

Calcul de la vitesse d'un bateau à tensioactif

La vitesse de croisière U d'un bateau propulsé par des phénomènes de tension superficielle peut être estimée à partir d'une analyse simple. Devant le bateau, la force propulsive est égale à $\gamma_0 W$, où γ_0 est la tension superficielle de l'eau pure, et W la largeur du bateau. Derrière, la force résistante due à la tension superficielle est égale à la somme de $\gamma_0(W - w)$, pour la partie qui ne comporte pas le moteur (de largeur w), et de γw pour le moteur (où γ est la tension superficielle de l'eau additionnée de produit tensioactif, inférieure à γ_0).

Lorsque la vitesse est constante, la force de propulsion totale, $(\gamma_0 - \gamma)w$, est équilibrée dynamiquement par une force hydrodynamique de freinage. En effet, une mince couche d'eau est entraînée par le fond du bateau. Un cisaillement se produit dans cette couche d'épaisseur d , nommée couche limite. L'épaisseur d augmente avec la distance de la proue, mais, dans les conditions examinées ici, elle reste très mince, ne dépassant guère un millimètre. Les molécules d'eau directement en contact avec le bateau ne glissent pas sur lui et se déplacent à la vitesse U . Le cisaillement dû à la variation de vitesse de l'eau, entre le fond du bateau et la partie inférieure de la couche limite, est responsable de la force de freinage.

L'écoulement est-il régulier ou turbulent? Pour répondre à cette question, les hydrodynamiciens utilisent le nombre de Reynolds, égal à $UL\rho/\eta$, où L est la longueur du bateau, ρ la masse volumique de l'eau et η sa viscosité. Le nombre de Reynolds représente le rapport des forces inertielles du liquide sur les forces visqueuses : il est petit lorsque la viscosité l'emporte, auquel cas l'écoulement n'est pas turbulent ; inversement, lorsqu'il est grand, l'inertie l'emporte sur la viscosité, et l'écoulement devient turbulent. Ici, avec une longueur de cinq centimètres et une vitesse de dix centimètres par seconde, on calcule un nombre de Reynolds égal à 5 000 environ, de sorte que l'écoulement est laminaire. Dans ces conditions, on peut assimiler le bateau à une plaque mince, dont la résistance à l'avancement par unité de largeur, f , est égale à :

$$0,66 (\eta \rho L U^3)^{1/2}.$$

La résistance totale au mouvement du bateau est Wf , de sorte que, si l'on écrit qu'à la vitesse de croisière les forces propulsives sont égales aux forces résistantes, on obtient la vitesse :

$$U = 1,3 (w^2 (\gamma_0 - \gamma)^2 / \eta \rho L W^2)^{1/3}.$$

Avec les valeurs des paramètres ($\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$, $\eta = 10^{-3} \text{ Pa.s}$, $\gamma - \gamma_0 = 40 \text{ mN/m}$), la vitesse est de dix centimètres par seconde environ.

Parce que le bateau entraîne les molécules d'eau à son contact (voir la figure 2) ; la viscosité de l'eau exerce une résistance qui équilibre la force propulsive.

Cette situation d'équilibre dynamique subsiste tant que l'eau située devant la proue reste pure ou, du moins tant qu'elle présente une tension superficielle supérieure à celle de la poupe. Un calcul simple (voir l'encadré) de la vitesse de croisière du bateau déter-

mine la vitesse effectivement observée et, de ce fait, confirme l'analyse proposée : avec les dimensions choisies pour le bateau, une largeur de «moteur» égale à un millimètre, on obtient une vitesse de croisière de dix centimètres par seconde environ, en bon accord avec les observations.

Puis, quand la surface se pollue, la force de propulsion diminue, et le bateau ralentit. Il faut alors changer l'eau pour reprendre les études.

Martin SHANAHAN est directeur de recherche au Centre des matériaux Pierre-Marie Fournier (École des Mines de Paris), à Évreux.

C.D. BAIN, G.D. BURNETT-HALL et R.R. MONTGOMERIE, *Rapid Motion of Liquid Drops*, in *Nature*, vol. 372, p. 414, 1994.

F. BROCHARD-WYART et P.-G. de GENNES, *Spontaneous Motion of a Reactive Drop*, in *Comptes rendus de l'Académie des*

sciences, vol. 321 (série lib), p. 285, 1995.

F. DOMINGUES dos SANTOS et T. ONDARÇUHU, *Free Running Droplets*, in *Physical Review Letters*, vol. 75, p. 2972, 1995.

M.E.R. SHANAHAN et P.-G. de GENNES, *Start-up of a Reactive Droplet*, in *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, vol. 324 (série lib), p. 261, 1997.

Traînées de navires

Les traces blanches sur l'image de droite évoquent les traînées de condensation que laissent des avions dans un ciel clair. Sur cette photographie infrarouge (à la longueur d'onde de 3,7 micromètres) prise au large de la Californie, par un satellite météorologique américain, ce sont des particules émises par des cheminées de navires qui ont modifié les propriétés optiques des nuages au-dessus de l'océan Pacifique. La photographie permet de suivre les navires à la trace.

