

Description de quelques faits accompagnant la brisure d'une veine liquide

Autor(en): **Lullin, T.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Revue suisse de photographie**

Band (Jahr): **8 (1896)**

Heft 9

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-524823>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



DESCRIPTION DE QUELQUES FAITS

ACCOMPAGNANT LA

BRISURE D'UNE VEINE LIQUIDE

LORSQU'UNE veine liquide se brise à la rencontre d'une surface de même nature, il se forme, soit à la surface, soit dans les profondeurs de la masse liquide, un grand nombre de bulles d'air qui affectent dans leurs formes et dans leurs groupements, des apparences très diverses et peu connues.

J'ai cherché, au moyen des expériences suivantes, à obtenir quelques éclaircissements sur ce sujet qui n'a été, à ma connaissance, étudié que par Magnus et Tyndall¹. Ces deux auteurs se sont occupés occasionnellement de ce phénomène dans leurs recherches sur les mouvements des fluides.

Le procédé d'observation que j'ai employé est très simple, il consiste à recevoir une veine liquide tombant sous une pression de 12 à 15 cent. dans un récipient en verre dont je fais à volonté varier la hauteur. Les bulles présentent alors, suivant le point où la veine est coupée par la surface un certain nombre de phases caractéristiques dont il m'a paru intéressant d'obtenir une reproduction exacte.

¹ Prof. Magus : On the motion of fluids. — Dr Tyndall : On some phenomena of a Water Jet. *Philosophical Magazine*, Vol. 1, 4^{me} série, 1851.

Pour photographier les phénomènes qui se passent dans les profondeurs et exigent une grande rapidité de pose, j'ai employé l'éclairage d'une forte étincelle électrique, récoltée directement entre les excitateurs d'une machine Bonetti, munie de deux condensateurs supplémentaires. La rotation des plateaux donnent lieu à un ébranlement que je n'ai pas pu éviter, et dont les traces sont visibles sur toutes mes épreuves ; j'espère cependant que ces images paraîtront suffisantes pour donner une idée du phénomène ¹.

L'impression photographique diffère quelquefois beaucoup de celle qui est produite sur l'œil ; ce fait s'explique par la rapidité avec laquelle, dans certains cas, la forme des bulles se modifie.

La constitution physique de la veine liquide est trop connue pour que je m'attarde à en donner ici la description détaillée. Je me contenterai d'en reproduire une photographie (fig. 1), qui montre l'amincissement progressif de la veine avec l'augmentation de la vitesse initiale. L'extrémité de cette partie effilée présente un certain nombre de renflements, correspondant chacun à une période de vibration du liquide. La veine se sectionne ensuite, et chaque renflement donne naissance à une goutte d'eau qui vibre autour d'un axe vertical. Entre ces gouttes principales on voit des gouttes plus petites, provenant de la rupture des parties étranglées comprises entre les renflements primitifs.

J'ai distingué dans le cours de ces recherches les quatre cas suivants, qui présentent chacun des caractères spéciaux bien définis :

1° Une veine continue pénétrant dans une masse liquide dépourvue de bulles d'air.

2° Même expérience, le liquide renfermant des bulles d'air.

¹ Ces figures, à peu près de grandeur naturelle, ne sont pas à l'échelle. Les nos 7, 8, 9 ont été obtenus à la lumière solaire.

3° Brisure de la veine discontinue.

4° Pénétration d'une veine continue dans une masse liquide au sein de laquelle existe un mouvement tourbillonnaire.

Pour l'observation des trois premiers cas, j'ai employé une cuve carrée de 5 centimètres de côté et de 15 centimètres de profondeur, afin d'éviter les mouvements tourbillonnaires qui se produisent constamment dans les vases de forme cylindrique.

