

Contexte

Au cours des années passées, nous avons eu l'occasion à plusieurs reprises d'évoquer des résultats obtenus dans l'étude de l'effet Leidenfrost. Ce dernier décrit la lévitation d'une goutte posée sur un film de vapeur au-dessus d'une surface chaude. Le phénomène est bien plus riche qu'on pourrait le croire. Nous avons proposé à deux spécialistes de faire le point sur le sujet et ses questions encore ouvertes. Ils ont aussi développé un aspect moins connu, celui des enjeux industriels. En effet, l'effet Leidenfrost est dans certaines situations un comportement problématique... ou potentiellement avantageux si on sait le maîtriser.

Auteurs

Alexis Duchesne

maître de conférences à l'université de Lille et à l'Institut d'électronique, de microélectronique et de nanotechnologie (IEMN)

<https://pro.univ-lille.fr/alexis-duchesne>

Stéphane Dorbolo

maître de recherche F.R.S.-FNRS et professeur associé à l'université de Liège, en Belgique

<https://tinyurl.com/Dorbolo>

Essentiel

Quand une goutte est déposée sur une surface dont la température est très supérieure à celle d'ébullition du liquide, un film de vapeur se forme aussitôt sous la goutte qui se trouve alors en lévitation et s'évapore lentement.

La valeur de la température de seuil à laquelle l'effet se manifeste est encore une question ouverte. Les physiciens comprennent qualitativement comment certains facteurs influent sur cette valeur.

Dans certaines applications industrielles où les transferts de chaleur doivent être efficaces, l'effet Leidenfrost est un problème. Mais en chimie, cela permet d'isoler les gouttes et éviter toute contamination.

Physique

Effet Leidenfrost Quand les gouttes lévitent

Cet effet se résumerait-il à une goutte flottant sur un film de vapeur au-dessus d'une plaque très chaude ? Pas si simple, le phénomène n'est pas encore complètement compris. Or il pose des problèmes dans certaines applications industrielles.

L'expérience est très facile et peut se réaliser en cuisine. Chauffez une poêle à plus de 200 °C et versez une goutte d'eau à sa surface. Celle-ci se met à danser dans tous les sens, comme en « lévitation » à une fraction de millimètre au-dessus de la plaque métallique. Ce phénomène peut paraître anecdotique et d'une grande simplicité, pourtant, il présente des enjeux industriels cruciaux : cet effet devient parfois problématique et constitue un obstacle quand il est important de transférer de la chaleur rapidement. À l'inverse, ce comportement pourrait être exploité en chimie pour éviter une contamination par le contact avec les parois du récipient. Mais pour le maîtriser parfaitement, encore faut-il comprendre tous les aspects de cet effet. Or, il donne du fil à retordre aux physiciennes et aux physiciens qui s'y penchent.

Et pourtant l'intérêt pour ce phénomène n'est pas récent ! Lorsque le savant français Pierre-Hippolyte Boutigny a commencé à l'étudier en 1840, il pensait avoir découvert un nouvel état de la matière, qu'il a nommé l'« état sphéroïdal ». S'il a mal interprété la nature du phénomène, il a néanmoins été le premier à l'analyser expérimentalement en détail. Il avait une telle confiance en sa maîtrise du sujet qu'à une occasion, il a passé sa main mouillée dans du métal en fusion pour impressionner le physicien irlandais John Tyndall (une expérience plus téméraire qu'intrépide et, donc, à ne pas reproduire !). D'autres, avant lui, avaient mentionné en passant cet effet. En particulier, Johann Gottlob Leidenfrost, un siècle plus tôt, en 1756, avait été le premier à noter le comportement bizarre d'une goutte d'eau lâchée sur une cuillère en fer chauffée à blanc. Il n'était pas allé beaucoup plus loin dans son étude du phénomène, mais il lui a laissé son nom. On parle ainsi aujourd'hui de l'effet Leidenfrost (ou de caléfaction).