On a ajouté de fausses couleurs à l'image originale : du marron pour les masses continentales et du bleu pour l'océan. Les zones sombres correspondent aux régions de ciel clair, et les zones blanchâtres indiquent la présence de nuages, bancs de stratocumulus fréquents dans cette région océanique. Plus le nuage réfléchit le rayonnement solaire à la longueur d'onde d'observation, plus il apparaît brillant.

Comme tout moteur à combustion, les moteurs des navires émettent des particules, plus souvent appelées aérosols. Lorsque ces particules pénètrent dans un nuage, des gouttelettes d'eau

se forment sur certaines d'entre elles. La présence de ces particules, qui s'ajoutent aux aérosols naturels, accroît donc le nombre de gouttelettes dans le nuage. La quantité d'eau restant constante, la taille moyenne des gouttelettes diminue (voir le schéma) et leur surface totale augmente. Selon des mesures *in situ* par avion, le diamètre des gouttelettes varie de 10 micromètres dans un stratocumulus à 7 micromètres dans une traînée de navire.

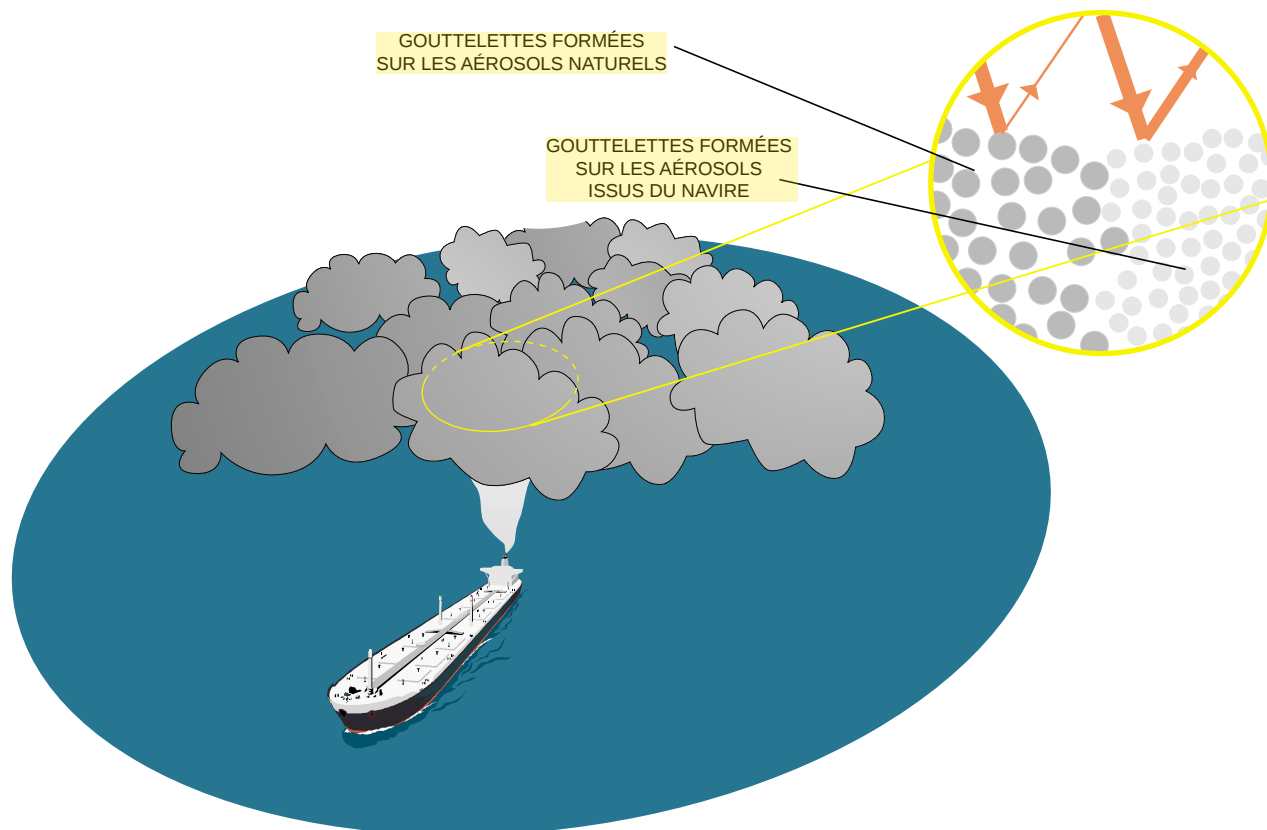
Aux longueurs d'onde du rayonnement visible (cartouche en haut à gauche, photographie à 0,63 micromètres), l'augmentation de la surface des gouttelettes augmente la diffusion du rayonnement solaire par le nuage : celui-ci est plus brillant. Ce phénomène est toutefois masqué par les variations de la brillance des nuages liées aux variations de leur épaisseur.