I

Je commence par placer le récipient de manière à couper la veine dans sa partie pleine, soit à trois ou quatre centimètres au-dessous de l'orifice du tube. La partie inférieure de la veine se raccorde alors à la surface liquide par un ménisque convexe évasé, émergeant de quelques millimètres au-dessus de la surface, et circonscrit lui-même par une zone superficielle légèrement déprimée ; cette dépression à peine visible ne paraît pas être constante. L'inspection du liquide ne montre aucune trace d'air entraîné dans la profondeur ; ce dernier fait est important à constater.

II

Pour observer une veine continue pénétrant dans une masse liquide renfermant des bulles d'air, on peut procéder de deux manières.

La première consiste à abaisser le récipient jusqu'à l'apparition des bulles, et à le ramener ensuite rapidement à sa position initiale.

La deuxième, beaucoup plus commode, et que j'ai employée pour obtenir les photographies ci-jointes, est d'imprimer un choc à l'appareil d'où s'échappe une veine coupée par la surface liquide à l'extrémité de sa partie pleine. Dans

les deux cas, l'entrée de l'air est due à des causes dont il sera question ultérieurement.

Ces deux procédés donnent des résultats analogues ; les bulles emprisonnées dans le liquide présentent souvent une apparence piriforme, elles sont animées de mouvements oscillatoires pendant lesquels les petites bulles sont souvent absorbées par les plus grosses ou entraînées à la surface. Au bout d'un certain temps leur nombre est réduit à 5 ou 4 (fig. 2), souvent enfin à une seule. Cette bulle unique, toujours de petit volume, oscillant à l'extrémité de la veine, est d'une persistance remarquable¹. Le récipient peut être élevé jusqu'à amener le point d'émergence de la veine dans le liquide même sans qu'elle disparaisse (fig. 3) ; il est même possible, en opérant sans secousse, de la faire descendre jusqu'au fond du vase, où elle paraît se fixer ; l'amplitude de ses mouvements oscillatoires diminue, semble-t-il, avec la profondeur à laquelle elle se trouve.

Pendant cette période, les bulles qui remontent n'éclatent pas toujours en arrivant à la surface ; celles qui émergent dans le voisinage immédiat de la veine ne tardent pas à venir s'appliquer contre cette dernière, qu'elles entourent quelquefois au nombre de trois ou quatre ; souvent alors deux bulles se fusionnent en une seule de fort volume.

Une fois accolées à la veine, les bulles perdent subitement leur forme sphérique, elles s'allongent dans leur partie inférieure et revêtent alors grossièrement l'apparence d'un cône immergé dans le liquide et recouvert d'un dôme formé par la pellicule superficielle. De l'extrémité du cône on voit s'échapper pendant quelques instants une multitude de petites bulles qui descendent en tournoyant, tandis que le volume de la bulle initiale diminue, par suite de cette déperdition de gaz (fig. 4). Ce phénomène s'observe

¹ Tyndall signale ce fait pour une veine d'huile.

facilement pour les bulles de forte dimension, spécialement après la fusion de deux bulles en une seule ; il paraît spécial, au moins pour les veines s'écoulant sous une faible pression, à la brisure de l'extrémité de la partie continue. En d'autres termes, il faut, pour obtenir la division des bulles, que la veine soit coupée par la surface liquide en un point où elle possède une certaine vitesse, variable d'ailleurs avec la dimension des bulles.

Les nombreuses petites bulles qu'on observe au sein du liquide pendant cette période, proviennent donc exclusivement du fractionnement de la bulle initiale, et non d'une nouvelle introduction d'air.

Une fois fixées à la veine, les bulles la suivent dans tous les déplacements qu'on lui imprime latéralement, elles ne tardent pas à prendre un mouvement giratoire autour de cette dernière ; ce mouvement est intermittent et change quelquefois de sens ; l'inclinaison des bulles semble indiquer que c'est à la surface qu'il est le plus rapide, sa vitesse paraît augmenter avec le débit de la veine ainsi qu'avec la pression et les dimensions du récipient ; dans une petite cuve carrée, il est peu accentué (fig. 5).

