

antigrippal. Certains médecins commencent à utiliser des kits de détection rapide ; les fabricants pourraient en faire des produits grand public.

On devra s'assurer que l'infection contractée est bien une grippe, et non un simple rhume, car les médicaments contre la grippe n'ont aucun effet sur le rhume, dû à d'autres types de virus. Administrés contre un rhume, une allergie ou une infection bactérienne dont les symptômes sont voisins de ceux de la grippe, ils seraient sans effet.

Des interrogations demeurent

Bien que les inhibiteurs de la neuraminidase soient prometteurs, on ignore encore si l'inhibition de la réplication virale et la réduction des complications épargneront réellement des vies.

De surcroît, de nombreux virus et bactéries deviennent résistants à tous les médicaments : les micro-organismes luttent pour leur survie, et ceux qui parviennent à modifier le médicament et à l'inactiver lui échappent et survivent. Plusieurs micro-organismes sont devenus résistants à l'amantadine et à la rimantadine, par exemple. Les nouveaux médicaments contre la grippe échapperont-ils à ce problème ?

Peut-être. Les biologistes qui ont essayé de fabriquer des souches du virus de la grippe résistant au zanamivir et au GS 4104 ont eu bien des difficultés. Quelques souches deviennent résistantes quand les acides aminés du site actif de la neuraminidase sont modifiés, mais ces changements diminuent la stabilité et l'efficacité de l'enzyme, ce qui compromet la survie du virus dans l'organisme.

D'autres souches deviennent résistantes, parce que la composition chimique de leur hémagglutinine est transformée. Nous l'avons vu, la neuraminidase élimine l'acide sialique des nouvelles particules virales, de sorte qu'elles ne s'agglutinent pas sous l'effet de l'hémagglutinine et vont infecter d'autres cellules. Les modifications de la composition de l'hémagglutinine réduisent son affinité pour l'acide sialique, ce qui évite à la neuraminidase d'intervenir. Le second groupe de mutants n'a montré aucune résistance aux médicaments, chez l'animal. La faiblesse de la liaison entre l'hémagglutinine et l'acide sialique réduit vraisemblablement le pouvoir infectieux des souches en réduisant leur ancrage sur les cellules.

Les inhibiteurs de la neuraminidase ne sont pas les seuls médicaments étudiés. Les chimistes essaient depuis longtemps de mettre au point des médicaments dont la cible serait le site de liaison de l'acide sialique sur l'hémagglutinine, mais sans succès. L'amantadine et la rimantadine, déjà sur le marché, se sont révélées efficaces avant que l'on ne découvre leur mécanisme d'action. Aujourd'hui, on sait qu'elles perturbent l'activité d'une protéine virale nommée M2, qui fonctionne comme un canal ionique. Voilà pourquoi ces médicaments sont inefficaces contre les virus de type B : ceux-ci ne portent pas de molécule M2. Parallèlement à la recherche de nouveaux médicaments, l'amélioration des vaccins contre la grippe se poursuit.

Souvent, entre deux pandémies de grippe surviennent des épidémies plus localisées. Chaque année, la grippe touche entre 5 et 15 pour cent de la population française. Durant l'hiver 1989-1990, une épidémie grave a sévi en France, entraînant quelque 20 000 décès dus aux complications. Cette surmortalité atteint 4 000 personnes les années où la maladie n'est pas trop grave.

Ces statistiques devraient s'alléger au cours des prochaines années, lorsque de nouveaux médicaments contre la grippe seront apparus et que les vaccins seront davantage utilisés et produits plus rapidement.

Graeme LAVER est professeur de biochimie et de biologie moléculaire à l'Université de Canberra. Norbert BISCHOFBERGER est vice-président du département de recherche des Laboratoires *Gilead Sciences*. Robert WEBSTER dirige le service de virologie et de biologie moléculaire à l'Hôpital St. Jude Children's, à Memphis.

Richard COLLIER, *The Plague of the Spanish Lady*, Atheneum, 1974.

Alfred W. CROSBY, Jr., *Epidemic and Peace*, 1918, Greenwood Press, 1976.

Edwin D. KILBOURNE, *Influenza*, Plenum Medical Book Company, 1987.

Frederick G. HAYDEN et Peter PALESE, *Influenza Virus*, in *Clinical Virology*, sous la direction de Douglas D. Richman, Richard J. Whitley et Frederick G. Hayden, Churchill Livingstone, 1997.

