



# Jeu de l'eau

Ondes  
vagues  
Tourbillons

# JEU X D'EAU

## ONDES, VAGUES ET TOURBILLONS

*Cet eBook accompagne l'exposition du Muséum d'histoire naturelle du Havre du 21 juin 2014 au 4 janvier 2015.*

*Muséum du Havre, Place du Vieux Marché - 76600 Le Havre*

*Textes : Céline Nadal*



[www.museum-lehavre.fr](http://www.museum-lehavre.fr)

# INTRODUCTION

Qu'y a-t-il de commun entre l'eau, l'air, le miel, la mousse, le sang ou encore le sable ? Tous sont des fluides et ont donc la capacité de s'écouler. Contrairement au solide qui possède une forme bien définie, le fluide prend la forme du contenant dans lequel il se trouve.

La différence entre fluide et solide semble claire, et pourtant... Le glacier par exemple, qui apparaît de l'extérieur comme un énorme bloc de glace, s'écoule. Un glacier se comporte comme un fluide si on l'observe sur un temps très long ! A l'opposé, si vous avez déjà plongé dans l'eau depuis un plongeoir très haut, l'eau a dû vous paraître bien dure... En fait la notion de fluide dépend de l'échelle à laquelle on se place. Le glacier peut ainsi être vu comme un fluide très visqueux, un peu comme un miel très épais qui s'écoule lentement.

Les fluides sont partout et s'écoulent autour de nous sans que nous nous en rendions toujours compte. Vous êtes-vous déjà demandé comment les vagues se forment et se propagent ? D'où viennent les tornades ? Comment on peut expliquer les formes que l'on observe dans les nuages ? Comment expliquer les tourbillons et formes changeantes dans une rivière ? Pourquoi les bulles de savon et les gouttes d'eau sont toujours sphériques ? Comment se forment les dunes de sable ?

Ces questions sont typiques de celles que se pose un physicien des fluides, qui, pour y répondre, va observer et expérimenter. Comme tous les fluides ont en commun cette capacité à s'écouler, ils présentent des comportements similaires et peuvent être décrits par la même physique. Par exemple on peut voir des tourbillons dans toutes sortes d'écoulements et à des échelles très différentes : ce peut être le petit tourbillon d'eau qui se forme au fond d'une baignoire qui se vide, ou la tornade qui se forme dans l'air ou encore le cyclone de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre qui

détruit tout sur son passage ! Tous présentent la même structure tourbillonnaire.

L'exposition *Jeux d'eau - ondes, vagues et tourbillons* au Muséum du Havre (21 juin 2014 - 4 janvier 2015) invite à découvrir l'univers poétique et complexe de la physique des fluides, par une approche qui mêle art et science, observation et expérimentation. Elle propose une immersion dans un monde de vagues et de tourbillons, d'eau et de brume. Cet eBook rassemble les images et films de l'exposition. Il reprend aussi l'idée des expériences proposées au Muséum. Et il évoque les œuvres d'art présentées dans l'exposition, qui ont été imaginées par un groupe de quatre physiciens et cinq artistes : réunis pendant trois jours en résidence à Deauville, ils ont conçu ensemble des fontaines et installations d'eau étonnantes. Cette rencontre originale entre art et science s'inscrit dans la démarche du festival Terre d'Eaux qui a proposé de créer dans l'Estuaire de la Seine un parcours de fontaines revisitées par des artistes.

# TOURBILLONS

Avez-vous déjà remarqué le tourbillon d'eau qui se forme au fond d'une baignoire qui se vide ? En fait, quand on y fait attention, on peut voir des tourbillons dans toutes sortes d'écoulements, qu'il s'agisse d'eau, d'air ou de fumée... et à des échelles très différentes !

Des exemples spectaculaires : la tornade et le cyclone ! Dans ce cas, il s'agit d'un gigantesque tourbillon parfaitement formé. Mais parfois les tourbillons sont beaucoup plus irréguliers et imprévisibles : dans un torrent, on peut voir des zones de turbulence, agitées, où se forment des tourbillons de toutes tailles.

Vous avez peut-être aussi déjà observé la succession de tourbillons alternés qui se forment dans l'eau de la rivière derrière un pilier de pont ou plus simplement dans le sillage de n'importe quel obstacle placé sur le chemin d'un courant d'eau, d'air ou de fumée : c'est ce qu'on appelle une allée de tourbillons de Bénard - Von Karman.

## SILLAGE

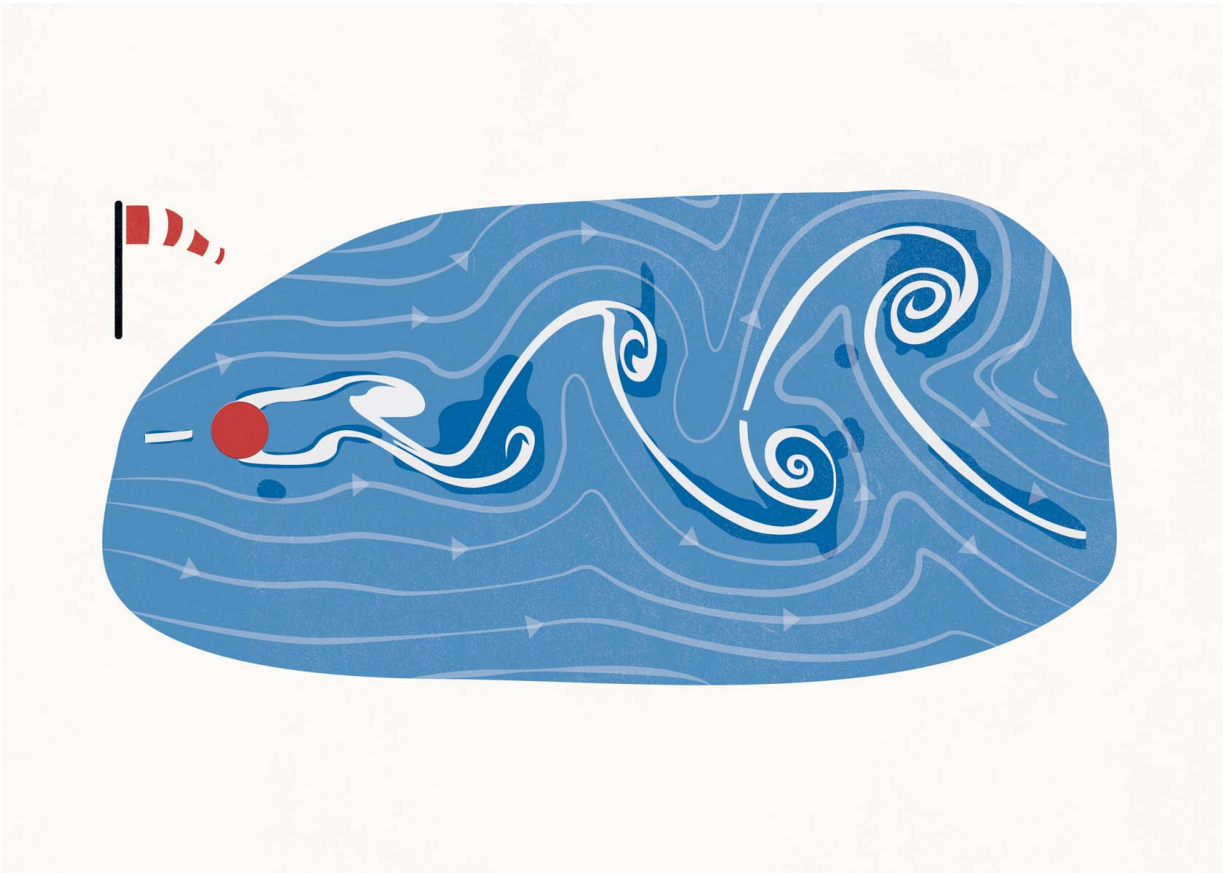
Quand un bateau avance sur l'eau ou un avion dans l'air, on voit une traînée se former en arrière : c'est le sillage. C'est le même phénomène que l'on observe derrière un obstacle dans un écoulement, par exemple une pierre dans un torrent. On voit des tourbillons, plus ou moins réguliers. Si le fluide coule vite, le sillage est turbulent, irrégulier. L'étude des sillages a des applications très importantes. En aéronautique par exemple, on cherche à donner aux ailes des avions une forme spécifique, « aérodynamique », pour limiter la turbulence dans le sillage, car cette turbulence crée des frottements dans l'air et freine l'avion.



## ALLEE DE BENARD-VON KARMAN

Avez-vous déjà remarqué les tourbillons réguliers qui se forment dans l'eau de la rivière derrière une pile de pont ? C'est ce qu'on appelle une allée de tourbillons de Bénard-Von Karman, d'après le nom du physicien hongrois Théodore Von Karman (1881-1963) spécialisé en aéronautique et celui du physicien français Henri Bénard (1874-1939). Cette succession de tourbillons alternés apparaît dans le sillage de n'importe quel obstacle placé sur le chemin d'un courant d'eau, d'air ou de fumée (ou de tout autre fluide). On retrouve le même phénomène, décrit par la même physique, dans des situations d'écoulement très variées et à des échelles très différentes !

***Tourbillons alternés dans le sillage d'un cylindre (allée de Von Karman)***



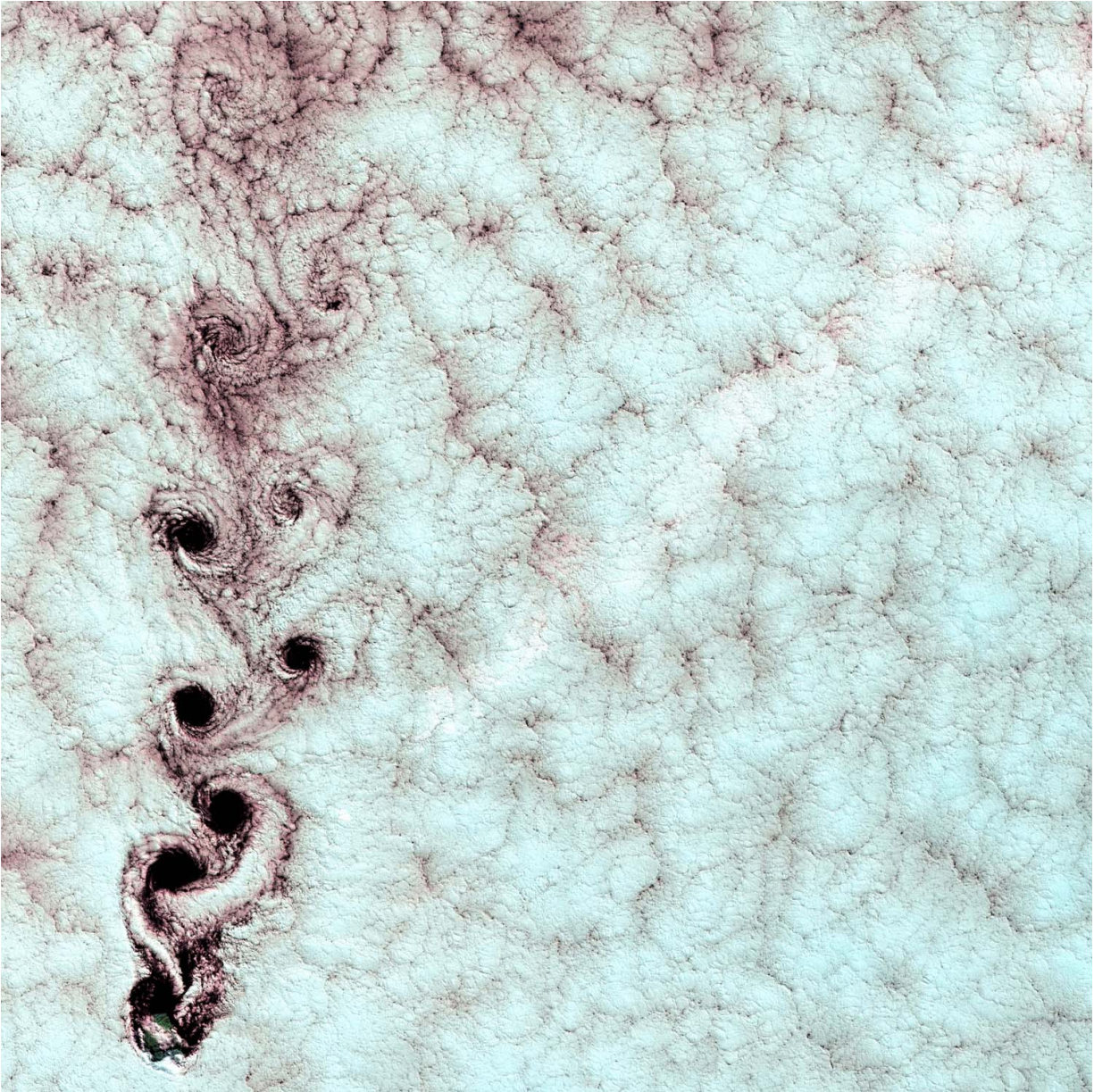
- VISUALISATION D'UNE ALLEE DE BENARD - VON KARMAN