Souvent, après diminution de son volume primitif, la bulle accolée à la veine est entraînée dans la profondeur ; ce fait se produit d'une manière constante lorsque la vitesse de la veine est considérable au point de contact.

J'ai remarqué que les bulles qui remontent dans le voisinage immédiat de la veine revêtent quelquefois les formes décrites ci-dessus, pendant leur période ascensionnelle ; elles abandonnent alors en s'élevant un chapelet de petites bulles dans le liquide.

Si, au moment où il existe des bulles fixées au point de contact, on élève avec précaution le récipient, de manière à introduire, dans le liquide même, le tube d'où la veine émerge, les bulles se fixent au tube de verre, elles perdent

immédiatement leur forme allongée, et leur mouvement giratoire cesse instantanément. Cette expérience est difficile à réussir, à cause du peu de stabilité des bulles.

Il arrive quelquefois qu'une bulle accolée à la veine quitte cette position pour reprendre son mouvement oscillatoire dans le liquide ; elle peut même, semble-t-il, accomplir plusieurs fois le double trajet ; ce fait assez rare et au sujet duquel je possède peu d'observations précises, m'a paru limité aux bulles ne dépassant pas une dimension moyenne, et aux cas où la veine ne possède au point de contact qu'une faible vitesse.

REMARQUES

Le *mouvement giratoire* qui, dans la brisure de la veine continue, entraîne la rotation des bulles autour du point de chute, peut être mis en évidence en répandant du lycopode à la surface du liquide. Les poussières ne tardent pas, dans ce cas, à prendre un mouvement de rotation autour du point de contact ; ce mouvement est plus rapide au centre que sur les bords et semble produire une dépression très faible à la surface ; il suffit d'une légère impulsion superficielle pour changer momentanément le sens de sa rotation. Lorsque la vitesse de la veine au point de contact est très faible, la rotation du lycopode est à peine perceptible, quelquefois même elle ne se produit pas.

Il est facile de constater que ce mouvement giratoire n'existe pas lorsque la veine est coupée dans la partie discontinue. Pour le prouver, il suffit d'abaisser le récipient au moment où la rotation du lycopode est bien établie. On voit alors les rayons émis par la veine à partir du centre, arrêter instantanément les poussières.

La *déformation et le fractionnement des bulles accolées à la veine* me paraissent résulter d'un phénomène très connu, que je vais décrire brièvement.

Lorsqu'une veine continue pénètre dans un liquide, les parties de ce dernier qui se trouvent en contact avec elle, sont, par le fait du frottement, entraînées de haut en bas; elles remontent ensuite par un courant excentrique au moyen duquel l'équilibre se rétablit. Ce fait entraîne une circulation de liquide, descendant au centre, ascendant sur les bords, et l'on peut dire que le point de contact est entouré d'une série de courants verticaux, évoluant autour d'un axe circulaire horizontal.

Le phénomène peut être grossièrement représenté en faisant pénétrer un jet d'eau ou d'air tangentiellement à une surface liquide recouverte de lycopode (fig. 8). Ces divers caractères dénotent l'existence, au point de contact, d'un tourbillon évoluant autour de la veine immergée.

La trajectoire des bulles est facile à constater.

Dès qu'elles arrivent à la surface, le tourbillon les entraîne au point de contact où elles viennent butter contre la veine. Une fois fixées dans cette position, elles se trouvent enchâssées à la jonction de deux courants convergents, la veine d'une part, le liquide descendant de l'autre.

Les couches liquides dans lesquelles plonge leur partie inférieure sont entraînées dans la profondeur; la bulle s'allonge verticalement et forme cet appendice terminal, qui, entraîné avec le liquide, se brise et paraît injecter dans les parties profondes les nombreuses petites bulles qu'on y voit descendre en tournoyant. Lorsque cette déperdition de gaz a considérablement réduit son volume, la bulle se trouve partiellement soustraite à l'influence des courants profonds; elle n'obéit plus alors qu'à l'impulsion giratoire superficielle et tourne autour de la veine en conservant toutefois l'allongement de sa partie inférieure.