Depuis, les physiciens ont affiné leur compréhension des mécanismes en jeu. Pour l'illustrer, revenons à notre poêle en cuisine. Si la plaque métallique est à température ambiante, la goutte posée dessus s'évapore lentement. Ce processus prend quelques dizaines de minutes en fonction de la température et de l'humidité relative de la pièce. Si on chauffe la plaque, l'évaporation accélère. La chaleur est ici transmise par contact et, selon le second principe de la thermodynamique, elle est transportée du substrat chaud vers la goutte « froide ». Lorsque la plaque atteint la température d'ébullition de l'eau, à 100 °C, des bulles de gaz se forment dans la goutte, éclatent en surface et dispersent le liquide sur le substrat. La surface de contact avec la plaque augmente, le processus s'accélère. La disparition de la goutte est alors très rapide, à peine une seconde.

Mais, de façon surprenante, au-delà d'une certaine température, la durée de vie de la goutte se rallonge et peut atteindre plus d'une minute. Non seulement la vaporisation est ralentie, mais la goutte prend une forme sphérique si elle est petite ou la forme d'une crêpe de 5 millimètres de haut si elle est grande.

Une observation attentive ([avec un bon objectif zoom voir par diffraction de rayons X](#)) révèle que la goutte ne touche plus la plaque. En effet, de la vapeur s'accumule très vite entre le substrat et la goutte qui se retrouve en lévitation sur son film de vapeur. La chaleur n'est alors plus transmise par contact, mais à travers le film de vapeur, qui est un conducteur thermique bien moins efficace. On note aussi l'absence de bulles dans la goutte, ce qui signifie que la goutte est maintenue à une température inférieure à la température d'ébullition. Il s'établit ainsi un jeu d'équilibre. D'un côté, la chaleur de la plaque entretient l'évaporation de l'eau, qui alimente le fin film de vapeur. De l'autre, la couche de vapeur « protège » la goutte d'une vaporisation trop rapide en limitant le taux de transfert thermique.

Le mécanisme de lévitation [trouve son origine dans le](#) phénomène de lubrification. De façon analogue, on observe aisément cette lubrification lorsqu'on dépose un morceau de verre plan sur une table vitrée. Le petit carreau semble glisser, sans frottements, sur la surface de la table. Tout repose sur le film d'air coincé entre les deux surfaces planes. L'évacuation de l'air interstitiel prenant un certain temps, on peut constater que le carreau flotte. Ce temps, dit de drainage, dépend essentiellement de la viscosité de l'air, de la taille du morceau de verre et de la pression exercée sur le film – ici il s'agit simplement [du](#) poids du carreau divisé par l'aire de sa surface. Si l'on parvient à alimenter le film en air, on peut faire perdurer la lévitation ([voir l'encadré page xx](#)). Ce principe est utilisé dans les aéroglisseurs (comme le fameux hovercraft qui [reliait](#) Calais et Douvres [jusqu'en l'an 2000](#)) où des turbines puissantes propulsent de l'air dans la jupe du véhicule pour le maintenir posé sur un coussin d'air.

La goutte en régime Leidenfrost se fonde sur le même principe. Écrasée par la force de pesanteur entre la goutte et le substrat, la vapeur s'écoule sans turbulence le long [du](#) [solide chauffé](#), tel un fluide laminaire dominé par sa viscosité. L'évaporation du liquide alimente le film. On explique ainsi la stabilité du film et la grande mobilité de la goutte, qui se déplace [quasiment](#) sans frottements [et de façon aléatoire](#) à la surface de la plaque chaude. Le fluide dans la goutte présente aussi une dynamique intéressante, on y observe un phénomène de convection [donnant lieu à](#) des tourbillons qui [participent à](#) [leur tour](#) au mouvement de la goutte ([voir l'encadré page xx](#)).

De nombreux aspects du régime Leidenfrost restent toutefois à comprendre. Par exemple, comment la lévitation s'amorce-t-elle ? Le régime s'établissant très vite, il était difficile d'en suivre l'évolution, mais des mesures récentes ont permis de mieux « voir » comment le film de vapeur se forme.

