



Recherches sur la solidification

C. Dauzère

► **To cite this version:**

C. Dauzère. Recherches sur la solidification. J. Phys. Theor. Appl., 1907, 6 (1), pp.892-899.
10.1051/jphystap:019070060089201 . jpa-00241263

HAL Id: jpa-00241263

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00241263>

Submitted on 1 Jan 1907

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RECHERCHES SUR LA SOLIDIFICATION ;

Par M. C. DAUZÈRE.

La constitution des solides est encore imparfaitement connue, bien qu'elle ait été l'objet de recherches nombreuses, qui ont porté principalement sur les métaux et les alliages. Il est très probable que l'on obtiendrait des renseignements importants sur cette structure en observant comment elle s'élabore au moment du passage de l'état liquide à l'état solide. C'est ce que montrent les expériences suivantes effectuées sur des matières facilement fusibles.

I. SURFUSION DANS DES MÉLANGES SOLIDES. — Le salol est une des substances dont la surfusion est la plus facile à obtenir. Cette aptitude à la surfusion persiste dans les mélanges contenant du salol. Quand on fond ensemble du salol et de la cire jaune d'abeilles, on obtient un mélange parfaitement homogène à l'état liquide. Si on laisse refroidir lentement ce mélange, la solidification pâteuse de la cire se produit bientôt sans qu'il y ait de séparation visible entre les deux substances. On obtient une masse solide d'apparence homogène, dont la couleur jaune rougeâtre est d'autant plus foncée que le mélange contient plus de cire ; la dureté augmente aussi avec la proportion de cire.

Ce mélange solide possède les propriétés des liquides surfondus. Si l'on prend soin de préserver la surface de tout contact avec des parcelles de salol cristallisé, on peut conserver indéfiniment la masse en état d'équilibre à la température ordinaire. Ce n'est là qu'un *faux équilibre*, qui est détruit aussitôt qu'on dépose à la surface une parcelle de salol cristallisé, aussi petite qu'on voudra. Autour du point où l'on a déposé ce germe, on voit se former une tache rose pâle, circulaire, à contours très nets ; la tache grandit peu à peu en restant circulaire et finit par envahir toute la surface ; en même temps la dureté et l'opacité augmentent ; il y a évidem-

ment cristallisation progressive du salol resté en surfusion à l'intérieur de la masse solide refroidie.

La forme circulaire de la tache montre que la cristallisation progresse également vite dans toutes les directions sur le plan de la surface libre.

Il n'en est pas de même en profondeur : si on fait dans la masse une section passant par le centre de cristallisation, on voit que la portion cristallisée au bout de quelques minutes a la forme d'une lentille plan-convexe dont l'axe serait normal à la surface, ce qui montre que la cristallisation se propage moins vite à l'intérieur qu'à la surface.

Quand on se borne à étudier le phénomène à la surface libre, la netteté du contour des taches et la lenteur de la transformation permettent de mesurer facilement la vitesse de cristallisation. Des premières expériences faites, il résulte que : *la vitesse de cristallisation à la surface dépend de la température, de l'épaisseur de la couche surfondue, et de la dose de salol existant dans le mélange.*

1° *Influence de la température.* — J'ai simplement constaté que la vitesse de cristallisation est faible au voisinage du point de fusion, et va d'abord en augmentant à mesure que la température baisse. Il faudrait rechercher si les lois trouvées par Tammann⁽¹⁾ s'appliquent aux mélanges que j'ai employés.

D'ailleurs la température à laquelle la cristallisation se produit semble avoir une influence non seulement sur la vitesse de cristallisation, mais encore sur la texture du mélange solide obtenu après la fin de la transformation. Si ce mélange est sous la forme de plaque mince translucide, les parties cristallisées à froid sont plus opaques que les parties cristallisées à chaud.

