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-551094

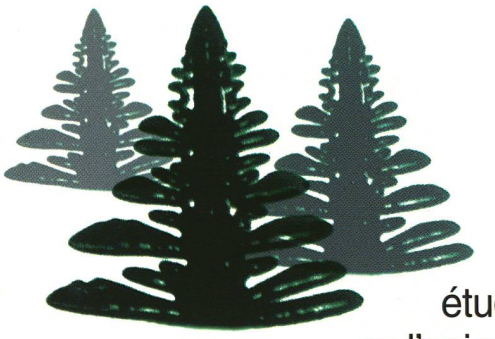
Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

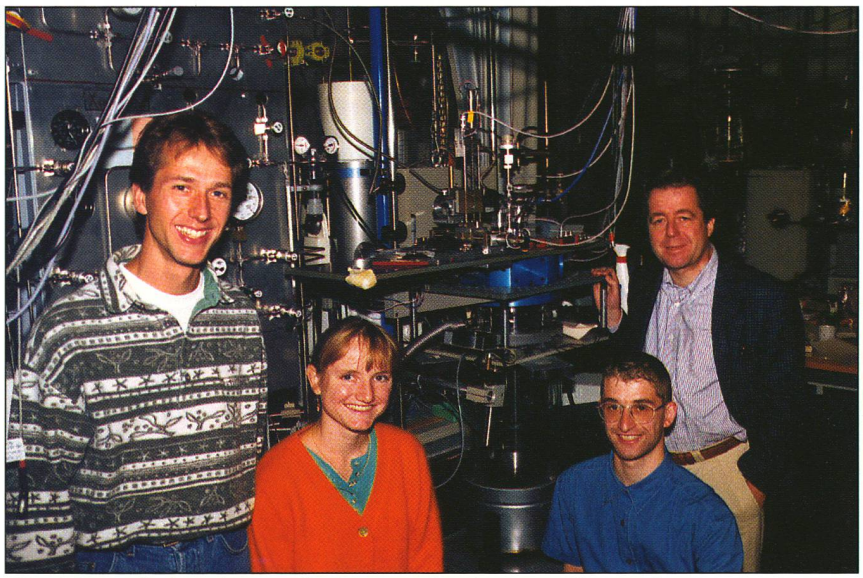


Une forêt de dendrites

En observant la croissance de cristaux de xénon, des physiciens de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich étudient comment cristallisent des métaux comme la fonte ou l'acier lorsqu'ils passent de l'état liquide à l'état solide. Ils ont découvert certains paramètres géométriques réglant cette transformation.

Pour tenter de comprendre comment pousse une forêt, il vaut mieux commencer par avoir une idée de la manière dont se développe un arbre. Cette démarche, empreinte de rigueur scientifique, est pourtant battue en brêche depuis des millénaires par les métallurgistes. Au fil du temps, ils ont en effet multiplié les expériences qui leur ont appris à couler le cuivre, puis le bronze, le fer et, beaucoup plus récemment, l'acier, l'aluminium et les alliages complexes.

Photos ETHZ



Jörg Bilgram (à droite) et son équipe de recherche devant l'appareil qu'il a conçu pour observer la croissance des cristaux de xénon.

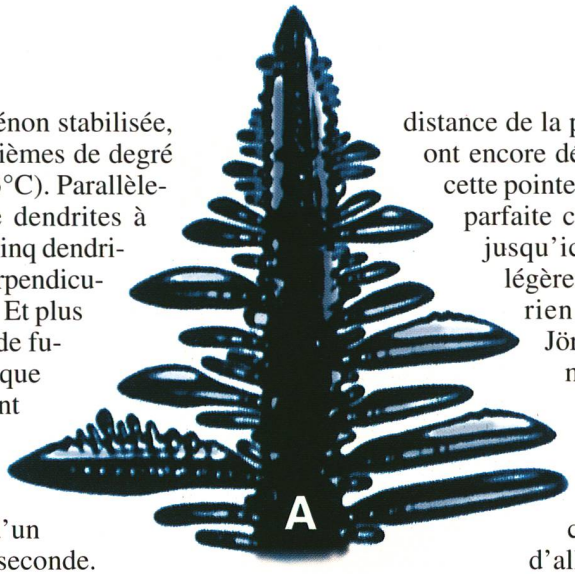
«Tout le monde sait qu'un bain de métal liquide se solidifie lorsque la température descend en-dessous de son point de fusion», énonce Jörg Bilgram du Laboratoire de physique de la matière condensée de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ). «Mais, lorsqu'on cherche à expliquer les transformations qui s'opèrent dans la matière à l'échelle microscopique, on s'aperçoit que la transition de l'état liquide à l'état solide est loin d'être simple! Le solide est constitué d'un entrelac aéré de fins cristaux échevelés qui ressemblent à de microscopiques sapins: les *dendrites*. Pour expliquer leur formation, plusieurs théories ont été avancées. Cependant, les observations à l'échelle microscopique sur la matière sont plutôt rares.»