Textbook of Influenza, sous la direction de Karl G. Nicholson, Robert G. Webster et Alan Hay, Blackwell Science, 1998.



De la voile à l'aile

V. RADHAKRISHNAN

La physique des voiliers a beaucoup progressé. Les améliorations résultent de l'implantation des foils et de la structure des mâts ailes.

Les deux tiers de notre planète sont recouverts de mers balayées par les vents et les marins ont exploité la force du vent pour voyager sur l'eau. Aussi la navigation à voile fut-elle longtemps le seul moyen de découvrir, puis de relier, des contrées lointaines. Aujourd'hui, nous franchissons les océans en les survolant de très haut, et la direction et la force des vents d'altitude affectent peu les durées de traversée. Toutefois ces deux modes de transport exploitent les mêmes phénomènes physiques, l'action d'un fluide sur une surface, voile, aile ou dérive.

Sur le Nil, il y a quatre milliers d'années, les conditions de navigation étaient particulièrement favorables : le Nil s'écoule du Sud vers le Nord, et les vents soufflent en sens inverse. Aussi les marins égyptiens remontaient-ils le courant toutes voiles dehors ; vers le Nord, ils carguaient la voile pour descendre le fleuve en profitant du courant. Dans ce dernier cas, les marins immergeaient des planches perpendiculairement à la direction du courant, augmentant ainsi la surface sur laquelle agit le mouvement de l'eau : la poussée du courant devait être supérieure à l'action opposée du vent sur la portion émergée du navire. Cette pratique montre que, dans un système où interagissent un solide, un liquide et un gaz, la vitesse et la direction du solide – le bateau – sont déterminées par les forces qui agissent au-dessus et au-dessous de la ligne de flottaison.

Les forces qui freinent le mouvement du bateau sont essentiellement la résistance visqueuse provenant du frottement de l'eau sur la carène, la traînée due à la forme de la coque, et la résistance de vague. Les deux premières résistances croissent comme le carré de la vitesse du bateau, mais les architectes

navals limitent leurs effets en construisant des coques lisses et effilées. La troisième composante, la vitesse de vague, est un handicap majeur. La longueur de la vague créée par le mouvement du bateau est proportionnelle au carré de sa vitesse. La vague limite la vitesse du bateau à la valeur pour laquelle la vague a la même longueur que la coque : le bateau doit alors remonter en permanence la pente créée par la vague qui résulte de l'accumulation de l'eau à l'avant et de la dépression à l'arrière. Ce phénomène, la résistance de vague (aussi dénommée résistance de carène), découvert au siècle dernier par l'ingénieur anglais William Froude, explique pourquoi les transatlantiques qui dépassaient les quarante nœuds étaient si longs, et pourquoi également tout voilier conventionnel de dix mètres de long, même par vent de vingt nœuds, atteint tout juste sept nœuds (un nœud est environ égal à 0,5 mètre par seconde, soit 1,8 kilomètre par heure).

Sur les hydrofoils la résistance de vague est réduite par la surélévation dynamique de l'embarcation ; la poussée vers le haut est due à la poussée du bateau sur des foils inclinés de type patins. La poussée vers le haut n'est plus uniquement la poussée d'Archimède, c'est principalement la poussée verticale (la portance) exercée sur une petite surface immergée : sur le nouvel *Hydroptère* (voir la figure 2), la résistance de vague est fortement réduite.

Les Vikings savaient que leurs bateaux devaient être longs, lisses et élancés pour «remuer moins l'eau», mais je les soupçonne d'avoir davantage navigué à la rame qu'à la voile. Les progrès vinrent des Chinois, puis des Arabes, qui construisirent et voyagèrent avec de véritables embarcations à voile. Ces marins avaient compris que

les voiles ne se comportaient pas comme des feuilles ballottées par le vent dont on ne peut maîtriser la destination, et ils savaient naviguer vent debout : leurs voiliers pouvaient aller de A à B même quand le vent soufflait de B vers A.

Pour comprendre le pourquoi et le comment de la navigation contre le vent, nous examinerons l'aérodynamique des voiles, mais pas seulement les voiles, car, pour extraire l'énergie motrice du vent, nous devons «mettre un pied dans l'eau». Imaginez une éolienne portée par un ballon : elle ne produit de l'électricité que si le ballon est arrimé au sol. Si on libère le ballon, il dérive à la vitesse du vent ; l'éolienne ne ressent alors aucun vent apparent et ne tourne plus. Il en va de même de la voile du bateau.