Le problème principal est cependant d'être capable de déterminer la température au-delà de laquelle l'effet Leidenfrost démarre. Cette température de transition résiste encore à la modélisation. Du point de vue théorique, si la plaque est chauffée juste au-dessus de la température critique de vaporisation, le film de vapeur devrait déjà pouvoir être maintenu dans un état stable. Or, l'expérience montre qu'il faut une température bien supérieure pour atteindre un tel régime.

Une température seuil

Deux facteurs expliqueraient pourquoi l'effet Leidenfrost n'émerge qu'à des températures plus élevées : les propriétés thermiques du substrat et la rugosité de sa surface. En effet, si le substrat est un mauvais conducteur thermique, la zone où la chaleur est transférée à la goutte devient localement plus froide et met un certain temps à retrouver sa température initiale. Pendant ce temps, le système n'est plus capable de fournir l'énergie nécessaire pour régénérer le film de vapeur et on retombe sur le régime de contact. Par exemple, il est très difficile d'observer l'effet Leidenfrost sur un morceau de verre, dont la conduction thermique est médiocre comparée à celle du métal. Il faut donc chauffer davantage pour stabiliser le film.

Le substrat doit, en outre, être le plus lisse possible. Les reliefs, s'ils sont plus grands que l'épaisseur du film de vapeur, percent ce dernier et agissent comme des petits ponts thermiques ruinant l'effet d'écran thermique du film de vapeur. De toute évidence, une rugosité plus importante impose une température de transition vers l'effet Leidenfrost plus élevée. En exploitant cette idée, en 2022, David Quéré, de l'ESPCI, à Paris, et ses collègues ont obtenu des surfaces capables de retarder l'effet Leidenfrost jusqu'à des températures de 1 000 °C. Au final, nous comprenons qualitativement pourquoi l'effet Leidenfrost demande un surplus de température, mais ce seuil reste difficile à calculer et prédire.

Aux antipodes des surfaces rugueuses et même super-rugueuses, on trouve les liquides. Comme l'effet Leidenfrost nécessite juste un transfert de chaleur entre un substrat et une goutte, rien n'interdit d'avoir un substrat liquide très chaud – et quoi de plus lisse que la surface d'un liquide. Il y a cependant un obstacle à cette configuration intéressante : la conductivité thermique des liquides n'est *a priori* guère idéale pour étudier l'effet Leidenfrost. Dans les liquides, le transport de chaleur par conduction est [en effet assez faible](#). [Par contre on peut y observer des phénomènes de convection important...](#) la convection devient le phénomène dominant. D'un point de vue mécanique, les mouvements dans le fluide semblent insuffisants pour entretenir le film de vapeur, car les vitesses y sont de l'ordre du centimètre par seconde alors que la vapeur qui assure la lévitation se déplace jusqu'à plusieurs mètres par seconde...

La recette du succès

Malgré ces conditions *a priori* peu favorables, en 2020, avec nos collègues, nous avons étudié la possibilité d'obtenir l'effet Leidenfrost à la surface d'un bain d'huile [de basse viscosité](#) dont la température était contrôlée. Le résultat a été particulièrement étonnant : l'effet Leidenfrost s'est manifesté pour un seuil de température correspondant à la température d'ébullition du liquide, comme la théorie le prédisait ! [Par chance](#), le transfert thermique est assuré par trois mécanismes qui renouvellent le liquide sous la goutte. D'abord, le refroidissement local sous la goutte déclenche un mouvement de convection verticale car la densité de l'huile augmente quand la température baisse. Le second mécanisme est connu sous le nom d'effet Marangoni. La tension superficielle de l'huile [augmente lorsque](#) la température [décroit](#). Donc, la tension superficielle sous la goutte est plus grande que loin de celle-ci. Afin d'« homogénéiser » la tension de surface, un flux surfacique de liquide prend place depuis les zones de basse tension vers celles de haute tension de surface. Enfin, le troisième mécanisme résulte

du mouvement de la vapeur générée par la goutte. Cette vapeur entraîne le liquide du bain [par friction](#). Conclusion, ces trois mécanismes évacuent l'huile refroidie et en apportent une plus chaude sous la goutte (*voir la figure page xx*).

