

avec une précision inégalée à courte distance. Les expériences menées à HERA ont aussi révélé la structure complexe du proton : outre trois quarks de valence qui portent la majeure partie de sa quantité de mouvement, il contient un plasma très dense de gluons et de paires quarks-antiquarks dont la quantité de mouvement est faible. Le nombre de protons qui survivent aux collisions surprend. Ces deux dernières observations changent notre regard sur l'énigme du confinement des quarks et des gluons au sein du proton.

Il y a 100 ans déjà, l'étude de la particule médiatrice de l'interaction électromagnétique avait bouleversé la physique. Max Planck cherchait à représenter par une formule la répartition du rayonnement électromagnétique d'un corps noir, et, pour ce faire, il disposait de lois imparfaites qui ne s'appliquaient que dans certains domaines d'énergies. Planck n'atteignit son objectif qu'après avoir fait l'hypothèse que l'énergie du rayonnement électromagnétique varie par quantités discrètes, par quanta. Ce concept marquait la naissance de la mécanique quantique. Il fallut encore 50 ans pour que l'on puisse calculer, dans le cadre de l'électrodynamique quantique, le rayonnement électromagnétique d'une particule chargée. Aujourd'hui, le même formalisme et les mêmes méthodes de calcul nous servent à calculer, dans le cadre de la chromodynamique quantique, les rayonnements électromagnétique, faible et fort des quarks et des gluons à très courte distance. Les résultats obtenus à HERA devraient encore nous aider à répondre aux questions ouvertes : que deviennent ces rayonnements à grande distance ? Quelle est la structure du proton ? Quelle est la cause du confinement des quarks ?

Robert KLANNER, professeur de physique expérimentale à l'Université de Hambourg, est aujourd'hui directeur de la recherche du centre DESY.

Klaus RITH et Andreas SCHÄFER, *Le spin des nucléons*, in *Pour la Science*, n° 262, août 1999.

Harald Fritzsch, *L'infiniment petit en physique*, in *Pour la Science*, n° 278, décembre 2000.

Chris Llewellyn SMITH, *Le grand collisionneur de hadrons*, in *Pour la Science*, n° 275, septembre 2000.



Partager la connaissance
sur l'eau et la santé
sous l'égide de
28 experts internationaux.

**3 Prix de Recherche de
100.000 F, chacun
15.245€**



**Projet Evian
"Hydratation
et santé humaine"**



**Projet Volvic
"Oligo-éléments
et santé humaine"**
(Fe, F, Zn, I, Si, Se, Mn, Cu ...)



**Projet Badoit
"Minéraux
et santé humaine"**
(Ca, Mg, K, Na ...)

CARACTÉRISTIQUES DES PROJETS

Le projet doit s'inscrire dans une perspective d'amélioration de la santé. Il peut porter sur tous domaines de la recherche fondamentale ou appliquée, de l'épidémiologie, ou de la santé publique, mais devra répondre aux 2 critères d'originalité et d'utilité pour la santé.

LES CANDIDATS CONCERNÉS

- Laboratoire, groupement de laboratoires ou organisme de recherche public ou privé.
- Chercheur en thèse ou enseignant, post-doctorat ou attiré, de moins de 40 ans, appartenant à une structure de recherche.

LE JURY

Il est constitué des 28 membres du Comité Scientifique du Centre Evian Pour l'Eau.

DOSSIER DE CANDIDATURE

Auprès du Centre Evian Pour l'Eau :

Dr Viviane de la Guéronnière, 60, bld du Maréchal Joffre - 92340 Bourg la Reine,
Sur notre site internet **www.centre-evian.com**

Date limite de remise des dossiers : 30 JUILLET 2001



La grande vague

FRANÇOIS CHARRU

La déferlante saisie par le maître japonais est née de quelques rides à la surface de l'océan, à des centaines de kilomètres.