La voile carrée

L'imposante voilure des grands navires d'autrefois était, pour l'essentiel, constituée de voiles carrées suspendues à des vergues. Une voile carrée fonctionne comme un parachute et engendre une force, la traînée de la voile, orientée dans le sens du vent. Avec un tel gréement, quelle que soit votre destination, il faut un vent arrière raisonnablement fort, car à mesure que vous accélérez, le vent apparent faiblit : la poussée du vent, proportionnelle au carré de cette vitesse apparente, diminue, tandis que la traînée sur la coque augmente plus vite que le carré de la vitesse de l'eau. Par vent modéré, pour approcher la vitesse limite de vague du navire, il faut déployer l'énorme surface de toile des grands voiliers. Ces voiles, équivalentes des gigantesques spinnakers modernes, jouent le même rôle, au-dessus de l'eau, que la dérive transverse immergée par les Égyptiens pour profiter du courant.



V. Radhakrishnan

1. LES TROIS-MÂTS à la formidable voilure présentaient des dangers. Les trois-mâts étaient les plus grands bateaux et les plus rapides au début du ^{xx}^e siècle. Ils restaient contrôlables, mais leur vitesse était limitée par la résistance de carène sur la partie immergée de la coque. Quand le vent soufflait fort, la vitesse ne pouvait augmenter pour diminuer le vent apparent, et la force exercée sur les voiles augmentait jusqu'à briser les mâts ; aussi les marins devaient rapidement carguer les voiles. Par gros temps, l'opération était difficile et périlleuse.



Photos Plisson La Trinité

2. L'HYDROPTÈRE permet d'atteindre, à quatre mètres au-dessus de l'eau, une vitesse de 40 nœuds pour seulement 25 nœuds de vent réel. Les coques sortent de l'eau grâce à la poussée verticale des

plans porteurs immergés, les hydrofoils. Au lieu de pousser des tonnes d'eau, l'hydroptère égratigne la surface des océans : la limite liée à la vague de carène est notablement diminuée.

Hélas, quand la vitesse limite du bateau est atteinte, le vent continue à pousser voiles et mâts ; cette confrontation paradoxale entre «une force irrésistible et un objet inamovible» peut amener la rupture du mât. Quand le vent augmente par trop, il faut vite carguer les voiles, manœuvre dangereuse comme en témoigne la perte moyenne d'un membre d'équipage, passé par dessus bord, lors de chaque contournement du cap Horn.

La précipitation avec laquelle on réduit ou abat une voile, est une obsession nécessaire, aujourd'hui comme hier ; hélas, une pièce de toile battant au vent lors d'une tempête est un objet démoniaque, car incontrôlable. Nombre de marins sont morts en tentant de maîtriser une voile par vent violent. Je suis passablement irrité par le romantisme associé au «bon temps de la marine à voile». La conception des navires imposait aux équipages des performances physiques inouïes ; pour que les marins accomplissent ces tâches, la hiérarchie imposait une discipline de fer d'une rigueur inhumaine.

Au contraire, sur les jonques chinoises, un ingénieux mécanisme de type store vénitien, permettait à un seul homme, debout sur le pont, de hisser et d'abattre les voiles. Pour comprendre comment les marins apprirent à naviguer contre le vent, nous allons maintenant relier l'hydrodynamique à l'aéronautique.

La poussée sur une voile

De nombreux physiciens s'interrogèrent sur l'intensité et sur la direction de la force engendrée par un fluide s'écoulant dans une direction faisant un petit angle avec une lame solide.

Selon Newton, cette force était négligeable pour de petits angles, croissant seulement comme le carré du sinus de l'angle entre la direction du vent et la lame. Dans un article d'une remarquable perspicacité rédigé il y a plus d'un siècle, Lord Rayleigh réfuta cette loi et affirma que la force était bien supérieure. Il écrivait en 1876 : «Le fait que la résistance au mouvement [...] d'une lame dans un fluide au repos puisse être accrue considérablement par la superposition d'un mouvement en biais présente un grand intérêt. Par exemple, ce fait se révélera d'une importance vitale pour le problème du vol artificiel.»

Il calcula une force bien plus élevée aux petits angles, valeur que l'on sait aujourd'hui être encore supérieure. Elle est correctement donnée par la théorie des écoulements sur les lames solides, théorie élaborée par les physiciens depuis le début du XX^e siècle. C'est cette force qui permet à un oiseau de descendre en planant plus lentement qu'un parachute dont l'aire serait égale à celle des ailes de l'oiseau. Et c'est ce qui maintient les avions dans le ciel avec une force proportionnelle à l'aire de l'aile.