Par contre, lorsque le volume de la bulle initiale diminue au delà de certaines limites par le fait de cet « appel d'air », la résistance qu'elle offre aux courants devient insuffisante

pour la maintenir à la surface ; elle est alors entraînée dans la profondeur.

Cette explication du phénomène me paraît vraisemblable ; je ne la donne, cependant, qu'à titre de simple hypothèse.

III

Un abaissement du récipient amène la rencontre de la surface avec la partie discontinue de la veine, et modifie considérablement l'ensemble des phénomènes.

Le ménisque qu'on remarquait autour du point de contact est alors remplacé par un gouffre central, dans lequel la veine s'enfonce plus ou moins profondément. Les bulles, qui se produisent avec bruit et en grand nombre, ne viennent plus, en remontant à la surface, s'appliquer contre la veine, elles sont au contraire chassées vers l'extérieur par un mouvement rapide et se produisant en ligne droite ; parvenues à une certaine distance, elles s'arrêtent et éclatent. Pendant ce trajet, leur volume s'accroît quelquefois par l'absorption d'autres bulles remontant à la surface. On n'observe jamais de bulles animées d'un mouvement giratoire autour de la veine.

L'examen de la partie profonde montre un groupement de bulles paraissant reliées au gouffre central par l'extrémité de leur partie allongée. L'ascension de l'air semble se faire par une multitude de petites bulles se détachant latéralement et de la partie inférieure du groupe central.

J'ajouterai que la complexité et la rapidité des mouvements des bulles rendent, dans ce cas, les observations fort difficiles ; d'autre part la photographie ne représente pas ces phénomènes tels que nous les percevons à l'inspection directe.

REMARQUES

Dans son remarquable travail « On the splash of a drop ¹ », M. A. Worthington montre qu'une goutte d'eau, tombant dans une masse liquide, y forme un gouffre qui s'élargit rapidement, et que les rayons émis à partir du point de contact donnent à cet entonnoir une apparence radiée. Du centre de ce gouffre on voit ensuite surgir une colonne liquide, qui s'élève au-dessus de la surface, et qui présente, lorsque la hauteur de chute est suffisante, un renflement terminal formé par une bulle d'air; finalement la colonne disparaît et le gouffre se referme.

Un procédé très simple pour montrer l'air introduit dans ces circonstances, consiste à faire tomber une goutte d'un liquide visqueux dans un vase contenant de l'eau. Lorsque la hauteur de chute dépasse approximativement quinze à vingt centimètres, on voit remonter une partie du liquide visqueux qui s'étale à la surface et y forme une pellicule résistante, recouvrant une bulle d'air. Les dimensions de la bulle démontrent que le volume de l'air entraîné augmente beaucoup avec la hauteur de chute ².

La partie brisée de la veine n'étant en réalité qu'une succession très rapide de gouttes, tombant toutes avec une vitesse considérable en un même point, il est très naturel de supposer qu'elles compriment de l'air dans le gouffre qui n'a pas le temps de se refermer entre les chutes; cet air pénètre ensuite dans la masse liquide en traversant les parois du gouffre. La forme des bulles entourant l'entonnoir central semble montrer qu'il y a réellement détente d'un gaz; ce que nous percevons comme une bulle allongée

¹ *Proc. Roy. Soc.*, may 1894, in-8°.

² Comme liquide visqueux, j'ai employé de la colle ordinaire en solution épaisse; l'expérience peut aussi se faire au moyen d'une goutte d'eau roulée dans du lycopode.

n'étant probablement qu'une succession très rapide de bulles, dont le volume croît à mesure que diminue la pression initiale, due à la compression de l'air dans le gouffre.

L'impossibilité de photographier ces bulles allongées s'explique ainsi de la manière la plus rationnelle.