*B. Thiria, S. Goujon-Durand, J.E. Wesfreid, PMMH, ESPCI, Paris*

Comme les tourbillons dans l'eau se formant derrière les piliers d'un pont sur un fleuve, la vidéo montre une expérience de laboratoire où les tourbillons sont visualisés grâce à un colorant fluorescent.

- ALLEES DE VON KARMAN DANS LES NUAGES

*Île volcanique Alexandre Selkirk, au large du Chili, océan Pacifique.  
Image satellite, NASA, 15 septembre 1999.*



Les nuages sont poussés par des vents forts en haute mer. Quand ils rencontrent une île qui culmine à plus de 1000 mètres d'altitude, ils sont déviés : on observe derrière l'île une succession de tourbillons alternés, une allée de Bénard-Von Karman, mais à très grande échelle - ici, chacun des tourbillons est large de plusieurs kilomètres ! Sur la photo, l'île est en bas à gauche et le vent souffle du bas de l'image vers le haut.



- L'EFFONDREMENT DU PONT DE TACOMA

*Producer: Stillman Fires - Collection: Tacoma Fire Department.  
1940*



[Si cette vidéo ne fonctionne pas, vous pouvez cliquer sur ce lien pour voir la vidéo dans votre navigateur.](#)

Le 7 novembre 1940, sous l'effet d'un vent à 60 km/h à peine, le pont suspendu de Tacoma (États-Unis) s'est effondré quelques mois après son inauguration ! Le pont est un obstacle pour le vent : des tourbillons d'air se forment derrière lui et le pont ressent des vibrations — le pont de Tacoma, mal construit, n'a pas résisté à ces vibrations : il s'est transformé en balançoire géante avant de s'effondrer.

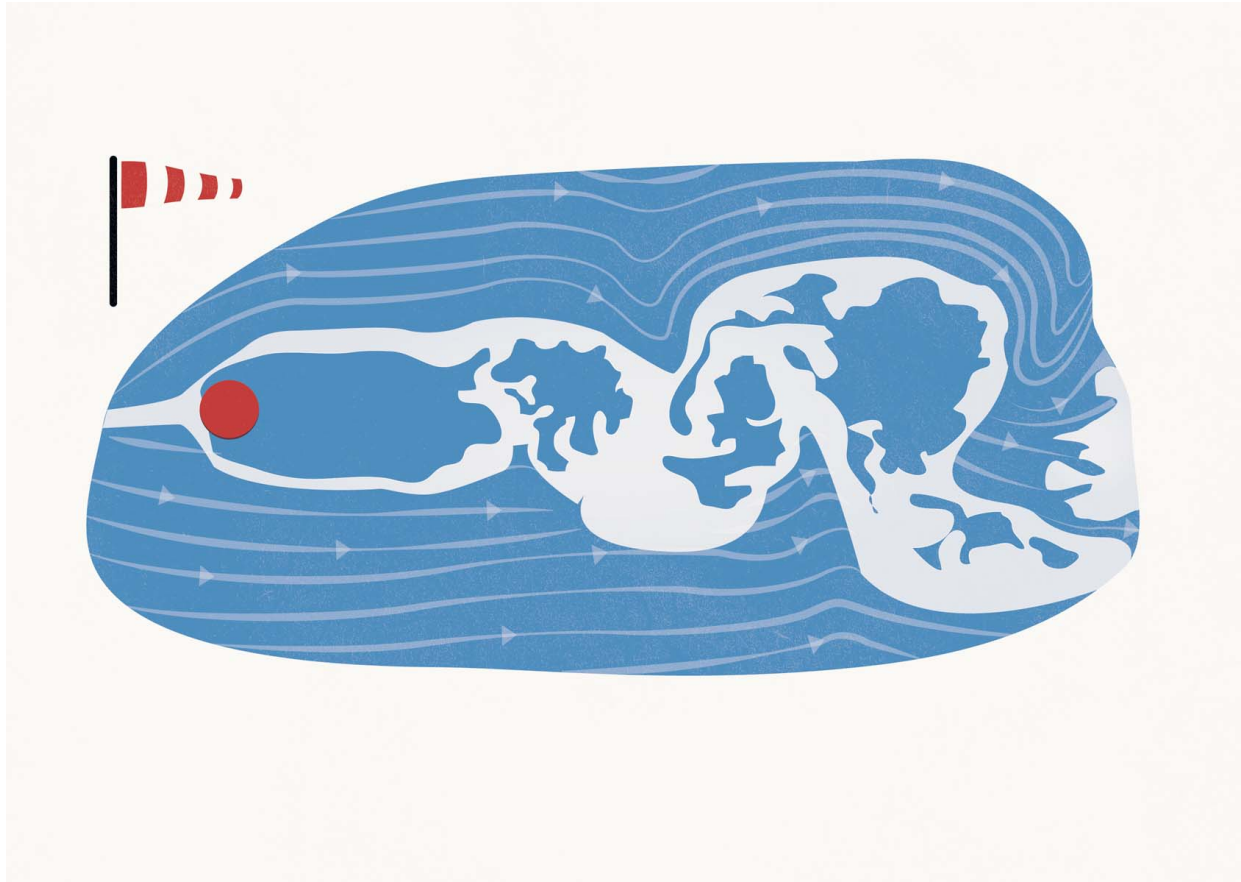
## SILLAGES ET TURBULENCE

Dans l'écoulement derrière un obstacle (sillage), se forme une allée de tourbillons alternés (Von Karman). Quand l'eau coule plus

vite, les tourbillons sont émis à une fréquence plus élevée (mais la distance entre deux tourbillons successifs reste la même).

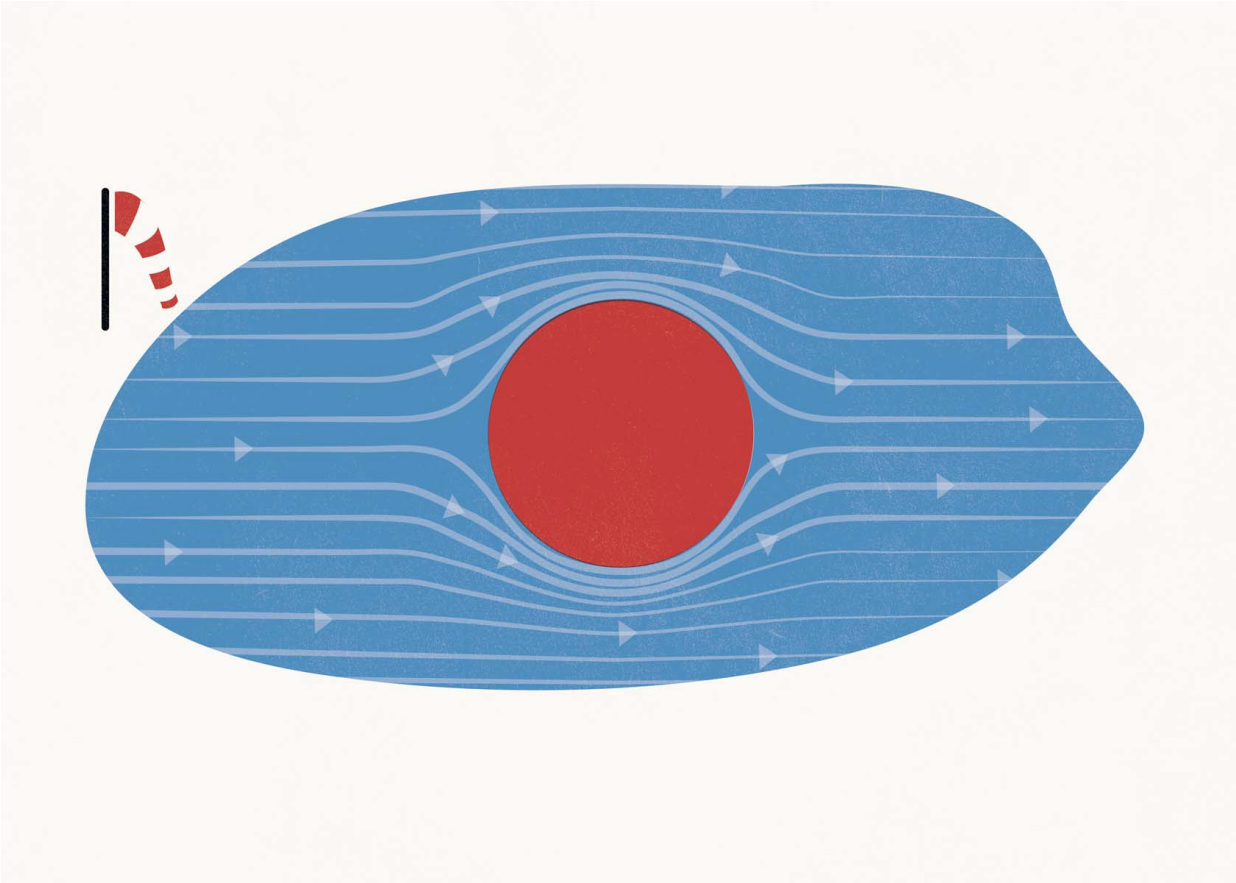
Si l'eau va très vite, on voit des tourbillons de plus en plus irréguliers, de toutes tailles, désordonnés : l'écoulement devient turbulent — on ne peut alors pas prévoir sa forme exacte !