On a là les conditions idéales de conduction thermique et de rugosité nulle qui expliquent pourquoi la température de seuil est si proche de la température d'ébullition. Mais la surface du liquide est-elle vraiment lisse ? Avec le film de vapeur se déplaçant à plusieurs mètres par seconde, l'interface entre l'huile et la vapeur devrait être dans un régime d'instabilité dit de Kelvin-Helmholtz et devrait donc former des ondulations à sa surface. Ces vagues ne perturberaient-elles pas le régime Leidenfrost ? À ce stade, l'hypothèse avancée est que les deux interfaces liquides se déforment et s'adaptent de sorte que les vagues ne créent pas de contact à travers la vapeur. [A contrario, le fait que le liquide du bain puisse se déformer est peut être même un avantage car dans le cas d'un substrat solide, les vagues sont aussi susceptibles de se former et rendent potentiellement le film de vapeur plus sensible aux rugosités du substrat.](#)

L'effet Leidenfrost devient un cauchemar lorsque le transfert thermique est un paramètre déterminant pour un procédé industriel, par exemple si on veut utiliser de l'eau pour refroidir rapidement des composants métalliques. On peut penser aux anciennes machines à vapeur [où l'effet Leidenfrost a été responsable de bien des explosions](#), mais plus près de nous aux centrales nucléaires dont il est crucial de contrôler la température. Dans un cas extrême comme la catastrophe de la centrale nucléaire de Fukushima, au Japon, en 2011, les valeureux pompiers ont voulu faire baisser la température des tuyaux portés à haute température avec leurs lances à incendie. Mais cette stratégie de refroidissement n'a probablement pas été optimale du fait de la formation instantanée d'un film de vapeur à la surface du métal.

La question des jets se retrouve aussi dans le domaine des technologies de la « transition énergétique », et plus particulièrement dans le cas des avions à hydrogène (du dihydrogène pour être précis). Les constructeurs envisagent de remplacer le kérosène par de l'hydrogène dont la combustion [\(ou son utilisation dans des piles à combustible alimentant des moteurs électriques\)](#) n'émettrait que de la vapeur d'eau. Cela permettrait de réduire considérablement l'empreinte carbone du transport aérien (à condition de trouver un moyen de produire de l'hydrogène de façon « propre », mais c'est un autre débat). Le défi est alors de stocker l'hydrogène, qui, à température et pression ambiantes, est un gaz vite volumineux. L'idée est donc de stocker l'hydrogène en phase liquide. Deux solutions sont envisageables : le stocker dans des enceintes à haute pression (quelques centaines de bars) ou dans des cuves cryogéniques à une température de -253 °C , soit juste en dessous de la température d'ébullition du dihydrogène. On parle alors de liquide cryogénique (ou de façon impropre de gaz liquéfié). Dans ce dernier cas, le liquide prend alors 1 000 fois moins de place que le gaz. Mais il est clair que l'hydrogène liquide, au contact d'une paroi à température ambiante, se retrouve dans les conditions de l'effet Leidenfrost. Pour l'avionneur, il s'agit de se demander ce qui se passe lorsqu'on remplit le réservoir de l'appareil ou ce qui arriverait en cas de fuite du réservoir.

De façon étonnante, le problème de jet liquide sur une surface chaude n'a été considéré que très récemment d'un point de vue hydrodynamique. En 2024, l'équipe de Franck Celestini, de l'institut de physique de Nice, d'une part, et la nôtre, d'autre part, se sont penchées sur cette question en analysant l'influence de l'angle d'incidence ou de la vitesse du jet. Il est possible de rendre la couche de vapeur instable dans certaines conditions et ainsi de rétablir des transferts thermiques efficaces.