Lorsqu'il ne tombe qu'une goutte d'eau, ou que l'intervalle entre les chutes successives est suffisant, les bulles cessent d'être visibles, et le phénomène de la colonne ascendante se produit d'une façon régulière; il n'y a plus alors compression de l'air qui a le temps de remonter librement entre les chutes. Une fois parvenues à la surface, les bulles sont chassées vers l'extérieur par les rayons qui se forment toujours autour de la brisure de la veine discontinue.

Cette explication du phénomène est presque identique à celle qu'en a donné Magnus, pour réfuter une théorie de Venturi qui croyait à l'existence d'air adhérent entraîné par la veine.

Le bruit qui accompagne toujours l'introduction de l'air dans un liquide, est attribué par Tyndall à la rupture d'une pellicule, autrement dit à l'explosion d'une ou de plusieurs bulles.

Un choc imprimé à l'appareil communique à la veine un ébranlement qui la brise en plusieurs fragments. La partie continue de celle-ci se trouve ainsi transformée en une veine discontinue qui introduit momentanément de l'air dans le liquide; ce fait avait déjà été observé par Magnus.

IV

Il ressort de ces faits qu'une veine coupée dans sa partie pleine n'entraîne pas d'air en quantité appréciable dans le liquide. Un mouvement tourbillonnaire existant au sein de la masse liquide peut cependant modifier le phénomène d'une façon absolue.

Pour le démontrer, je remplis aux deux tiers un bocal cylindrique d'environ 18 cent. de section contenant deux à trois litres d'eau. Une cuve carrée ne donne pas d'aussi bons résultats. Après avoir saupoudré la surface de lycopode, j'y fais pénétrer, sous une pression de 25 à 50 centimètres, une veine liquide d'environ 1 1/2 mm. de diamètre coupée dans sa partie continue (les résultats sont d'autant plus manifestes que le point de contact est situé plus près du centre du bocal). Je produis ensuite, en un point quelconque du liquide, au moyen d'un appareil tournant autour d'un axe vertical ¹, un mouvement tourbillonnaire violent, puis je retire l'appareil et j'abandonne le liquide à lui-même.

Pendant les premiers instants, le tourbillon est mis en évidence par l'évolution des poussières autour d'un axe qui se déplace lui-même dans le sens de la rotation ; il disparaît ensuite complètement, pour reparaitre après un temps plus ou moins long, décrivant des courbes d'apparence elliptique autour du point de contact. A ce moment il est à peine visible, et l'on distingue quelquefois vaguement plusieurs tourbillons secondaires, parcourant des trajectoires identiques.

Progressivement, les courbes décrites par le tourbillon autour de la veine diminuent d'amplitude ; on le voit ensuite traverser plusieurs fois le point de chute ; ces passages sont reconnaissables au creusement du point de contact et à la pénétration d'une quantité de bulles d'air dans le liquide. Au moment où il échappe à la veine, le tourbillon se dessine d'une manière très nette sur la surface (fig. 7). D'abord très courts, ces passages augmentent chaque fois de durée ; enfin le tourbillon se fixe définitivement à l'extrémité de la veine ; le gouffre se creuse et s'élargit (fig. 9),

¹ Le tourbillon peut être produit au moyen d'une baguette quelconque.

tandis que l'air pénètre dans le liquide en grande quantité et avec un crépitement nettement perceptible; cette pénétration n'a pas lieu d'une façon ininterrompue, mais par périodes successives ayant chacune leurs phases croissantes et décroissantes. Vu par transparence, le tourbillon présente alors l'aspect d'un entonnoir, dont le fonds déchiré laisserait échapper une quantité de bulles dans le liquide (fig. 10) ¹.

Insensiblement l'air cesse de pénétrer, l'entonnoir se ferme dans sa partie profonde et finit par disparaître; pendant cette dernière période il existe en général des bulles oscillant à l'extrémité de la veine.