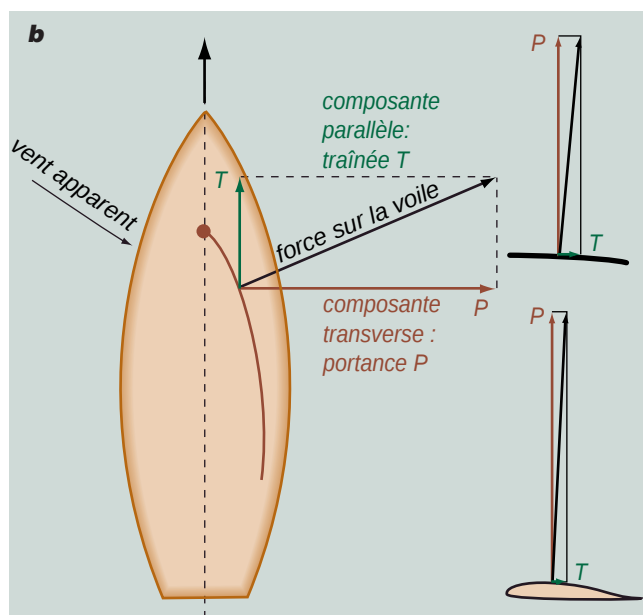
Pour revenir à notre problème, c'est cette portance perpendiculaire à l'écoulement de l'air sur la voile qui permet au navire d'avancer contre le vent. La composante transverse de cette force, bien plus importante que la composante orientée vers l'avant, tend à pousser le navire latéralement. Ainsi, toute embarcation naviguant à la voile est dotée d'un dispositif immergé qui s'oppose au mouvement latéral, tout en facilitant le mouvement vers l'avant. C'est pour remplir cette fonction que les Chinois ont inventé les dérives latérales utilisées aujourd'hui encore aux Pays-Bas sur les navires traditionnels. La même fonction peut être obtenue à l'aide d'ailerons, fixes ou rétractables, de dérives ou de quilles, placés sur les planches à voile, les canots et les voiliers.

Lord Rayleigh et William Froude avaient compris que la force qui empêche le bateau de chasser latéralement n'est pas la traînée de la dérive qui se déplace latéralement dans l'eau, mais la portance engendrée par son mouvement vers l'avant dans une direction qui forme un petit angle avec son plan de symétrie.

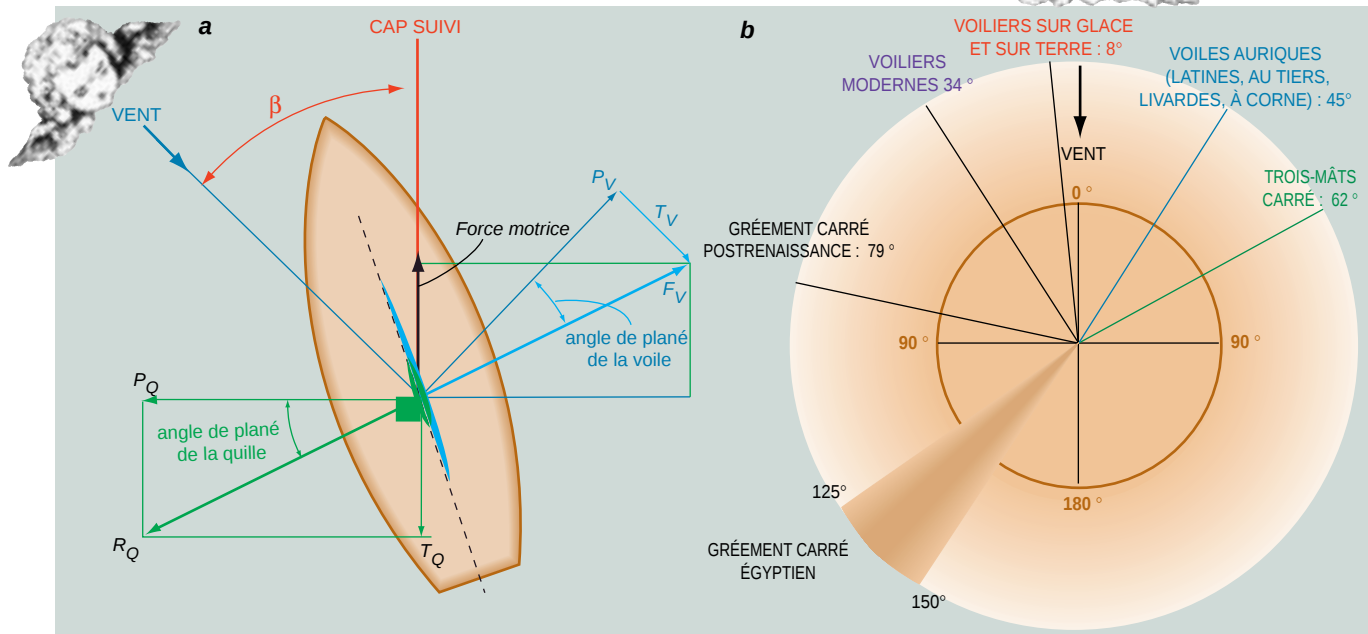
Cette dérive fonctionne comme un hydrofoil vertical plongé dans l'eau, à l'instar de la voile qui se comporte comme un airfoil vertical dans l'air. Ces forces horizontales, longitudinale et transverse s'exerçant sur ces foils, sont dénommées traînée et portance.