« Depuis l'âge de cinq ans, j'ai la manie de recopier la forme des choses et depuis près d'un demi-siècle, j'expose beaucoup de dessins ; cependant je n'ai rien peint de notable avant d'avoir soixante-dix ans. À soixante-treize ans, j'ai assimilé légèrement la forme des herbes et des arbres, la structure des oiseaux et d'autres animaux, insectes et poissons ; par conséquent à quatre-vingts ans, j'espère que je me serai amélioré et à quatre-vingt-dix ans que j'aurai perçu l'essence même des choses, de telle sorte qu'à cent ans j'aurai atteint le divin mystère et qu'à cent-dix ans, même un point ou une ligne seront vivants. Je prie pour que l'un de vous vive assez longtemps pour vérifier mes dires. »

Hokusai, le vieux fou de peinture.

L'estampe *Sous la vague à Kanagawa*, du peintre japonais Katsushika Hokusai (1760-1849), appartient à la série « 36 vues du mont Fuji », peintes entre 1831 et 1833. Exposée au Musée Guimet à Paris, elle est l'une des œuvres les plus célèbres de l'art oriental. Elle est signée *litsu*, l'un des nombreux noms qu'Hokusai s'est donné au cours de sa longue vie.

Le tableau suscite d'abord l'effroi, devant cette vague monstrueuse sur le point de s'abattre sur deux embarcations, au fond desquelles se blottissent quelques pêcheurs ou voyageurs. Une telle vague peut-elle vraiment se former ?

Comment a-t-elle pu atteindre de telles proportions ? Imaginons son histoire.

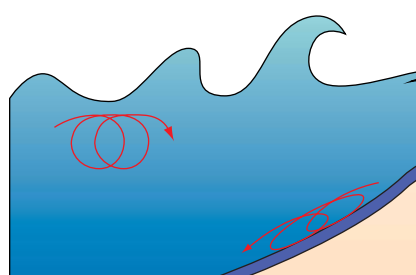
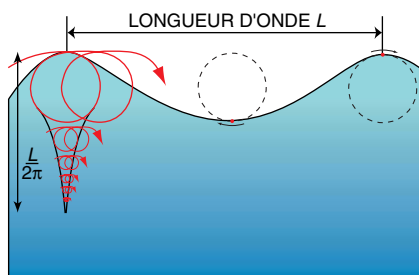
À plusieurs centaines ou milliers de kilomètres de l'archipel nippon, le vent se lève sur une mer calme. De petites fluctuations de vitesse du vent engendrent des variations de pression et de cisaillement sur l'eau, lesquelles soulèvent de petites vaguelettes, ou rides, désordonnées. La longueur d'onde de ces rides – la distance entre deux crêtes – est de l'ordre du centimètre.

Sans le vent pour les entretenir, ces rides seraient vite amorties par la viscosité, c'est-à-dire la diffusion de la quantité de mouvement dans les interactions moléculaires. Mais le vent continue de souffler, il communique son énergie aux rides qui fusionnent pour en former de plus longues, d'amplitude supérieure : ces vagues mettent en mouvement une masse d'eau plus importante. Du fait de leur plus grande inertie, elles sont moins sensibles à la dissipation par la viscosité, et se propagent donc plus loin.

La tempête rugit maintenant : elle soulève des masses d'eau de différentes tailles sur une mer blanche d'écume (que les peintres décrivent bien mieux que les physiciens !). Bientôt la tempête s'éloigne, le vent tombe. L'agitation à petite échelle, celle qui met en jeu des longueurs inférieures au mètre, disparaît rapidement, dissipée par la viscosité. Les vagues longues se propagent plus vite que les

courtes, aussi les rattrapent-elles : elles conjuguent leurs énergies et forment des vagues encore plus longues et plus rapides.