### ***Écoulement turbulent derrière un cylindre***



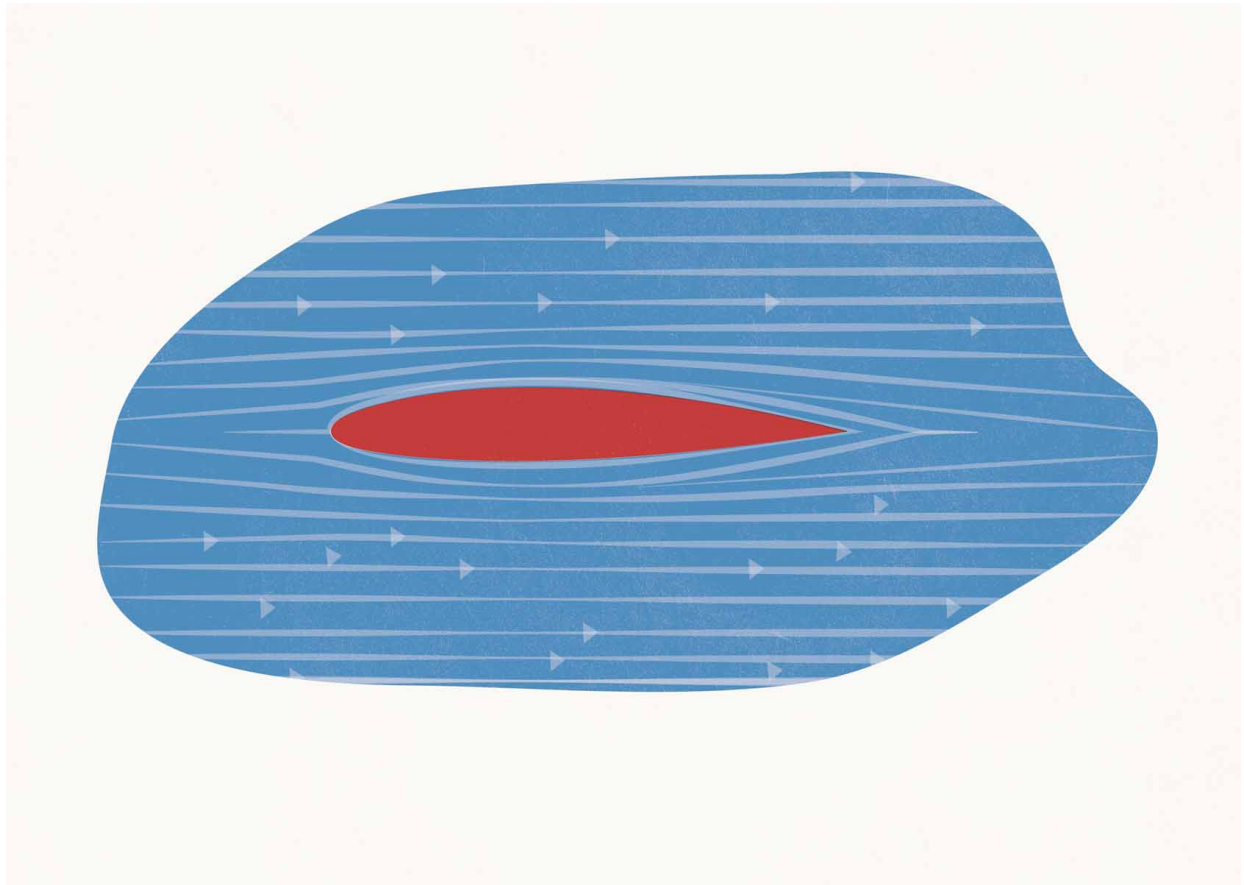
Au contraire, si l'eau s'écoule très lentement, les tourbillons sont peu visibles jusqu'à disparaître. Dans cette limite, l'eau s'écoule en lignes parallèles autour de l'obstacle — on parle d'écoulement laminaire. Dans ce cas de figure, si on prend une photo à un instant donné, il est impossible de déterminer sur la photo dans quel sens s'écoule l'eau ! C'est ce qu'on appelle un écoulement rampant, il s'observe pour un fluide qui coule lentement ou qui est très visqueux (comme un miel épais).

### ***Ecoulement rampant autour d'un cylindre (très lent)***



Nous avons vu que l'écoulement derrière un obstacle génère des tourbillons voire de la turbulence. Mais ces tourbillons peuvent prendre différents aspects et être plus ou moins présents selon la forme de l'obstacle... Ainsi avec un obstacle profilé comme une aile d'avion par exemple, l'air ou l'eau s'écoule en lignes quasi parallèles : la forme aérodynamique (ou hydrodynamique pour l'eau) permet de réduire les tourbillons et la turbulence derrière l'objet, donc de produire moins de frottements et d'aller vite en dépensant moins d'énergie ! Par exemple la forme d'une voiture de course est conçue pour avoir une pénétration optimale dans l'air. Les skieurs de compétition utilisent, quant à eux, des combinaisons et casques spéciaux pour avoir un profil aérodynamique leur permettant d'aller plus vite.

## ***Lignes d'écoulement autour d'un obstacle profilé***



## DES TOURBILLONS POUR SE PROPULSER : VOL ET NAGE

Le vol battu est pratiqué par la plupart des oiseaux et insectes. Le battement régulier des ailes génère des tourbillons dans l'air qui créent une force de propulsion. C'est le même principe pour les poissons qui avancent dans l'eau grâce à un battement périodique de la queue.



- DECOMPOSITION DU VOL DU CANARD EIDER

*Crédit Alexandre Boudier, PlanetNoé*



Léger, mais musclé ! Le canard, comme la plupart des oiseaux, vole en battant des ailes, ce qui demande des muscles puissants et beaucoup d'énergie. Le mouvement des ailes crée des tourbillons. Mais ce ne sont pas les mêmes tourbillons que ceux qu'on voit derrière un obstacle — ici ils sont inversés (ils tournent dans le sens opposé) et permettent à l'oiseau de se propulser dans les airs.

- EPERVIER EN VOL PLANE

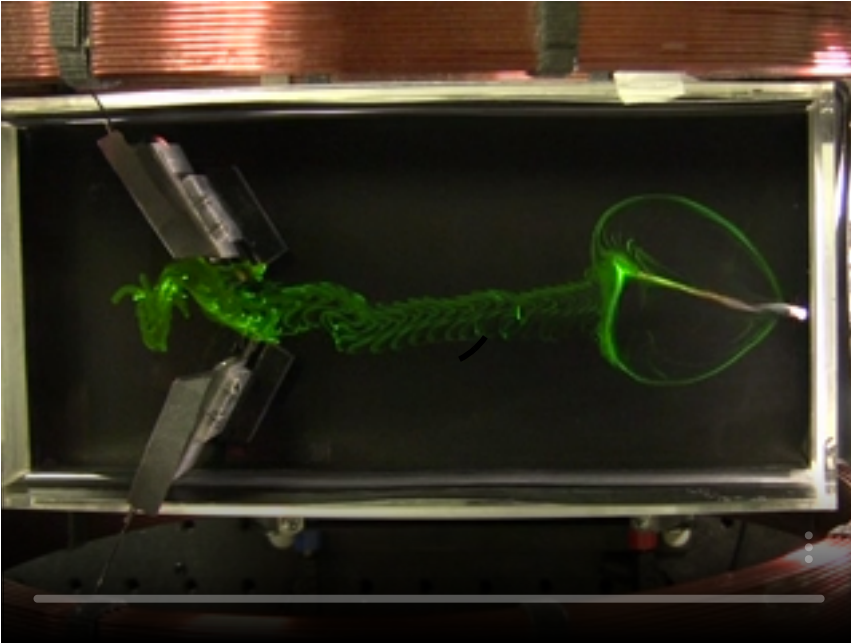
*CC Tony Hisgett*



Quel point commun entre un deltaplane, un cerf-volant et un épervier ? Grâce à leurs formes profilées, tous utilisent la technique du vol plané : les ailes déployées et tendues permettent de se laisser porter par l'air — et de voler sans dépenser trop d'énergie. Grâce au vol plané, l'épervier peut voyager sur de grandes distances sans se fatiguer. Elle s'appuie sur des courants d'air ascendants pour reprendre de l'altitude.

Le vol plané est pratiqué aussi par l'écureuil volant et certains lézards et serpents !

- [VIDÉO DE LABORATOIRE : ANGUILLE ARTIFICIELLE](#)

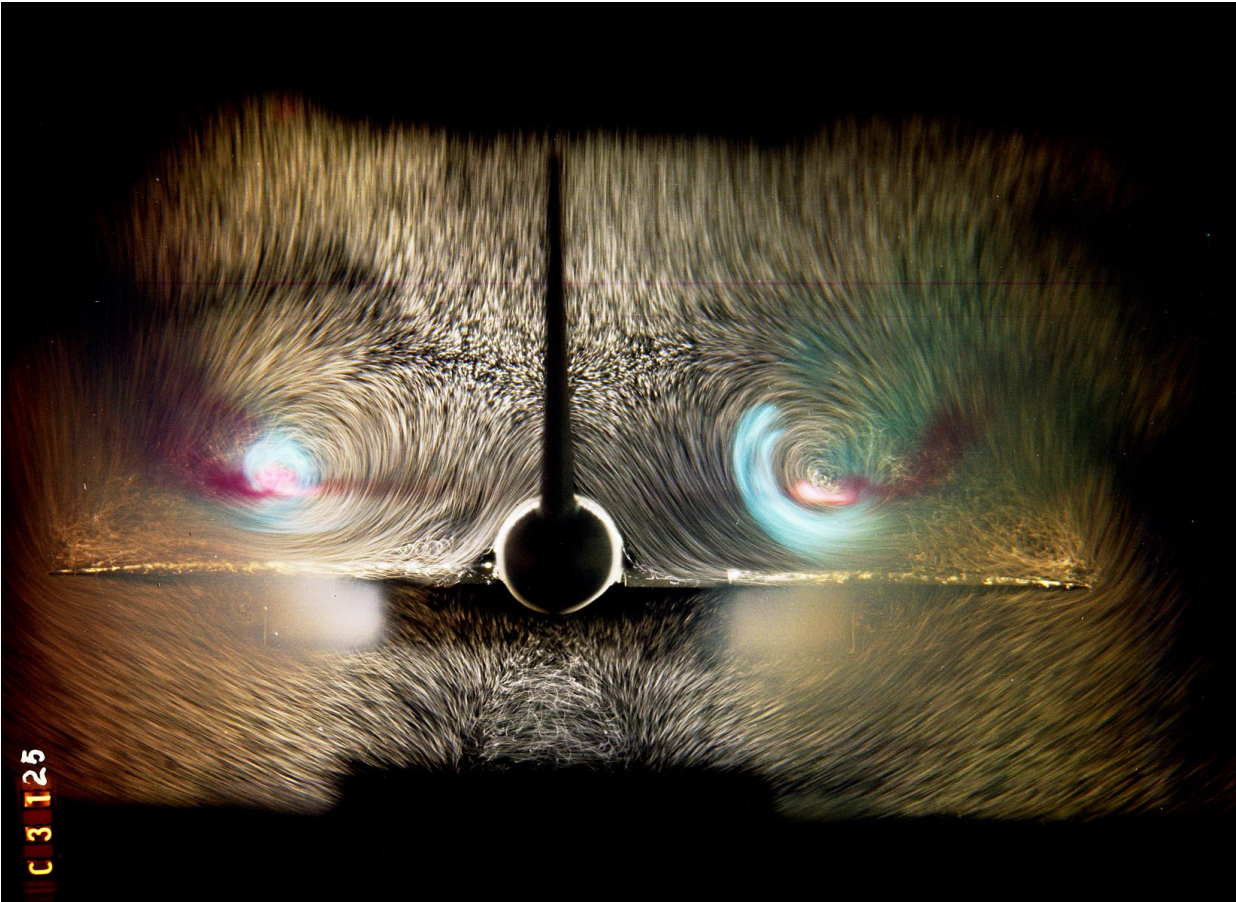


[Si cette vidéo ne fonctionne pas, vous pouvez cliquer sur ce lien pour voir la vidéo dans votre navigateur.](#)

Cette vidéo reproduit artificiellement le mouvement d'une anguille. Les tourbillons générés par les ondulations du poisson sont visualisés avec du colorant. Ces tourbillons, comme ceux produits par le battement d'ailes d'un oiseau, permettent à l'animal de se propulser.