Des jets qui rebondissent

Ces travaux nous ont permis de mettre en lumière une vaste gamme d'écoulements. Nous avons, par exemple, observé lors d'un impact vertical (où l'inertie va être la plus forte), que le liquide entre en contact avec la paroi horizontale, s'y étale puis redécalle en formant un spray avec un angle d'éjection fixé par la compétition entre l'inertie qui tend à maintenir le liquide contre la plaque et l'évaporation qui soulève le liquide, comme une fusée (*voir la photo page xx*). Dans le cas d'un jet incliné, on constate le rebond du jet liquide sur le film de vapeur. Si on augmente la vitesse du jet, il est possible de casser le film de vapeur et forcer le contact entre le liquide et la plaque chaude.

Ces observations offrent une piste pour résoudre le problème des pompiers. Elles fournissent aussi des contraintes pour la manipulation des liquides cryogéniques, afin d'éviter des catastrophes. Dans ce dernier cas, l'effet Leidenfrost agit comme un tampon bienvenu à l'interface du liquide cryogénique et de la paroi à température ambiante. Les implications pratiques de l'effet Leidenfrost intéressent divers domaines industriels (aéronautique, métallurgique, cryogénique, spatial) et constituent un sujet encore très riche. Pour creuser ces questions, la Commission européenne a financé un projet (nommé LeidenForce) sur quatre ans auquel nous participons, avec des collègues autrichiens, belges, français, néerlandais et norvégiens.

Au-delà de résoudre les problèmes que pose l'effet Leidenfrost, les chercheurs ont aussi exploré diverses idées pour tirer profit des propriétés uniques de ce phénomène. Il est possible de trouver un avantage à avoir une goutte isolée, très mobile et quasiment sphérique. Celle-ci se présente en situation de non-mouillage parfait, c'est-à-dire sans contact avec la surface. Cette configuration éviterait, par exemple, toute contamination du liquide par des résidus présents sur le métal. Par ailleurs, le film de vapeur protège également les surfaces de certaines réactions chimiques.

Une piste activement explorée est celle d'utiliser des gouttes en régime Leidenfrost pour héberger des réactions chimiques. L'idée générale est que pour rendre une réaction chimique la plus efficace possible, il est plus simple de l'effectuer à petite échelle ([on n'a alors pas besoin de mélanger et on a le dosage de réactif idéal](#)) puis de paralléliser cette réaction des milliers (voire millions) de fois. Mais plus un volume individuel est petit plus il est sensible à la présence de particules ou de contaminants chimiques, qui pourraient bloquer la réaction chimique ou en réduire le rendement. On retrouve ces problématiques dans les dispositifs de microfluidiques dans lesquels les liquides circulent au travers de canaux aussi fins qu'un cheveu.

Un atout pour la chimie ?

L'effet Leidenfrost offre un avantage évident : comme il n'y a pas de contact entre le liquide transporté dans la goutte et le solide, on évite tout contact entre les réactifs et un éventuel contaminant ou une poussière se trouvant sur le solide. En 2013, Mady Elbahri, de l'université de Kiel, en Allemagne, et son équipe ont proposé d'utiliser les gouttes en régime Leidenfrost pour faire de la chimie verte et de la fabrication de nanoparticules en or. Ces résultats sont impressionnants car, pour synthétiser ce genre de matériaux, on emploie actuellement des équipements très lourds et coûteux, comme les salles blanches, afin de contrôler parfaitement l'absence de contaminant.

Cependant, l'exploitation de l'effet Leidenfrost pour une nouvelle chimie pose tout de même quelques défis : elle impose que le liquide soit chauffé à une température très proche de sa température d'ébullition (ce qui peut dénaturer les réactifs) ; on perd une partie du liquide sous forme de vapeur ; et il faut pouvoir guider les gouttes transportant différents réactifs de sorte qu'elles se rencontrent. Si les deux premiers obstacles ne sont toujours pas résolus, de nombreux progrès ont été réalisés concernant la dernière question.