Chaque seconde, la production mondiale d'acier engendre dix milliards de dendrites (du grec *dendron*: arbre). Leur taille et leur forme déterminent la structure fine de l'alliage dont dépendent ses propriétés mécaniques et sa résistance à la corrosion. Les métaux et les alliages ne sont pas seuls à produire des dendrites en se solidifiant: dans les nuages, le même phénomène transforme la vapeur d'eau en étoiles de neige.

Comme il n'est pas possible d'observer la croissance des dendrites au coeur des alliages ou des métaux, vu leur opacité, Jörg Bilgram a choisi d'étudier cette transformation dans le xénon. Ce gaz rare a l'avantage d'être transparent, qu'il soit sous forme liquide ou solide. Un cristal qui se développe dans un bain de xénon liquide est ainsi parfaitement visible suivant l'éclairage choisi. Il y a toutefois quelques inconvénients: l'élément ne se solidifie qu'en-dessous de moins 112°C; et à volume égal, le xénon liquide est aussi cher que l'or!

– «En moyenne, nous observons la croissance d'une cinquantaine de cristaux de xénon par an», relève Evelyne Kaufmann, le plus jeune membre de l'équipe de recherche. «C'est peu en apparence, mais il faut savoir que pour en cristalliser un, il faut disposer d'une douzaine d'heures d'affilée. Si dix à trente minutes suffisent pour faire croître un cristal, le temps pour préparer l'expérience est en revanche très long. Il faut notamment plusieurs heures pour stabiliser, au dix-millième de degré près, la température du décilitre de xénon liquide utilisé. Et en fin d'expérience, il faut récupérer le précieux liquide jusqu'à la dernière goutte.»

Une fois la température du bain de xénon stabilisée, les physiciens l'abaissent de 2 à 20 centièmes de degré au-dessous du point de fusion (-111,7603°C). Parallèlement, ils amorçent la cristallisation de dendrites à l'extrémité d'un très fin tube capillaire. Cinq dendrites de xénon se mettent alors à pousser perpendiculairement les unes par rapport aux autres. Et plus la température du bain s'écarte du point de fusion, plus leur croissance est rapide. Lorsque les cristaux en forme de sapins atteignent environ un centimètre et demi de longueur, ils s'effondrent sous leur propre poids, ce qui met fin à l'expérience. Une caméra vidéo filme son déroulement d'un bout à l'autre, à raison de 25 images par seconde.



– «Nos résultats reposent sur l'étude de ces séquences vidéo», précise Jörg Bilgram. «Le développement de chaque dendrite est découpé en environ trois cents étapes. En fonction de la vitesse de croissance, nous analysons une image toutes les une à trente secondes. Dans ce but, il nous a fallu développer un logiciel qui détoure automatiquement le contour des dendrites à chaque étape. Dix minutes étant nécessaires par image, ce travail est effectué par l'ordinateur au cours de la nuit.»

Qu'ont donc trouvé les physiciens?

En comparant des milliers d'images de dendrites, ils ont découvert que la forme du «tronc» n'est pas circulaire, comme le préconisait la théorie couramment admise: une coupe en travers dessine quatre lobes disposés symétriquement en forme de croix. Le tronc est ainsi constitué de quatre arêtes crénelées sur lesquelles se rattachent les branches latérales.