2° *Influence de l'épaisseur.* — En opérant à la température à peu près constante du laboratoire (15° à 16° environ), j'ai remarqué que *la vitesse de cristallisation d'un mélange de composition donnée diminue lorsque l'épaisseur diminue et semble tendre vers une vitesse limite lorsque l'épaisseur tend vers zéro.* C'est ce que montrent les nombres suivants :

(1) Voir à ce sujet : *la Fusion et la Cristallisation d'après les recherches de Tammann (Rapports présentés au Congrès international de Physique en 1900, f. 1, p. 449).*

Épaisseur en millimètres.	Vitesses de cristallisation.
0 ^{mm} ,5	0 ^{mm} ,84 par minute
2 ,0	0 ,90
6 ,0	1 ,06
9 ,0	1 ,10

3° *Influence de la composition du mélange.* — La vitesse de cristallisation à une température donnée, et pour une épaisseur donnée, diminue beaucoup lorsque la proportion de salol existant dans le mélange diminue. Si l'on prend pour abscisses les proportions de salol en centièmes et pour ordonnées les vitesses de cristallisation en millimètres par minute, on obtient une courbe qui, prolongée vers le haut, irait couper la parallèle à l'axe des ordonnées d'abscisse 100 en un point dont l'ordonnée mesurerait la vitesse de cristallisation du salol pur. Cette courbe, d'abord très voisine de l'axe des abscisses, se relève brusquement pour un point correspondant à une richesse critique en salol variable avec la nature de la cire employée (*fig. 1*).

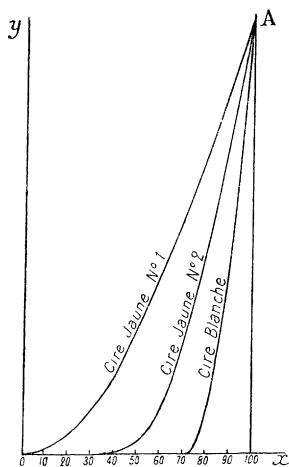


FIG. 1.

Les faits précédents sont relatifs à la propagation de la cristallisation à partir d'un seul centre. Quand il y a deux centres de cristallisation, la propagation se fait de la même manière à partir de chacun d'eux. On voit se produire à la surface deux taches circulaires qui grandissent peu à peu, deviennent tangentes, puis con-

tinuent à croître. Les points d'intersection dessinent une courbe qui se grave en creux sur la surface d'autant plus profondément que le mélange contient plus de salol. Lorsque les deux germes ont été déposés en même temps ou à des instants très rapprochés, la ligne d'intersection est une droite perpendiculaire à la ligne des centres. Lorsque les deux germes ont été déposés à des instants différents, la ligne d'intersection est un arc d'hyperbole dont les foyers sont les deux centres de cristallisation.

En créant plusieurs centres de cristallisation, on obtient autant de lignes droites ou d'arcs d'hyperbole qu'il y a de couples de points. Ces lignes dessinent par leurs intersections des cellules qui peuvent être très régulières et arrangées d'une manière symétrique, lorsque les centres de cristallisation sont eux-mêmes disposés symétriquement. Par exemple, en disposant en quinconce les centres de cristallisation, on obtient un réseau hexagonal régulier de cellules (*fig. 2*). Ces cellules ne se dessinent pas seulement sur la surface libre, elles forment un réseau qui occupe toute la masse.

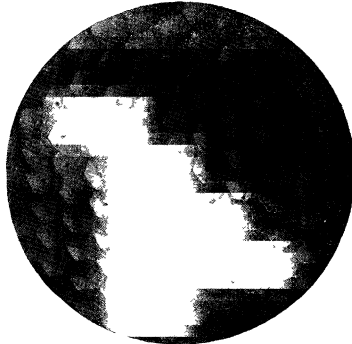


FIG. 2. — Cire et salol.