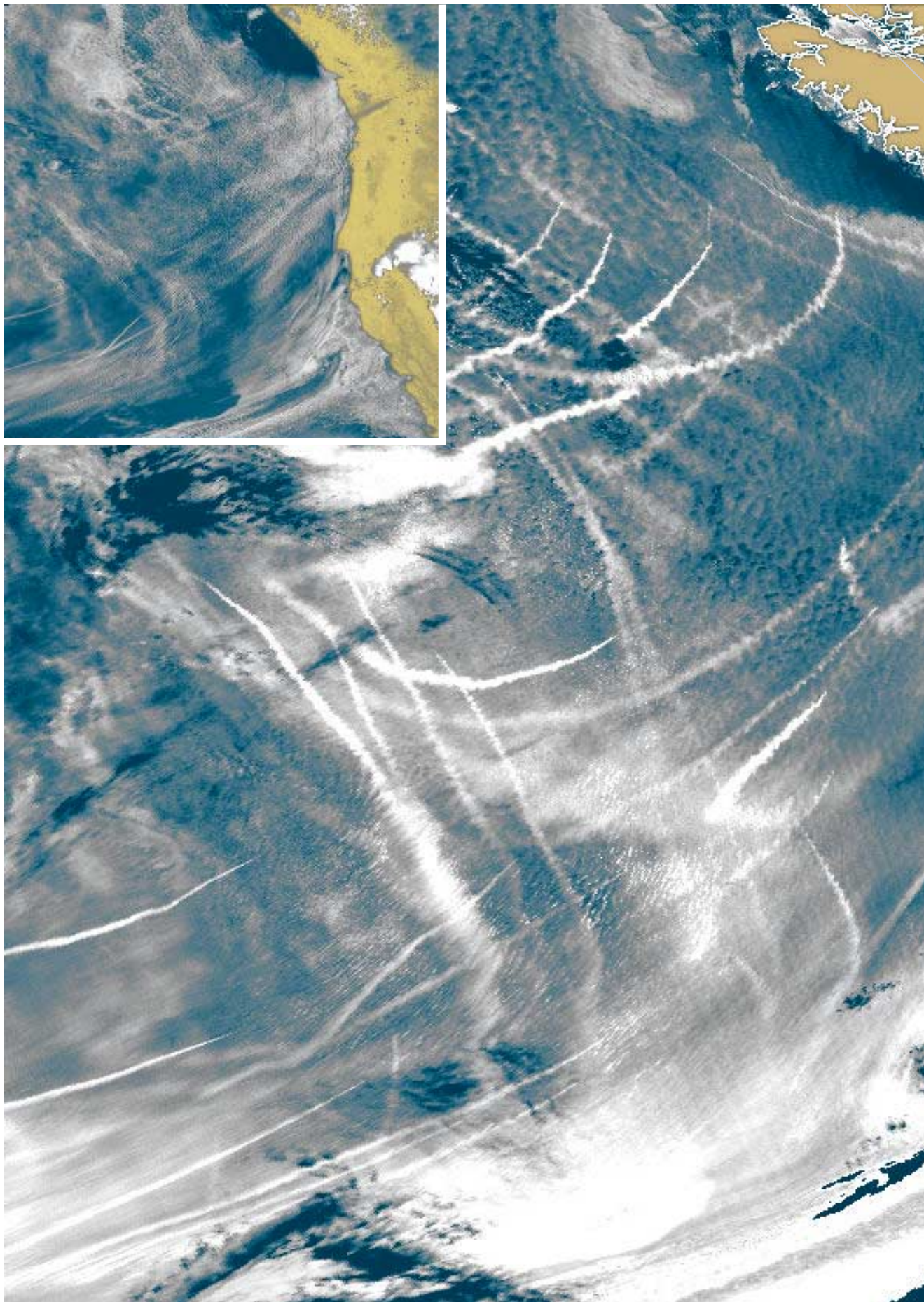
À la longueur d'onde de 3,7 micromètres, le rayonnement est fortement absorbé par l'eau. Lorsque la taille des gouttelettes diminue et que leur nombre augmente, à quantité d'eau constante, l'absorption totale augmente, mais moins vite que la diffusion : le contraste avec les régions environ-

nantes est donc plus marqué qu'à la longueur d'onde de 0,63 micromètre, et les traînées de navires sont bien plus visibles en infrarouge.

L'observation de ces traînées de navires, corroborée par des mesures *in situ*, nous fait soupçonner un effet similaire mais à plus grande échelle, lié aux aérosols d'origine industrielle (sulfates et aérosols carbonés) : l'augmentation de la réflexion du rayonnement solaire par les nuages bas des continents et des océans adjacents. Ce phénomène tendrait à refroidir le système climatique. Suffirait-il à compenser l'augmentation artificielle de l'effet de serre, liée à l'émission de gaz tels que le dioxyde de carbone ou le méthane par les activités humaines? Probablement pas, car les gaz à effet de serre résident plusieurs dizaines d'années dans l'atmosphère, tandis que les aérosols en disparaissent en une dizaine de jours. Les premiers «s'accumulent» dans l'atmosphère, tandis que la concentration en aérosols industriels reste à peu près proportionnelle aux flux émis.

Olivier BOUCHER,
Lab. d'optique atmosphérique,
Université de Lille I





M.D. King, S.C. Tsay et S. Plattickdom Wiley and Sons