Les chercheurs ont également établi que l'épaisseur du tronc est rigoureusement constante tout au long de la dendrite, à l'exception de la partie terminale qui est pointue. Ils ont même réussi à définir que cette épaisseur est égale à neuf fois le diamètre de la microsphère qui pourrait être inscrite dans l'extrême pointe de la dendrite – laquelle ressemble à celle d'un stylo-à-bille.

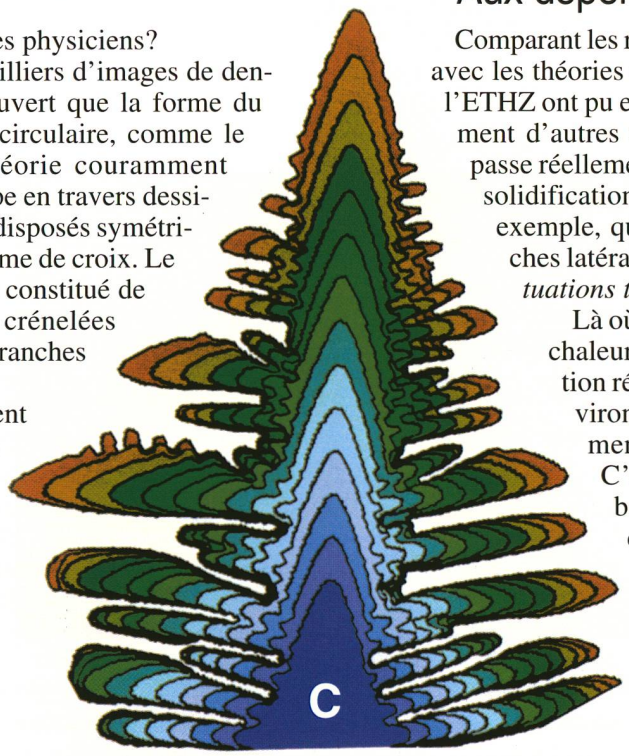
Les physiciens ont aussi mesuré que l'amorce des premières branches sur le tronc se développe toujours à la même distance de la pointe de la dendrite. Ils ont encore défini que la courbure de cette pointe n'était pas une parabole parfaite comme on l'avait admis jusqu'ici: sa forme en diffère légèrement. «Ces détails n'ont rien de futiles», explique Jörg Bilgram. «Ils sont même d'une importance capitale car ils s'appliquent à chacune des centaines de dendrites qui se solidifient dans chaque centimètre cube d'alliage ou de métal.»

Ces découvertes fondamentales devraient contribuer à produire des alliages toujours de meilleure qualité. En jouant en connaissance de cause avec les paramètres géométriques qui influencent la cristallisation des dendrites, les métallurgistes sont désormais mieux à même de réduire leur taille. Car plus les dendrites sont petites, plus l'homogénéité du matériau est grande, et meilleure est sa qualité.

Aux dépens des petits

Comparant les résultats de leurs expériences avec les théories en vogue, les physiciens de l'ETHZ ont pu en valider certaines, au détriment d'autres non conformes à ce qui se passe réellement dans la matière lors de sa solidification. Ils ont pu démontrer, par exemple, que l'emplacement des branches latérales est initialisé par des *fluctuations thermiques*.

Là où s'opère la cristallisation, la chaleur latente dégagée par la réaction réchauffe le xénon liquide environnant, ce qui l'empêche momentanément de se solidifier. C'est ainsi que les grandes branches latérales, dont la cristallisation est rapide, inhibent la croissance des plus petites. Ces dernières peuvent même parfois fondre en partie, lorsqu'il y a localement une surchauffe provoquée par trop de cristallisation aux alentours. Des dendrites à la forêt il n'y a qu'un pas: chez les arbres aussi, les plus petits peinent à pousser à l'ombre des grands.



A. Extrémité d'une dendrite de xénon (agrandie 20x) constituée – comme un arbre – d'un tronc et de branches.

B. Pointe d'une dendrite (agrandie 50x): l'arrondi détermine où se développent les premières branches.

C. Les aires colorées marquent, minute par minute, la croissance d'une dendrite (30x).