Des cellules analogues existent dans un solide quelconque à structure cristalline, par exemple dans un métal⁽¹⁾. Elles ont été formées, comme dans mes expériences par la limitation mutuelle d'individus cristallins développés à partir de certains centres indépendants de cristallisation. Dans la cristallisation ordinaire, ces centres se créent

(1) Voir à ce sujet : OSMOND et WERTH, *Théorie cellulaire des propriétés de l'acier* (*Annales des mines*, 1883); — CARTAUD, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1^{er} semestre 1904, p. 1327; 1^{er} semestre 1903, p. 51; 2^e semestre 1904, p. 428.

spontanément, d'une manière que nous aurons l'occasion d'expliquer, et donnent naissance à un réseau de cellules en apparence irrégulier. Dans mes expériences, les centres de cristallisation sont créés artificiellement et fournissent un réseau artificiel dont la régularité est aussi parfaite que l'on veut. Il peut y avoir néanmoins quelque intérêt dans le rapprochement de ces deux sortes de réseaux cellulaires.

J'ai préparé des mélanges de salol en surfusion avec des matières organiques facilement fusibles autres que la cire : paraffine, suif, stéarine, j'ai remplacé le salol par le thymol ; j'ai observé les mêmes phénomènes pour tous ces mélanges.

II. SOLIDIFICATION CELLULAIRE. — Les substances qui viennent d'être énumérées, employées pures, en particulier la cire, fournissent un réseau cellulaire naturel tout différent du précédent, quand on produit leur solidification dans des conditions convenables. Il suffit pour cela de laisser refroidir lentement (dans le bain-marie qui a servi à produire la fusion) un vase à fond plat contenant une couche mince de ces substances, de telle sorte que le liquide soit traversé pendant le refroidissement par un flux de chaleur vertical dirigé de bas en haut. Il s'établit alors dans la nappe des courants de convection qui, ainsi que M. Bénard l'a établi⁽¹⁾, divisent cette nappe en cellules prismatiques qui tendent à donner un réseau hexagonal régulier, lorsqu'il y a uniformité parfaite des conditions physiques dans un plan horizontal.

Cette division cellulaire persiste au moment de la solidification ; celle-ci commence près du contour de chaque cellule, dont le centre reste encore liquide. Il suffit d'observer le refroidissement de la cire fondue pour voir les cellules apparaître au moment où commence la solidification, avec une netteté remarquable. La solidification progressant dans la masse est accompagnée d'un retrait grâce auquel les cellules prennent après solidification complète un relief saisissant, ainsi que le montrent les photographies des *fig.* 3 et 4. Il se forme dans chaque cellule un noyau qui, dans la photographie 3 relative à la cire blanche d'abeilles, a la forme d'un bourrelet à peu près circulaire entourant une dépression munie d'un piton central, ce qui rappelle l'aspect des cirques lunaires. La photographie 4 est relative à la même cire presque complètement dépouillée de l'un de ses cons-

(1) HENRI BÉNARD, *les Tourbillons cellulaires dans une nappe liquide* (*Revue générale des Sciences*, 1900, p. 1261 et p. 1309).

tituants, l'acide cérotique, par des traitements successifs à l'alcool bouillant (il reste de la myricine presque pure); l'aspect des cellules est modifié, et elles se forment avec une facilité bien plus grande. Les deux photographies représentent les phénomènes avec une réduction de moitié environ; elles permettent de se rendre compte des dimensions des cellules; ces dimensions augmentent rapidement avec l'épaisseur de la couche, ainsi que M. Bénard l'a observé.



FIG. 3. — Cire blanche d'abeilles, épaisseur 4 millimètres environ, solidification achevée depuis longtemps.

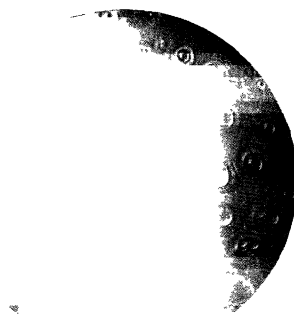


FIG. 4. — Myricine extraite de la cire blanche d'abeilles, épaisseur 3 millimètres environ, solidification achevée depuis longtemps.

