

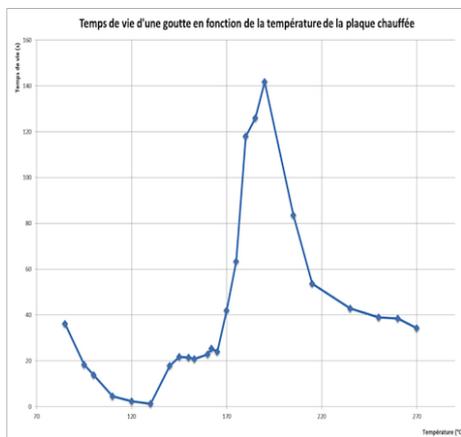
L'effet Leidenfrost

Comment est-il possible de marcher sur des charbons ardents sans se brûler les pieds ? Comment peut-on mettre (brièvement) sa main dans de l'azote liquide ou du plomb en fusion sans risque ? Comment faire léviter de l'oxygène liquide à température ambiante ? Une goutte peut-elle vivre plus d'une minute à une température supérieure à 100°C ? Ces quelques questions, sans lien apparent, concernent un même phénomène : l'effet Leidenfrost.

1. La température de Leidenfrost

Décrit pour la première fois en 1756 par Johann Gottlob Leidenfrost (qui lui donnera son nom), ce phénomène (aussi appelé caléfaction) s'explique par l'isolation thermique due à une importante différence de température entre deux milieux.

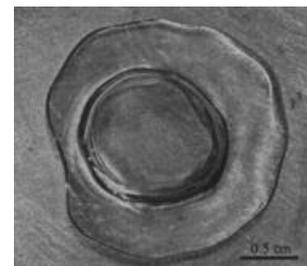
Nous l'avons mis en évidence simplement en posant une goutte d'eau distillée sur une plaque chauffée. En s'approchant de 100°C, la goutte bouillie presque instantanément... Rien d'étonnant. Mais en atteignant 180°C, elle semble même léviter, flotter au-dessus de la plaque ! Et, plus impressionnant encore, cette goutte va pouvoir rester sur cette plaque, sans bouillir, pendant pratiquement 2 minutes ! L'explication physique est en réalité assez simple : en atterrissant sur la plaque, seule une petite partie de la goutte a le temps de s'évaporer et cette couche de vapeur (continuellement renouvelée, jusqu'à l'évaporation complète de la goutte) va supporter la goutte tout en la protégeant de la chaleur de la plaque. Etant donné que la vapeur d'eau conduit 30 fois moins bien la chaleur que l'air, notre goutte est isolée, et reste à une température d'environ 85°C selon nos mesures expérimentales, ce qui explique pourquoi elle ne s'évapore pas.



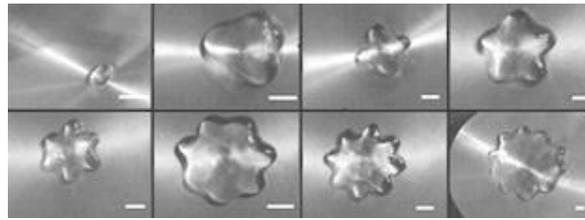
Sur le graphique à gauche, nous avons représenté le temps de vie d'une goutte d'eau distillée (posée sur une plaque en étain) en fonction de la température. On remarque que le maximum du temps de vie (plus de 2 minutes) se trouve à 190°C, qu'on appelle alors température de Leidenfrost).

Nous avons pu remarquer différentes dépendances de la température de Leidenfrost : celle-ci augmente avec la taille de la goutte, varie selon le type de plaque, la manière de poser la goutte sur la plaque, les conditions de pression et température extérieures, etc. En quelques mots, cette température existe toujours, mais est une fonction d'une étonnante quantité de paramètres...

On peut également observer toutes sortes de comportements étranges de la goutte posée sur la plaque. En la faisant « trop grosse » par exemple (comme sur la figure à droite [1]), le film de vapeur devient plus important et (à cause de la force d'Archimède qui le pousse vers le haut) on le voit former une magnifique cheminée dans la goutte.



Mais ce qui est plus remarquable et pas encore réellement compris (plusieurs mécanismes sont proposés, sans la certitude de leur exactitude) est l'apparition (spontanée !) de modes de vibration dans les gouttes. Voici les premiers [2]:



2. La fronde magnétique

En mettant de l'azote liquide dans un cône métallique suspendu au-dessus d'une vitre, nous avons pu obtenir de l'air liquide (qui contient de l'oxygène) condensé sur les parois du cône, ce qui nous permettait de le voir couler sous forme de gouttes sur la vitre. Pour la même raison qu'au paragraphe précédent, l'oxygène liquide, bien plus froid que la table, va engendrer une couche de vapeur qui le protégera momentanément de la chaleur de la table.

L'oxygène possédant des propriétés magnétiques, nous pouvions ensuite, à l'aide d'aimants, utiliser ces gouttelettes se déplaçant sans frottement pour mettre en évidence l'effet de *fronde magnétique* qui se produit lorsque la goutte arrive selon un certain angle sur l'aimant. La goutte d'oxygène est dans ce cas accélérée par la force magnétique, et repart dans une autre direction en ayant gagné de la vitesse. Ce phénomène est fortement utilisé par les ingénieurs de la NASA notamment, car il est aussi observé entre une sonde et une planète (qui joue le rôle de l'aimant). Cela permet de faire gagner de la vitesse aux sondes envoyées et d'économiser beaucoup de temps et de carburant.

3. Applications

Similairement, en plongeant sa main (un peu humide) dans de l'azote liquide ou du plomb en fusion, une petite couche de vapeur d'eau nous protégera brièvement de la température extrême. Et de la même façon (à peu de choses près), il est possible de marcher sur des braises sans se blesser. Il faut néanmoins veiller à ne pas avoir les pieds secs (même si, parfois, l'angoisse suffit à les humidifier)...

Mais l'effet de Leidenfrost trouve encore d'autres applications pratiques. Dès que des températures très différentes entre solides et liquides entrent en compte, il devient important de bien comprendre la caléfaction (si un incendie se déclenche dans une centrale nucléaire et que l'on pense jeter de l'eau sur le feu brusquement, la couche de vapeur rendra cette intervention inefficace pendant un moment). Certains chercheurs ont même trouvé une manière de diriger le jet continu de vapeur dans une direction précise pour faire remonter à la goutte des petites marches (voir les vidéos : <http://darkwing.uoregon.edu/~linke/dropletmovies/>). Ceci permettrait, entre autres, de refroidir les processeurs des ordinateurs sans utiliser de ventilateur (leur chaleur servant à la sustentation de la goutte).

En conclusion, nous voyons qu'avec quelque chose d'aussi simple qu'une goutte, nous avons pu émerveiller le regard, traverser beaucoup de domaines de la physique et même poser des questions encore non résolues !

Références

- [1] D. Quéré, A.-L. Biance, C. Clanet. Leidenfrost drops. *Physics of Fluids*, juin 2003.
- [2] A.-L. Himbert Biance. Gouttes inertielles : de la caléfaction à l'étalement. PhD thesis, Université Paris IV, 2005.
- [3] A. Durieux. Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'effet Leidenfrost sans jamais oser le demander. Juillet 2010.
- [4] K. Piroird. Dynamiques spéciales de gouttes non-mouillantes. PhD thesis, Ecole Polytechnique Paris-Tech, 2011.