- TOURBILLONS DE BOUT D'AILE D'AVION

*Photographie : ONERA*



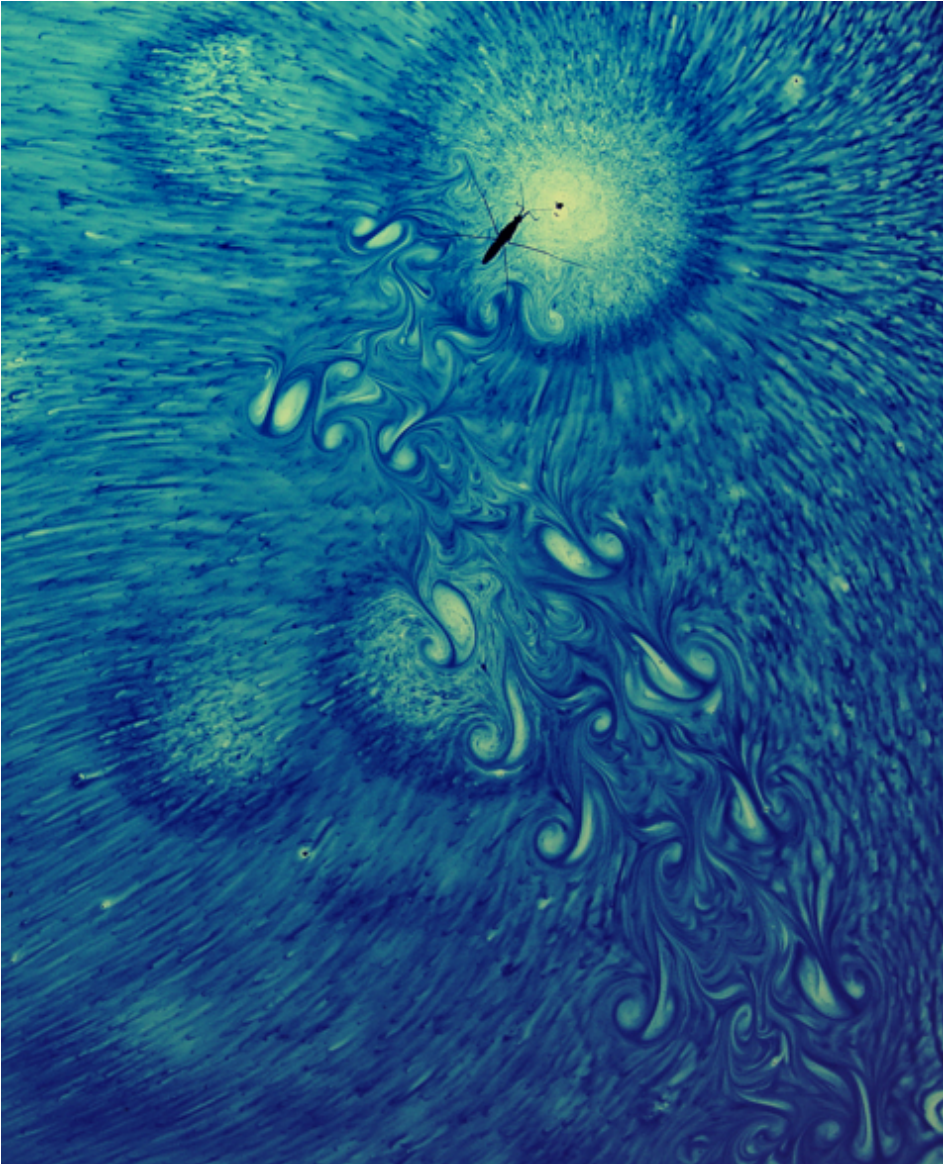
Visualisation en tunnel hydrodynamique des tourbillons d'extrados se formant sur une maquette de Concorde en configuration d'atterrissage (plan transversal arrière). L'écoulement est rendu visible par des traceurs liquides colorés et des bulles d'air.

Des tourbillons sont émis au bout des ailes d'un avion. La pression d'air sous l'aile est plus importante qu'au-dessus (ce qui permet à l'avion de voler), d'où un écoulement d'air du bas vers le haut qui se referme en tourbillon à l'extrémité de l'aile. Ces tourbillons créent derrière l'avion une turbulence importante qui peut déstabiliser (voire lui faire faire des loopings !) un avion qui le suivrait trop près.



- ALLEE DE PAIRES DE TOURBILLONS EMIS PAR UNE ARAIGNEE D'EAU EN MOUVEMENT REVELEE PAR UNE FINE COUCHE DE COLORANT A LA SURFACE DE L'EAU

*John Bush et David Hu, MIT*



Comment l'araignée d'eau peut-elle marcher sur l'eau ? Ses pattes sont recouvertes de petits poils hydrophobes (qui repoussent l'eau, comme de l'huile). Cela lui permet de flotter au lieu de s'enfoncer dans l'eau. Pour avancer, l'araignée d'eau utilise ses

pattes comme des avirons, générant des tourbillons dans l'eau, vers l'arrière, qui permettent la propulsion de l'insecte vers l'avant.

## TORNADES ET CYCLONES

- PHOTO DE TORNADE

*Tornade de catégorie F5, le 22 juin 2007, Manitoba, Canada  
CC Justin Hobson*



La tornade, tourbillon de vents violents pouvant atteindre plus de 500 km/h, a un diamètre de quelques mètres. Elle naît d'un nuage orageux au-dessus du continent quand l'atmosphère est instable. C'est-à-dire quand on observe des variations importantes du vent et des températures avec l'altitude. Dans une zone où l'air est chaud et humide près du sol, mais froid en altitude, la différence de température crée un vent ascendant (l'air chaud monte). Des variations importantes du vent avec l'altitude entraînent la rotation des masses d'air. L'étirement dû à la montée brutale de l'air intensifie le tourbillon qui va de plus en plus vite et se transforme alors en tornade.

### ***De l'utilité d'une tornade artificielle....***

Le Musée Mercedes-Benz à Stuttgart utilise un système original d'aspiration de la fumée : en cas d'incendie, des injections d'air permettent de créer une tornade artificielle de plus de 30 mètres de haut pour capter la fumée et l'évacuer par un orifice au sommet du bâtiment !

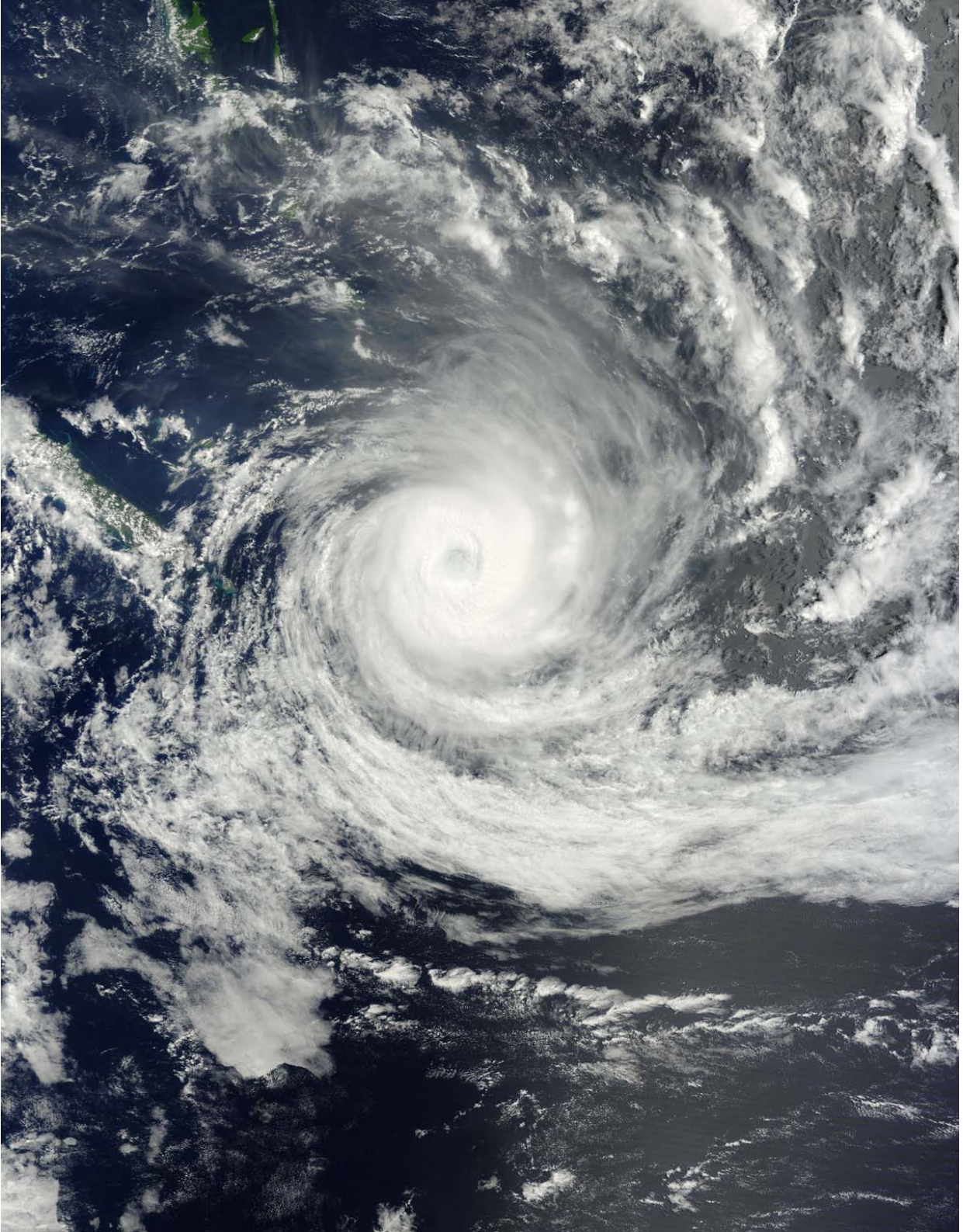
### ***De la dangerosité d'une tornade de feu....***

Un incendie de forêt peut provoquer des vents suffisamment violents pour créer une tornade de feu très dangereuse : les flammes tournoyantes montent alors très haut et peuvent enflammer la forêt beaucoup plus loin et vite !

• [CYCLONE TROPICAL JASMINE LE 9 FEVRIER 2012](#)

*Photographie satellite : NASA*







La tornade et le cyclone prennent la même forme d'un gigantesque tourbillon. Mais ils sont cependant différents. Le cyclone — appelé « ouragan » dans l'Atlantique Nord ou « typhon » en Asie de l'Est — se forme au-dessus d'un océan en zone tropicale. Il a un diamètre bien plus grand (plus de 500km) et dure plus longtemps que la tornade. C'est la rotation de la Terre qui fait tourner les vents dans un cyclone. C'est ce qui explique que le cyclone ne tourne pas dans le même sens dans l'hémisphère nord et dans l'hémisphère sud.

Un cyclone naît au-dessus des eaux chaudes des tropiques par évaporation. Il se déplace et perd en puissance quand il atteint le continent, emportant tout sur son passage. L'œil du cyclone est la zone centrale très calme, délimitée par un « mur » de nuages orageux. Dans la zone externe du cyclone, le vent tourne d'autant plus vite qu'on se rapproche du mur, le vent peut atteindre des vitesses de 300 km/h.