Les phénomènes précédents ne sont pas localisés à la surface libre; la nappe tout entière a une structure cellulaire qui se manifeste de diverses manières :

1° Une plaque mince de cire est translucide. Quand on place cette plaque devant l'œil, on s'aperçoit que les diverses parties de la cellule ont des transparences inégales : l'opacité est plus grande sur le contour et au centre du noyau que dans la zone intermédiaire.

2° Les contours des cellules sont des lignes suivant lesquelles la rupture est la plus facile. En courbant entre les doigts une plaque de cire pendant qu'elle est encore chaude, on sépare les cellules et on peut les enlever une à une comme on enlève les pavés d'une rue. Le retrait accompagnant la solidification est incapable de provoquer cette séparation, parce que la cire est une matière trop plastique; les cellules restent collées les unes aux autres, mais il suffit d'un léger effort pour les décoller. Si on mélange la cire à la stéarine du commerce (acide stéarique), on diminue sa plasticité, et, pour un mélange

contenant environ 50 0/0 de stéarine, j'ai obtenu la séparation spontanée et complète des cellules par simple refroidissement; dans la masse se produisent des fentes suivant exactement les contours des cellules.

Les phénomènes relatifs à la stéarine pure sont aussi très remarquables. Il faut opérer sous une épaisseur un peu grande, 5 à 6 millimètres environ; il n'y a plus de cellules à proprement parler, on observe seulement le dessin des lignes appelées *coupures* par M. Bénard, lignes dont la formation dans le liquide précède celle des cellules. L'acide stéarique cristallise par solidification; *les premiers cristaux apparaissent sur le trajet des coupures*, comme le montre la photographie de la *fig. 5*, et la cristallisation progresse à partir de ces centres, comme dans les mélanges de cire et de salol précédemment

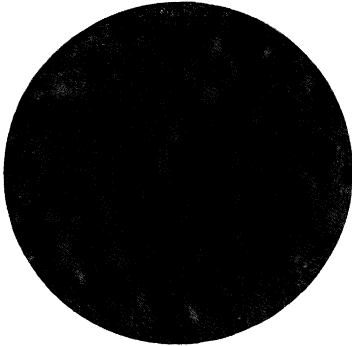


FIG. 5. — Acide stéarique, épaisseur 5 millimètres environ, solidification commençante.



FIG. 6. — Acide stéarique, épaisseur 5 millimètres, solidification presque achevée.

étudiés. C'est de la limitation mutuelle des individus cristallins ainsi développés que résultent les cellules que l'on voit dans la photographie de la *fig. 6*; elles forment des chapelets qui suivent le trajet des coupures. Ces expériences semblent montrer que les centres de cristallisation ne naissent pas absolument au hasard dans un liquide; le réseau cellulaire naturel des solides cristallins qui en résulte, et dont j'ai parlé plus haut, n'a qu'une irrégularité apparente; il est lié d'une manière étroite à la division créée dans le liquide par les courants de convection. Cette liaison a déjà été signalée par M. Cartaud ⁽¹⁾ pour les métaux.

(1) CARTAUD, *loc. cit.*

L'observation des phénomènes que je viens de décrire est d'une très grande facilité avec les matières que j'ai employées, parce qu'elles fondent au-dessous de 100°. Il est très probable que des matières plus difficiles à fondre les donnent également. En particulier, les mélanges de silicates qui constituent les roches se comportent peut-être d'une manière analogue à la cire. S'il en était ainsi, la formation des colonnes de basalte et des pavés de géants s'expliquerait facilement. Les basaltes fondus seraient divisés par les courants de convection en cellules prismatiques qui persisteraient au moment de la solidification ; le retrait accompagnant le refroidissement provoquerait alors la séparation des cellules par des fentes suivant leur contour, comme je l'ai observé pour la cire mélangée de stéarine.