L'observation montre que depuis le moment où il est définitivement fixé à l'extrémité de la veine, le tourbillon suit tous les déplacements imprimés latéralement à cette dernière; on peut, en opérant avec précaution, l'amener en un point quelconque du récipient, sauf dans les parties immédiatement voisines des parois; il est même facile de l'abandonner et de le ressaisir à volonté.

L'axe du tourbillon et celui de la veine ne paraissent jamais coïncider exactement; leur position respective semble se modifier constamment, quoique d'une façon moins prononcée, pendant la dernière période du phénomène.

Il arrive parfois que brusquement, et sans cause apparente, le gouffre disparaît; les poussières s'éloignent du point de contact, en laissant à nu la surface centrale sur un espace à peu près circulaire. Ces intermittences ne durent qu'une fraction de seconde, après quoi le phénomène reprend toute sa régularité.

En général, lorsque le point de contact est situé très près des parois du vase, le tourbillon y passe encore, mais

¹ Cette photographie a été prise dans une cuve carrée de 0,20 de côté, afin d'éviter la déformation due à la courbure des parois.

ne s'y fixe pas ; il forme une ou plusieurs fois l'entonnoir, après quoi l'on perd définitivement sa trace ; souvent, il n'y a pas d'air entraîné dans le liquide. Le phénomène est alors beaucoup plus lent à se produire.

La plupart de ces effets, au lieu d'être produits par la brisure de la veine, peuvent aussi être obtenus en enfonçant son point d'émergence de quelques millimètres au-dessous de la surface ; le tourbillon, au lieu de tourner autour de la veine, évolue alors autour du tube d'où elle s'échappe, il se creuse comme précédemment et injecte de de l'air dans le liquide ; on ne constate pas en général, dans ce cas, l'existence du courant circulaire initial à la surface.

REMARQUES

Lorsqu'une veine d'un fort débit pénètre dans un bocal cylindrique et le remplit graduellement, l'agitation imprimée au liquide par le seul fait de cette chute, lui communique très souvent un mouvement tourbillonnaire dont les effets sont semblables à ceux que je viens de décrire ; une forte pression semble produire des résultats analogues. L'entonnoir, dans ces circonstances, se forme presque toujours spontanément, et dans le cas contraire, il suffit de la plus légère agitation imprimée artificiellement aux couches profondes du liquide pour le voir se produire ; une faible inclinaison de la veine par rapport à la surface semble faciliter cette production spontanée.

J'ajouterai que les dimensions et la forme du récipient exercent une grande influence sur ce genre d'expériences. Magnus, qui opérait sous une pression de 10 pieds d'eau et qui employait un récipient de grandes dimensions, a remarqué le fait sans en indiquer la cause ; Tyndall, par contre, qui ne semble avoir considéré qu'une veine à très basse pression, ne signale pas ce phénomène.

Cette expérience montre que tout mouvement tourbillonnaire existant dans le liquide, au voisinage de la veine, finit par se confondre avec le tourbillon créé par cette dernière; ce fait explique bien des irrégularités qui se produisent, sans cause apparente, au point de contact, et qui paraissent, à première vue, attribuables à une discontinuité accidentelle de la veine.

Je ne voudrais pas tirer d'expériences aussi incomplètes, des conclusions qui risqueraient d'être inexactes. Il me semble cependant en résulter qu'il existe au moins deux modes distincts d'introduction d'air dans le liquide; le premier est spécial à la partie discontinue de la veine, tandis que le second, qui présente de grandes analogies avec le phénomène de fractionnement des bulles, est dû à un mouvement tourbillonnaire existant au sein de la masse liquide. Dans le premier cas, l'air est comprimé dans le liquide; dans le second, il semble aspiré par l'effet d'un tourbillon descendant. Il est évident, d'autre part, que ces deux causes doivent coexister pour toute chute d'eau d'un fort débit, tombant sans grande régularité; on peut donc admettre que, selon toute probabilité, les deux phénomènes se produisent simultanément dans l'immense majorité des cas.

Th. LULLIN.

(Extrait des *Archives des Sciences physiques et naturelles*, sept. 1896.)