## L'ETNA, UN VOLCAN QUI FUME LA PIPE !

- ROUNDS DE FUMEE EMIS PAR L'ETNA

*Etna smoke rings*

*Images : Geoff Mackley*



[Si cette vidéo ne fonctionne pas, vous pouvez cliquer sur ce lien pour voir la vidéo dans votre navigateur.](#)

Le cratère de la Bocca Nuova de l'Etna (Sicile) émet des ronds de fumée impressionnants qui peuvent atteindre 200 m de diamètre. Quand le volcan crache une bouffée de fumée, il produit ces anneaux qui sont en fait des tourbillons repliés : l'anneau avance en tournant sur lui-même, comme un élastique que l'on enfile autour du poignet et que l'on fait remonter sur son bras.

Les dauphins dans l'eau émettent aussi parfois des bulles d'air en forme d'anneaux, avec lesquelles ils s'amusent à jouer. Ces bulles ont la même structure que les anneaux de fumée.

### ***Structure d'un anneau de fumée***



$V$  = LA VITESSE TOTALE DE DÉPLACEMENT DE L'ANNEAU

- WHERE IS MY UMBRELLA ?

*Conception - photo : Paul(o) Beaudoin*

*Matériaux : métal, bois, plastique, caoutchouc, eau, textile, verre*

*2014*

*Cette fontaine artistique a été imaginée par le collectif art/science Terre d'Eaux.*





Trésor d'ingéniosité et de beauté, le parapluie nous vient de la Chine, antique (4 000 ans av. J.-C.). Il s'ouvre et se ferme dans un incessant mouvement de va-et-vient luttant jusqu'à épuisement contre l'incontournable loi terrestre de la chute des corps. Cette pièce d'eau s'inspire du principe des fontaines pulsantes : un jet s'élève puis s'effondre sous son propre poids avant de s'élever à nouveau.

On peut notamment observer des fontaines de lave pulsantes lors de certaines éruptions volcaniques.

# VAGUES

Surfeur, marin ou simplement amateur de bains de mer, les vagues nous sont familières. Et pourtant, savons-nous comment elles se forment, se propagent, puis se brisent sur la plage ?

Pour mieux comprendre ce qu'est une vague, imaginons que l'on jette un caillou dans l'eau : des ronds se forment à la surface et s'éloignent du centre. Les vagues sont en fait des ondes à la surface de l'eau.

Il existe bien d'autres types d'ondes : ondes sonores, ondes sismiques, radio ou de téléphone portable...

Vagues et ondes cachent une complexité et une poésie étonnante...

## ONDES

Les ondes sont partout et nous entourent sans que nous nous en rendions forcément compte. Les sons que l'on entend, par exemple, sont des ondes, des vibrations de l'air qui vont jusqu'à nos oreilles. Sur un instrument de musique comme une guitare, les cordes vibrent, elles font vibrer l'air et produisent ainsi des ondes sonores. Une vague est une onde à la surface de l'eau.

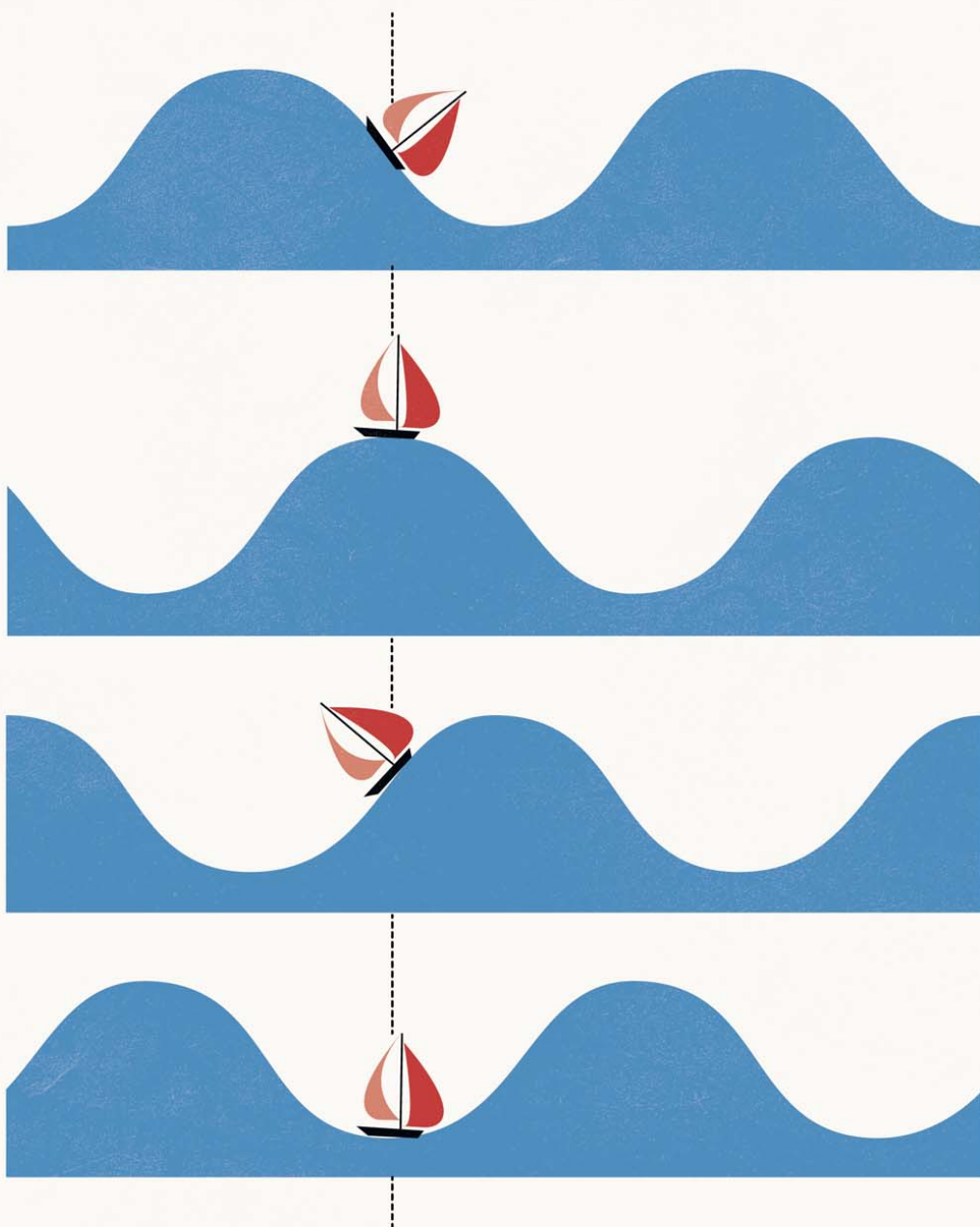
## QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?

Une onde est la propagation d'une perturbation produisant sur son passage une variation des propriétés physiques du milieu. Ainsi les ondes sismiques dues à un tremblement de terre se propagent au sol, elles font vibrer la terre sur leur passage, et peuvent provoquer des destructions importantes. La vague est quant à elle une onde à la surface de l'eau : l'eau se déforme à son passage.

L'onde a une particularité très intéressante. Elle transporte de l'énergie sans transporter de matière.

Ainsi quand un bateau rencontre une vague, il est soulevé puis redescend, mais n'est pas emporté par la vague — c'est d'ailleurs cela qui donne le mal de mer : être ballotté sans avancer.

***Bateau oscillant au passage d'une vague***





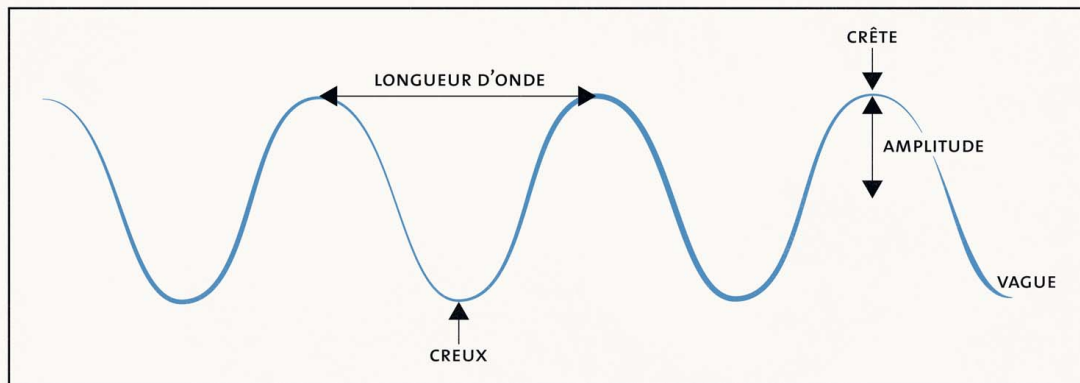
Par contre pour se convaincre que l'onde transporte bien de l'énergie avec elle, il suffit de mettre un bol de soupe au Micro-ondes. Comme son nom l'indique, ce four génère des ondes qui pénètrent nos aliments et les réchauffent grâce à l'énergie qu'elles transportent.

Les vagues, de même, transportent de l'énergie : lors des grandes tempêtes, les vagues violentes qui déferlent sur la côte provoquent souvent des dégâts importants, elles peuvent emporter des digues.

L'onde est un phénomène périodique dans le temps : elle reproduit les mêmes effets à intervalles de temps réguliers en un point donné. C'est aussi un phénomène périodique dans l'espace : à un instant donné, on observe le même effet en différents points espacés régulièrement.

Si l'on prend une photographie de la houle en mer à un instant donné, on peut voir la période spatiale, appelée longueur d'onde : c'est la distance entre deux crêtes successives.

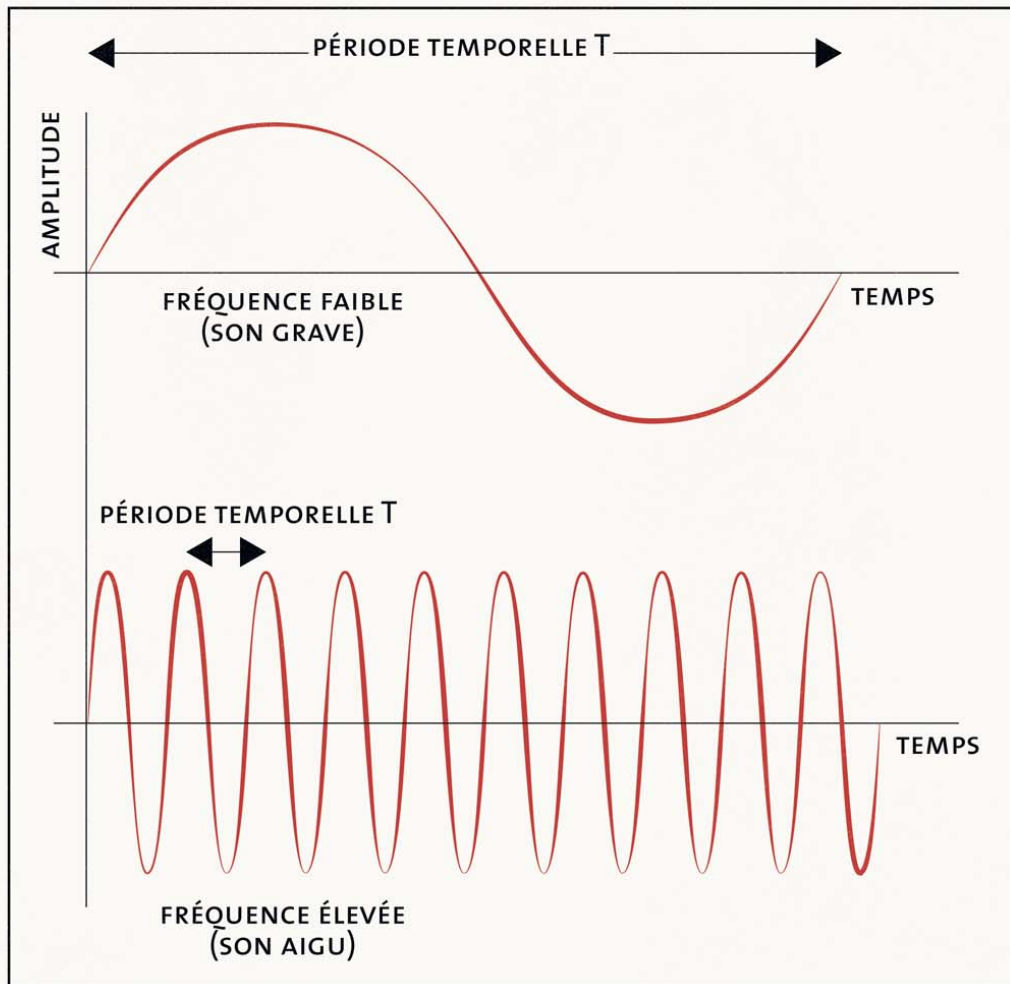
### ***Longueur d'onde, creux et crête d'une vague***