En 2006, Heiner Linke, alors à l'université de l'Oregon, aux États-Unis, et ses collègues se sont en effet aperçus qu'une goutte dans le régime Leidenfrost pouvait se propulser si on la déposait sur un solide ayant une forme de toit d'usine (des biseaux en série). En effet, cette géométrie brise la symétrie du film de vapeur qui s'échappe dans une direction privilégiée et induit un effet de propulsion (voir les photos page xx). On peut même être plus performant : en réalisant des motifs de chevrons sur la plaque, on guide la goutte encore plus précisément et celle-ci se recentrera d'elle-même en cas de légère déviation de sa trajectoire. On peut donc contrôler le parcours de nos gouttes à volonté ! En 2015, Kei Takashina, de l'université de Bath, au Royaume-Uni, et ses collègues ont utilisé cette technique pour concevoir une sorte de labyrinthe arpenté par des gouttes en régime Leidenfrost. En 2018, le même chercheur a montré que ces gouttes atteignent des vitesses supérieures à 350 millimètres par seconde (environ 1,2 kilomètre par heure).

En définitive, l'effet Leidenfrost n'est peut-être pas un nouvel état de la matière comme le pensait Pierre-Hippolyte Boutigny. Cependant, depuis plus de 250 ans, il place les scientifiques aux limites de la recherche fondamentale et de l'ingénierie. À la fois responsable de catastrophes et moteur de solution, il y a fort à parier qu'on n'a pas fini d'en entendre parler.

Bibliographie :

A. Goerlinger *et al.*, Vertical impact of a water jet on a hot plate : From a growing drop to spray formation, *Physical Review Fluids*, 2024.

<https://journals.aps.org/prfluids/abstract/10.1103/PhysRevFluids.9.104802>

D. Paulovics *et al.*, Leidenfrost jets, *Physical Review Fluids*, 2024.

<https://journals.aps.org/prfluids/abstract/10.1103/PhysRevFluids.9.L112001>

J. Wisniak, Pierre Hippolyte Boutigny. The Spheroidal State of Matter Theory, *Educación química*, 2021.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-893X2021000400191&script=sci_arttext

B. Sobac *et al.*, Self-induced flows enhance the levitation of Leidenfrost drops on liquid baths, *Physical Review Fluids*, 2020.

<https://journals.aps.org/prfluids/abstract/10.1103/PhysRevFluids.5.062701>

A. Bouillant *et al.*, Leidenfrost wheels, *Nature Physics*, 2018.

<https://www.nature.com/articles/s41567-018-0275-9>

L. Maquet *et al.*, Leidenfrost drops on a heated liquid pool, *Physical Review Fluids*, 2016.

<https://journals.aps.org/prfluids/abstract/10.1103/PhysRevFluids.1.053902>

[[Légende ouverture]]

La goutte (*colorée en rose*) est en lévitation sur un bain d'huile très chaud. Un film de vapeur alimenté par l'évaporation de la goutte se forme sous cette dernière et empêche tout contact avec l'huile.

© Florence Cavagnon

[[Légende photo/schéma Leidenfrost]]

Pour une goutte d'eau (à gauche), la plaque doit être à une température supérieure à environ 160 °C pour que le régime Leidenfrost soit stable. Le schéma (à droite) indique la dynamique du flux de vapeur d'eau.

© ??? (photo) ; Pour la Science (schéma)

[[Encadré]]

Des roues liquides autopropulsées

Les gouttes en lévitation sont fugaces et intenable. Pour les étudier, nous sommes contraints de les rendre captives, soit en utilisant des substrats concaves – à l’instar de Johann Gottlob Leidenfrost, qui les piégeait dans des cuillères chaudes – soit en les tenant au bout d’une aiguille.

Si les recherches se sont d’abord concentrées sur le coussin de vapeur, marque de fabrique du phénomène, ce qui se passe à l’intérieur du liquide n’en est pas moins intéressant. Lorsqu’on introduit des traceurs dans une goutte – des billes en verre que l’on illumine avec une nappe laser –, on constate qu’ils sont animés de mouvements très vifs, de quelques centimètres par seconde. Une goutte en caléfaction est donc le siège de mouvements internes convectifs, causés notamment par les différences de température entre sa base (chaude) et son sommet (plus froid). De manière inattendue, la morphologie de ces écoulements change à mesure que la goutte rétrécit par évaporation. Ils passent de symétriques (avec des paires de tourbillons contre-rotatifs) à asymétriques, lorsque la taille de la goutte diminue et qu’elle s’arrondit par capillarité. Lorsque la cellule liquide devient quasi sphérique, elle ne peut alors plus accueillir de paires de tourbillons. Et, à cause de l’asymétrie, elle entre en roulement !