Une belle houle se est formée, de deux ou trois cents mètres de longueur d'onde, totalement libre de ses mouvements dans le profond océan. Cette houle se propage sur des centaines de kilomètres, à raison de dix ou vingt mètres par seconde, en s'atténuant très peu. Selon les lois de l'hydrodynamique des fluides non vis-



Dans une vague, un petit volume d'eau avance dans le sens de la propagation lorsqu'il est au sommet et dans le sens inverse quand il est dans le creux. Des petits volumes suivent une trajectoire quasi circulaire dont l'amplitude décroît exponentiellement avec la profondeur jusqu'à devenir négligeable quand celle-ci atteint le sixième environ ($L/2\pi$) de la longueur d'onde de la vague (à gauche, les échelles horizontales et verticales diffèrent). Près des côtes, le plateau continental oblige les vagues à s'enfler, à se raidir pour enfin déferler (à droite). Ici, les petits volumes d'eau décrivent non plus des cercles, mais des trajectoires aplaties, car le fond perturbe les mouvements verticaux et crée une « couche limite » (en violet) où la viscosité dissipe l'énergie de la vague.



The Brigman Art Library/Katsushika Hokusai

queux, la vitesse de la houle croît avec sa longueur d'onde, et chaque petit volume d'eau décrit un mouvement quasi circulaire, dont l'amplitude décroît exponentiellement avec la profondeur (*voir la figure*) et disparaît quand celle-ci atteint le sixième environ de la longueur d'onde.

Après un long voyage, la houle arrive sur la côte ; la remontée du plateau continental oblige les trajectoires des petits volumes d'eau à s'aplatir en ellipses, et entraîne un ralentissement de l'onde. Contrainte de contenir son énergie sur une profondeur plus faible, l'onde enflé, se creuse. La profondeur n'est maintenant plus que de quelques mètres. La viscosité, qui jusqu'à présent ne jouait qu'un rôle mineur, intervient maintenant dans une fine couche, de quelques millimètres d'épaisseur, près du fond. Dans cette «couche limite», l'oscillation de l'eau sur le fond sableux ou rocheux crée des tourbillons, de la turbulence, où la vague épuise son énergie.

Plus dramatique, la crête tend à rattraper le creux. Cette différence de vitesse résulte de deux phénomènes : d'une part, la hauteur d'eau dans la crête est plus importante que dans le creux, et d'autre part, la vitesse croît avec la profondeur. La vague se déforme alors, son front se raidit, et bientôt la crête surplombe le creux du haut d'une muraille liquide. Emportée par son élan, elle s'étire encore, suspendue au-dessus du vide : elle déferle !

Voici la vague sous le pinceau d'Hokusai. Cédant à la gravité, elle s'incline dans une révérence orgueilleuse, s'enroule, le temps retient son souffle. Là haut, étirée en lames trop fines, déstabilisée par la tension de sa surface, cisailée par le vent, l'eau perd sa cohésion. Elle se déchire en filaments, se pulvérise en dentelles de gouttelettes.

Mais point d'embruns dans le tableau d'Hokusai, plutôt des doigts menaçants, et de grosses gouttes, tels de lourds flocons de neige. Non, l'heure n'est pas à

la légèreté, car quelques hommes se trouvent là, pêcheurs égarés dans le Maelström. Peut-être ces hommes savaient-ils l'endroit dangereux, à cause d'un haut-fond qui «brise la vague», ou de l'affrontement de courants contraires. Mais de là à imaginer ça ! Témoins terrorisés de l'agonie d'une géante, ils ne voient que ses doigts glacés, crochus, les mains gantées de blanc d'une étrangleuse. Pourront-ils échapper à la terrible étreinte ?

Cependant, pas de désespoir dans ce tableau, peut-être pas même la crainte de la mort. Au centre du rond ample que l'onde a dessiné, surgissent les pentes enneigées du mont Fuji, le bienveillant, le protecteur. Seul point fixe du tableau. Avec la sérénité d'un point cardinal, il a tout vu.

François CHARRU,
Université Paul Sabatier, Toulouse