Si l'on regarde l'évolution de la position d'un point dans le temps, on obtient également une oscillation périodique (le bateau monte et descend au passage de la vague) : sa période est la période temporelle de l'onde. C'est l'inverse de la fréquence : quand la fréquence augmente, l'onde oscille rapidement, la période temporelle est plus petite.

Sur un instrument de musique, les cordes les plus fines produisent les sons les plus aigus qui correspondent à des ondes sonores de fréquence plus élevée ; les cordes les plus épaisses produisent au contraire les sons les plus graves (de fréquence moins élevée).

***Onde : notion de période et de fréquence***



- RICOCHETS

*Photographie : Luis Casiano*





Maîtrisez-vous la technique des ricochets ? Avis aux amateurs, le record du monde est de 51 ricochets ! Tout se joue lors de l'impact : si l'angle et la vitesse sont bien choisis, le galet rebondit, laissant pour seule trace des rides circulaires (une onde) à la surface de l'eau. Le galet, lisse et plat, lancé avec force, doit être mis en rotation, et l'angle de sa trajectoire par rapport à la surface doit être proche de  $20^\circ$ .

## LA HOULE EN HAUTE MER

Quand le vent souffle en mer, des vagues se forment : ce sont des ondes à la surface de l'eau.

Les physiciens reproduisent des vagues artificiellement dans des canaux à houle de laboratoire : c'est alors un batteur mécanique qui génère les vagues. Dans un canal à houle, peut faire varier la fréquence du batteur et donc celle des vagues.

De façon générale, une onde se déplace avec une vitesse déterminée qui dépend des caractéristiques du milieu de propagation.

La houle en haute mer a une propriété spécifique : une vague de plus petite longueur d'onde (c'est-à-dire dont les crêtes successives sont très rapprochées) avance moins vite.

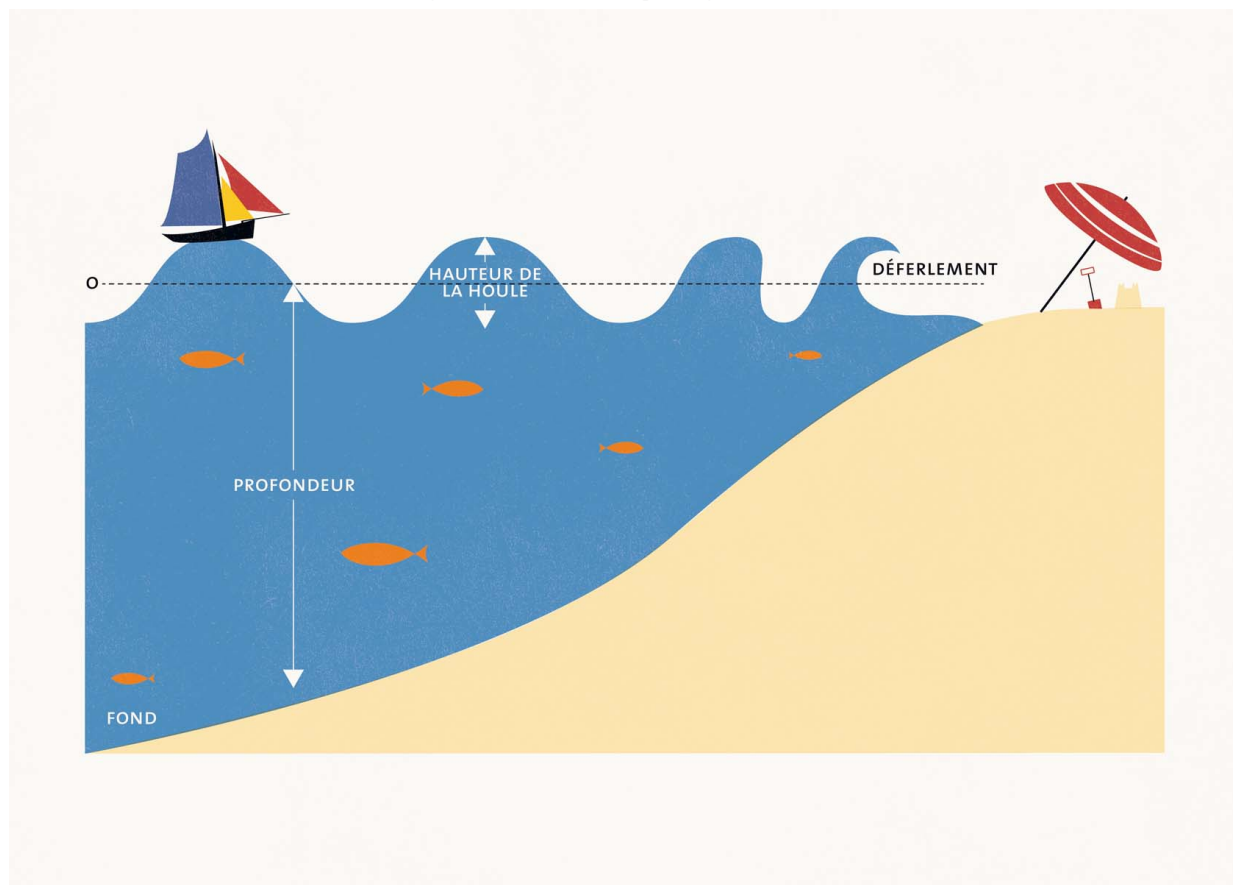
La mer est ainsi un milieu dit dispersif : la vitesse des ondes dans ce milieu dépend de la longueur d'onde.

C'est un effet similaire qui explique l'arc-en-ciel : les gouttelettes en suspension dans l'air séparent les ondes lumineuses de différentes longueurs d'onde (soit de différentes couleurs).

## POURQUOI LES VAGUES SE BRISENT-ELLES SUR LA PLAGE ?

Les vagues ont un comportement particulier en milieu peu profond (bord de mer) : la vitesse augmente avec la hauteur, c'est-à-dire que le haut de la vague (la crête) se déplace plus vite que le bas (le creux). Quand la vague atteint la plage, la crête qui va plus vite finit par dépasser le creux et retomber sous l'effet de la gravité : la vague se brise, elle déferle.

### ***Le déferlement des vagues sur la plage***



Selon la pente de la plage, les vagues peuvent prendre différentes formes. Si la pente est faible, on voit des moutons (écume) comme en haute mer. Si la pente est plus forte, se forment des rouleaux très appréciés des surfeurs.

Lors d'une tempête, le vent fort génère des vagues qui transportent beaucoup d'énergie : ces vagues se brisent violemment sur la côte, relâchant soudain toute leur énergie.

## LES ONDES NOUS RESERVENT BIEN DES SURPRISES

- MANCHOT SURFANT SUR UNE VAGUE

*Photographie : J.-L. Klein & M.-L. Hubert, PlanetNoé*



Les humains ne sont pas les seuls à surfer sur les vagues, certains animaux comme les manchots ou les dauphins le font aussi !

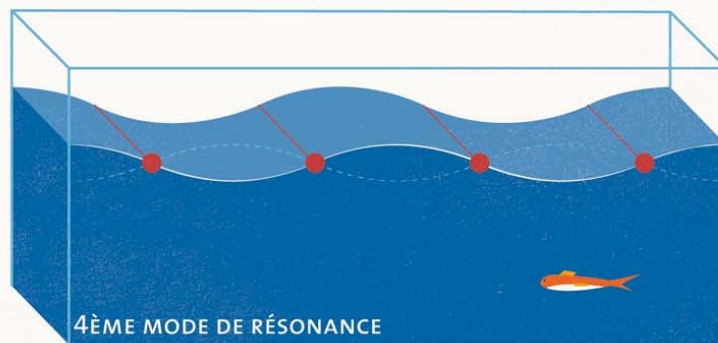
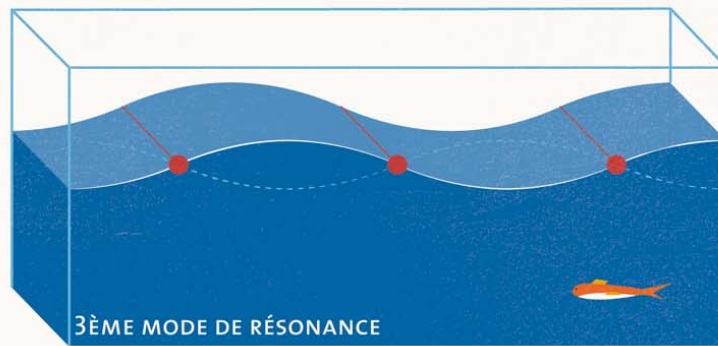
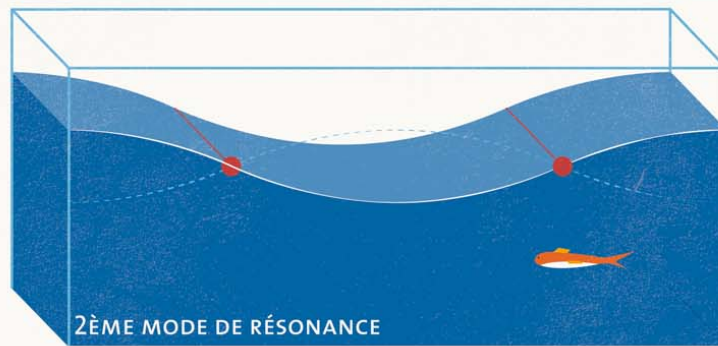
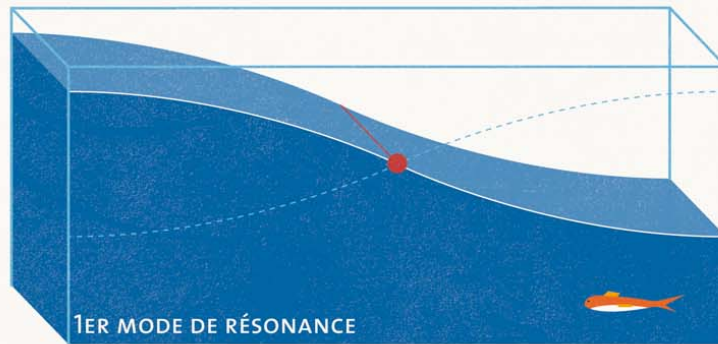
La vague est une onde qui transporte de l'énergie et normalement pas de matière. Le surf semble pourtant contredire cette loi, car le surfeur avance bel et bien sur sa vague ! Les processus physiques qui permettent le surf sont complexes et encore mal compris : c'est un sujet de recherche actuel pour les scientifiques...