Une fois libérée de ce qui la retient, la goutte se propulse à la manière d’un roue liquide. La direction empruntée est arbitraire, l’axe du roulement étant choisi aléatoirement, par la brisure de symétrie des écoulements internes. Cependant, pour qu’une roue convertisse sa rotation en translation, il est indispensable qu’elle prenne appui sur le sol. Or, ici, les gouttes lèvent au-dessus de la surface. Un changement de point de vue permet d’y voir plus clair : en 2018, avec mes collègues, nous avons observé les gouttes par en dessous et cartographié la topographie du coussin de vapeur par interférométrie. Celui-ci est asymétrique ! La base des gouttes est ainsi inclinée, d’un petit angle, certes, mais suffisant pour donner une composante horizontale à la force de pression qui maintient le liquide en lévitation, et ce, dans la direction du roulement. Tout se passe alors comme si la goutte dévalait le long de la pente que la rotation interne aurait elle-même produite.

Une goutte en caléfaction ne tire donc pas seulement sa mobilité légendaire de l’absence de friction ou de sa sensibilité aux forces extérieures (courants d’air ou dû à l’inclinaison de la surface), mais surtout de sa capacité à s’autopropulser, comme si elle cachait en elle une petite dynamo. Paradoxalement, l’origine de leur véritable bougeotte avait échappé à ceux qui s’étaient penchés sur le problème en raison même de son existence : en piégeant ces gouttes, on les empêchait d’exprimer leur esprit vagabond !

Ambre Bouillant

chercheuse CNRS au laboratoire MSC, à Paris

[[Légende jet d’eau et spray]]

Lorsqu’un jet arrive à la verticale, son inertie lui permet d’entrer en contact avec la plaque chaude. Le liquide s’étale puis redécolle en formant un spray de gouttelettes. L’angle

d'éjection est le résultat d'une compétition entre l'inertie du jet qui tend à maintenir le liquide contre la plaque et l'évaporation qui soulève le liquide.

© A. Duchesne

[[Mini encadré]]

Mimer l'effet Leidenfrost à la maison

Pour cela, il faut un CD ou DVD (qui simulera la goutte), un capuchon de bouteille en plastique refermable (de type pousser-tirer), un ballon de baudruche et un peu de colle. Le bouchon est collé en face du trou du CD. Il faut placer le ballon gonflé sur l'embout du capuchon préalablement mis en position fermée. Une fois le dispositif posé sur une table lisse, on met le capuchon en position ouverte afin de laisser le ballon se dégonfler à travers le trou du CD. Le véhicule décolle de la table lui offrant une grande mobilité. Le coussin d'air persiste jusqu'à ce que l'air délivré par le ballon ne soit plus suffisant pour satisfaire la sustentation du disque.

[[Légende schéma goutte sur bain d'huile]]

Sur un bain d'huile, trois mécanismes transportent la chaleur sous la goutte pour maintenir son évaporation et l'alimentation du film de vapeur : la convection, l'entraînement en surface par le flux de vapeur et l'effet Marangoni, qui correspond à une homogénéisation de la tension de surface qui dépend de la température.

© Pour la Science

[[Légende toit d'usine]]

En structurant de façon asymétrique la surface métallique (en « toit d'usine ») il est possible d'orienter le flux de vapeur. Cela engendre une force visqueuse, certes très faible, mais suffisante pour propulser la goutte dans une direction particulière. Une approche qui pourrait être utilisée pour contrôler le mouvement de gouttes, par exemple dans un dispositif de réactions chimiques sans contact avec le support.

© ????? (Guillaume Lagubeau)