### ***Une vague immobile***

Dans un canal à houle, on peut observer un phénomène étonnant : des vagues qui semblent ne plus avancer. Cet effet se produit quand la longueur du bassin est exactement égale à la moitié de la longueur d'onde des vagues (ou un nombre entier de demi-longueurs d'onde).

Ce sont des vagues ou ondes « stationnaires » comme celles qu'on observe pour une corde d'instrument de musique. Les deux bouts d'une corde de guitare sont fixés, ils ne peuvent pas bouger, les ondes de vibration de la corde sont nécessairement stationnaires.

### ***Fondamental et harmoniques (ondes stationnaires)***





C'est la compensation de deux ondes avançant en sens opposé qui donne cette impression d'immobilité : l'onde incidente (émise par le batteur du canal à houle) rencontre l'onde réfléchie (renvoyée par la paroi au bout du bassin).

## SOLITON

Le soliton est une vague isolée (« vague solitaire »), qui se propage sur une très longue distance sans se déformer. Le tsunami et les vagues scélérates sont ainsi des phénomènes apparentés au soliton.

Pour voir un soliton, il faut que la longueur d'onde de la vague (écart entre deux crêtes successives) soit assez grande par rapport à la profondeur de l'eau. Il peut donc s'observer en milieu peu profond. Mais il peut cependant se voir en haute mer également si la vague a une très grande longueur d'onde : c'est le cas de la vague d'un tsunami dû à un séisme au fond de l'eau.

Une fois ces conditions réunies, le soliton résulte de la compensation de deux effets opposés :

- \* d'un côté la vague a tendance à s'atténuer et s'étaler : c'est l'effet de la dispersion.

- \* d'un autre côté, en milieu peu profond (par rapport à la longueur d'onde) la vitesse dépend de la hauteur : la crête va plus vite que le creux, le front de vague se raidit (c'est d'ailleurs ce qui explique le déferlement des vagues en bord de mer comme nous l'avons vu plus haut).

### • OBSESSION

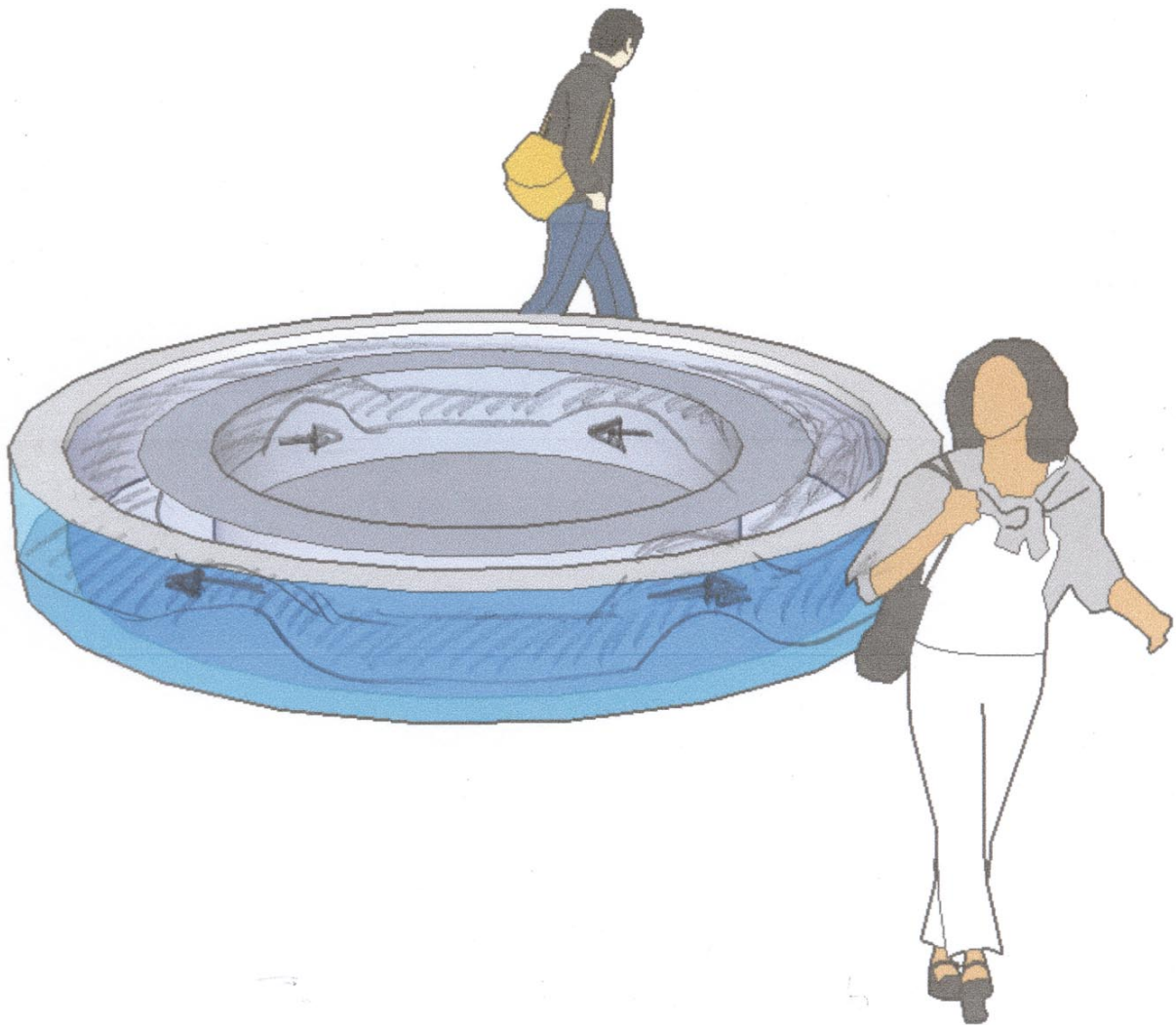
*Conception : Patrice Le Gal, Javiera Tejerina-Risso*

*Technique : Matthieu Pernaut, Jimmy Ortmann*

*Matériaux : eau, Altuglass, bois, béton ciré.*

2014

*Cette installation d'eau artistique présentée dans l'exposition a été imaginée par le collectif art/science Terre d'Eaux. Elle décline le concept de « Soliton ».*



« Les obsessions sont des fontaines de jouvence. Elles épouvantent la mort. » (Louise Weiss, 1893 — 1983)

Le soliton, vague solitaire, vit indéfiniment. Il avance sans cesse, se réinvente à chaque tour. Il représente le cycle, l'infini. Le phénomène a été décrit pour la première fois en 1834 par l'Écossais John Scott Russell qui l'a observé en se promenant le long d'un

canal : il a suivi pendant plusieurs kilomètres une vague remontant le courant qui ne semblait pas vouloir faiblir.

• TSUNAMI SUR LA COTE DE MINAMISOMA PRES DE FUKUSHIMA (JAPON) — 11 MARS 2011

*Photographie : Sadatsugu Tomizawa*



Un tsunami va aussi vite qu'un avion de ligne transatlantique ! Un séisme au fond de l'eau en haute mer entraîne un déplacement soudain d'une grande masse d'eau. Cela génère une vague de très grande longueur d'onde (une crête tous les 100 km) qui se propage à près de 800 km/h ! sur une longue distance. Quand la vague atteint la côte, elle déferle violemment et provoque des dégâts importants.



- VAGUES SCCELERATES

*La Grande Vague de Kanagawa Hokusai - 1830*

*Œuvre conservée au Metropolitan Museum of Art, New-York*

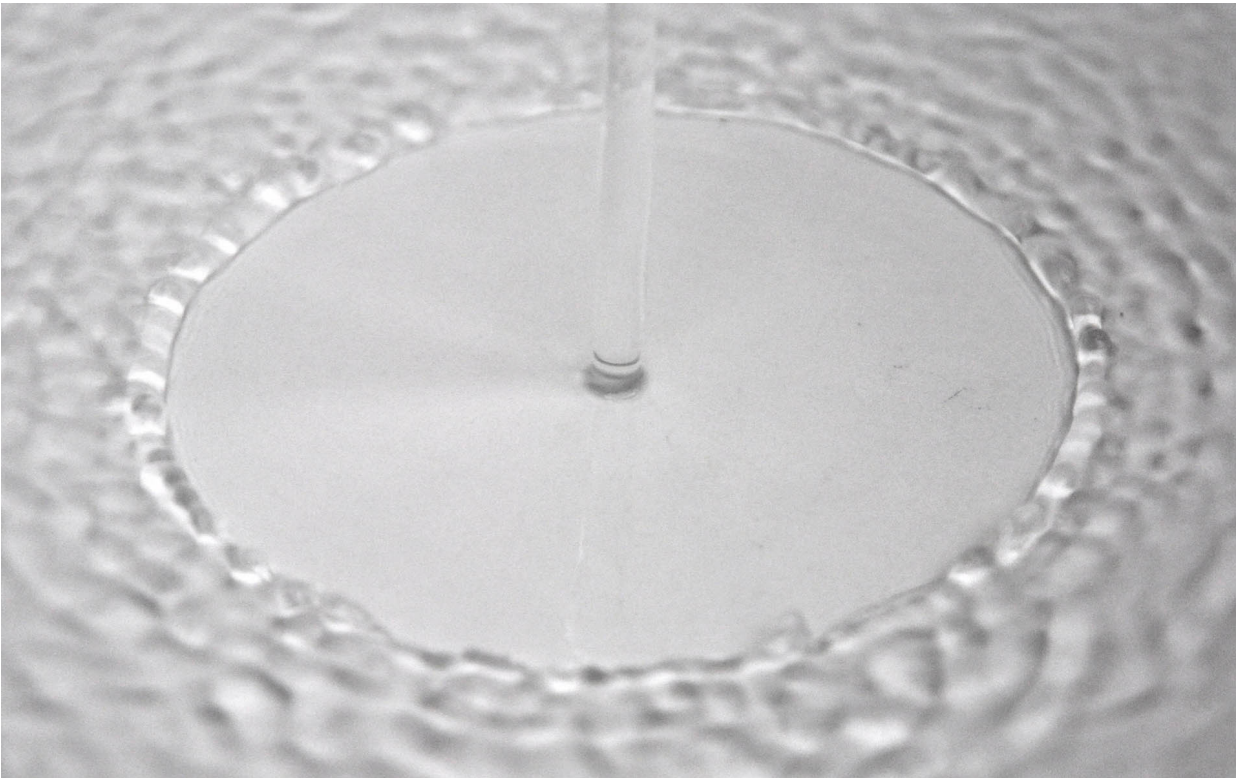


Une vague de plus de 30 mètres de haut, soit aussi haute qu'un immeuble de 11 étages, est-ce possible ? Les récits de marins témoignent depuis plusieurs siècles de ces « vagues scélérates » : le navire se trouve soudain face à un mur d'eau gigantesque... Ces vagues exceptionnelles, rares et isolées ont été prises au sérieux et étudiées par les scientifiques seulement vers la fin du XXe siècle...

## RESSAUT ET MASCARET

- RESSAUT

*Photographie : Thierry Foglizzo*



Avez-vous déjà remarqué le bourrelet qui se forme au fond de l'évier quand on ouvre un robinet ? C'est ce qu'on appelle un ressaut ou ressaut hydraulique : quand l'eau passe d'une zone d'écoulement rapide à une zone d'écoulement lent, il se produit comme un embouteillage qui crée le bourrelet.

Le ressaut peut s'observer dans une rivière, à un endroit où le fond, plus plat, ralentit le courant.

- **RESSAUTS VERSUS TOURBILLONS**

*Conception : Jérôme Brossard, Jean-Marc Chomaz, Laurent Karst, Gaële Perret*

*Assistance à la conception : Benoît Maîtrejean, Haekung Bae*

*Assistance technique : Claude Houssin*

*Matériaux : médium huilé, plexiglas, inox, acier brut*

*2014*

*Cette installation d'eau artistique a été imaginée par le collectif art/science Terre d'Eaux.*





Deux phénomènes hydrauliques, un jet formant un ressaut et un tourbillon de vidange, sont associés, créant une alternance de cercles et spirales. Provoqués tous deux par la pesanteur, ils se répondent en écho. Si on représente le ressaut par un point et le tourbillon par un trait, la fontaine écrit le message  $\cdot - \cdot - -$  soit « AUM » en morse, qui signifie « l'infini » en sanskrit.

- NOIR/BLEU

*Javiera Tejerina-Risso*

*Vidéo, 3 min 8 s, 2012*



[Si cette vidéo ne fonctionne pas, vous pouvez cliquer sur ce lien pour voir la vidéo dans votre navigateur.](#)

« On ne se baigne jamais deux fois dans le même fleuve », a dit le philosophe grec Héraclite.

Dans une rivière, une zone de plat relatif peut créer un ralentissement de l'eau et donc un ressaut : à cet endroit, l'eau se soulève. Pour un kayak, c'est une zone de turbulence à traverser : l'eau forme des tourbillons de toutes tailles, irréguliers, imprévisibles, dont les formes se renouvellent sans cesse.

- LE MASCARET DE LA GIRONDE

*Photographie : Thierry Darriet*



Autrefois, on pouvait voir lors des fortes marées une vague spectaculaire de plusieurs mètres de haut remonter la Seine jusqu'à Rouen — le mascaret. Similaire au phénomène de ressaut, le mascaret naît de la rencontre entre le courant du fleuve qui se jette dans la mer et la marée montante. Des travaux d'endiguement pour faciliter la navigation sur la Seine l'ont fait disparaître en 1963. Mais ce phénomène existe encore sur la Gironde.

# GOUTTES ET BULLES

## GOUTTES

La tension superficielle est une force qui a tendance à réduire la taille de la surface de contact entre deux fluides comme l'air et l'eau par exemple. Elle est due au fait que les molécules d'un fluide s'attirent entre elles et en assurent la cohésion.

Cet effet explique pourquoi les gouttes ont toujours une forme sphérique : la sphère est la forme qui minimise la surface de contact entre l'air et l'eau (pour une quantité donnée d'eau).

De la même façon, les bulles de savon sont toujours sphériques.

C'est aussi la tension superficielle qui explique le phénomène de capillarité qui permet à l'eau de monter spontanément dans un tube très fin. Cet effet a d'innombrables applications : la sève qui monte dans les plantes, le buvard qui absorbe l'encre (l'eau s'infiltre facilement par capillarité dans un milieu poreux)...

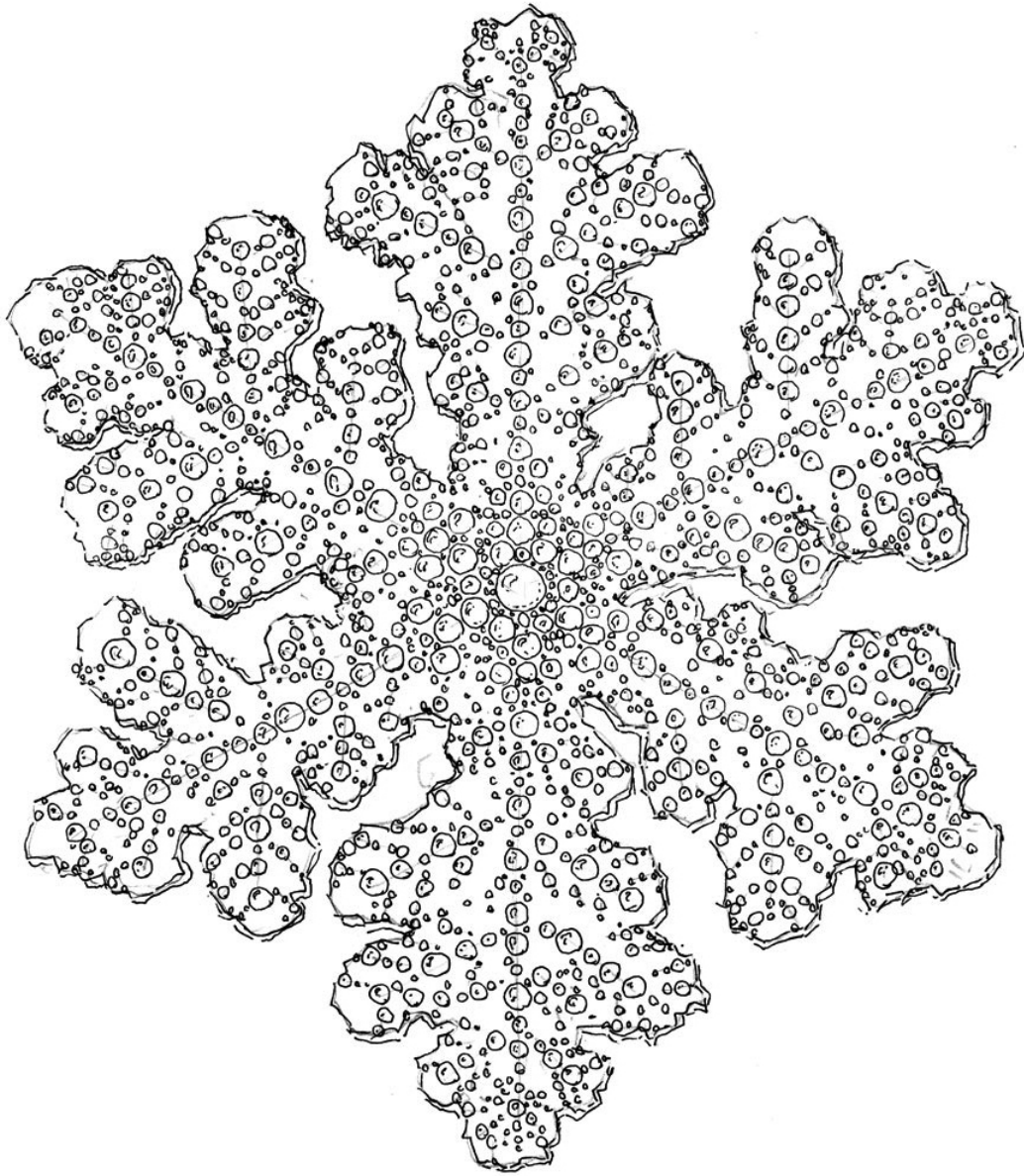
- MICROFONTAINE

*Conception : Jean-Marc Chomaz, Étienne Fradet, Laurent Karst, Hugo Livet*

*Assistance à la conception : Benoît Maîtrejean, Haekung Bae*

*Matériaux : huile et air sur plaque de verre et PDMS (polydiméthylsiloxane), acier*  
2014

*Cette installation d'eau artistique a été imaginée par le collectif art/science Terre d'Eaux.*



Nanosculpture liquide : des microsillons invisibles dessinent un flocon, des microgouttes sont piégées par les sillons, elles révèlent la



forme du flocon. Comme l'électronique, la physique des fluides se miniaturise à son tour. Les développements récents de cette « micro-fluidique » sont prometteurs pour la santé comme l'industrie. L'œuvre d'art questionne l'ouverture de cette nouvelle frontière.

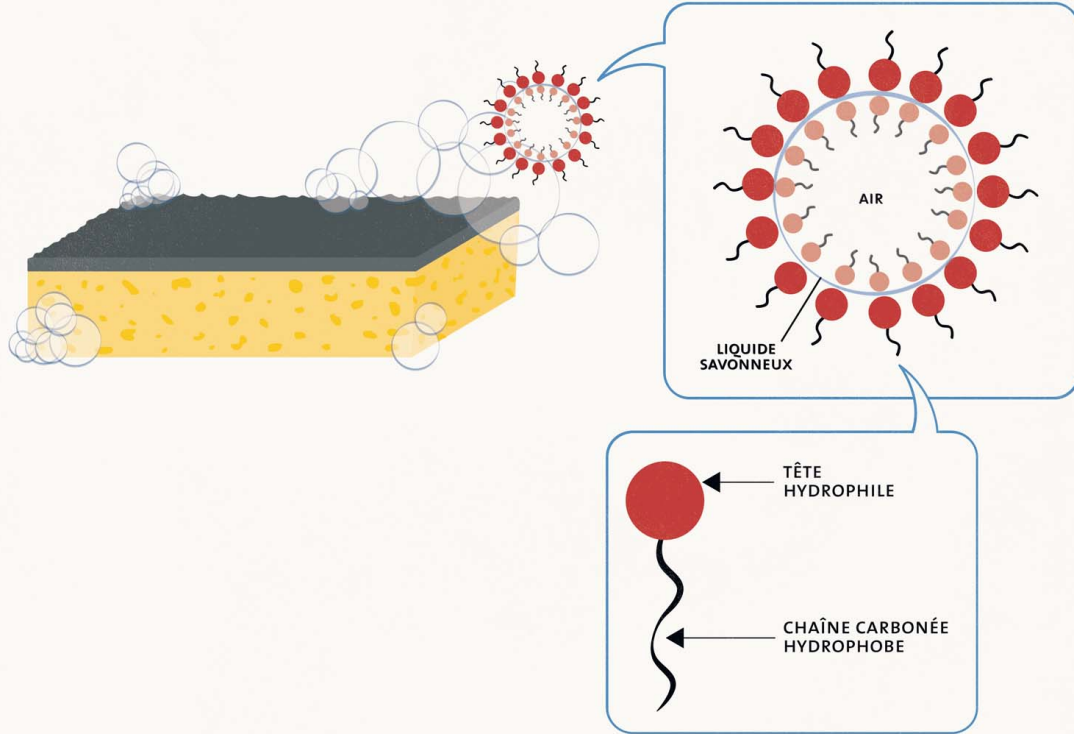
## BULLES DE SAVON

Une bulle de savon est formée d'une pellicule d'eau savonneuse de forme sphérique.

C'est un agencement des molécules de savon (ou tensioactives) en double couche qui permet d'emprisonner une fine pellicule d'eau.

Cette structure est rendue possible par la nature de la molécule de savon, qui est en effet constituée d'une tête hydrophile qui attire l'eau et d'une chaîne carbonée hydrophobe qui repousse l'eau.

### ***La bulle de savon***



*Retrouvez notre catalogue  
dans toutes les bonnes librairies numériques  
ou sur :*

[HTTP://WWW.MKFÉDITIONS.COM](http://www.mkféditions.com)

Découvrez également la collection *Les Historiques* :  
des documents, mémoires, récits historiques de référence présentés par des  
spécialistes

*les*  
**Historiques**



*Les Historiques* est une collection de



---

© Muséum d'histoire naturelle du Havre, 2014

© MKF éditions, 2014, pour l'édition numérique.

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction réservés pour tous pays.

---