3. LA VOILE PRINCIPALE d'une jonque chinoise (a) pouvait être hissée ou abattue depuis le pont par un seul homme. Ces jonques furent les premières embarcations à remonter au vent. Composantes de la poussée de la voile sur une embarcation remontant au vent (b). Pour



contrer la grande composante latérale, il faut recourir à un dispositif immergé, une dérive. Portance et traînée s'exerçant sur une lame incurvée et sur un airfoil (c) pour un angle au vent inférieur à 4 degrés. La lame et l'airfoil ont même rapport longueur/largeur, égal à 6.



4. FORCES QUI S'EXERCENT SUR LA VOILE ET SUR LA QUILLE. (a). L'écoulement de l'air autour de la voile (en bleu) crée une force de portance P_V , perpendiculaire à la direction du vent, et une traînée T_V dans la direction du vent. La force résultante sur la voile F_V se décompose aussi en une composante orientée dans l'axe du cap, la force motrice, et une composante de dérive, perpendiculaire au cap. Cette dérive est compensée par la portance P_Q engendrée par l'écoulement de l'eau autour de la quille (il faut pour cela que la quille

ait un angle d'attaque par rapport à l'écoulement de l'eau, donc que l'axe du bateau ne soit pas parallèle au cap). Toutefois cet écoulement crée aussi une traînée T_Q dans l'axe du cap, qui s'oppose à l'avancée du bateau. Cette traînée équilibre la force motrice. Il en résulte (théorème de Lancaster) que la somme des angles de plané de la voile et de la quille est égale à l'angle β entre le cap et le lit du vent. Le plus petit angle β sous lequel un bateau peut remonter au vent est représenté (b) pour différentes embarcations.

Airfoils et hydrofoils

De multiples facteurs déterminent les performances d'un airfoil ou d'un hydrofoil. Nous n'en mentionnerons que trois : la symétrie, la forme (la section) et le rapport longueur sur largeur.

Les oiseaux et la plupart des avions ont des ailes dont on peut difficilement confondre les faces supérieure et inférieure. Apparemment, les oiseaux n'ont pas besoin de voler sur le dos, pas plus que les avions de ligne. Mais les avions d'acrobaties aériennes ont des ailes symétriques qui restent efficaces dans les deux positions de vol. L'angle d'attaque correspond à l'inclinaison de l'aile par rapport à la direction du flux d'air.

Pour les bateaux, il est clair que le vent peut frapper la voile d'un côté ou de l'autre. La dérive, située sous la coque du bateau, doit s'opposer à un déplacement latéral, vers la droite comme vers la gauche. Aussi les dérives, fixées à la coque ou abaissées en son centre, sont-elles symétriques ; en revanche, les dérives latérales, situées sur chaque bord du bateau, peuvent être asymétriques. Les navires hollandais possèdent des dérives latérales images miroir l'une de l'autre, afin d'être plus efficaces.

Une voile en toile, et donc bidimensionnelle, s'incurve aussi facilement dans un sens que dans l'autre. Cette souplesse d'utilisation a pour contrepartie la diminution de l'efficacité de la voile par rapport à un airfoil véritablement tridimensionnel et présente, nous l'avons vu, des dangers. En ce qui concerne le rapport longueur sur largeur, la physique nous enseigne qu'une voile longue et mince est plus efficace, ce qui explique pourquoi la grande voile triangulaire a remplacé les anciennes voiles rectangulaires.

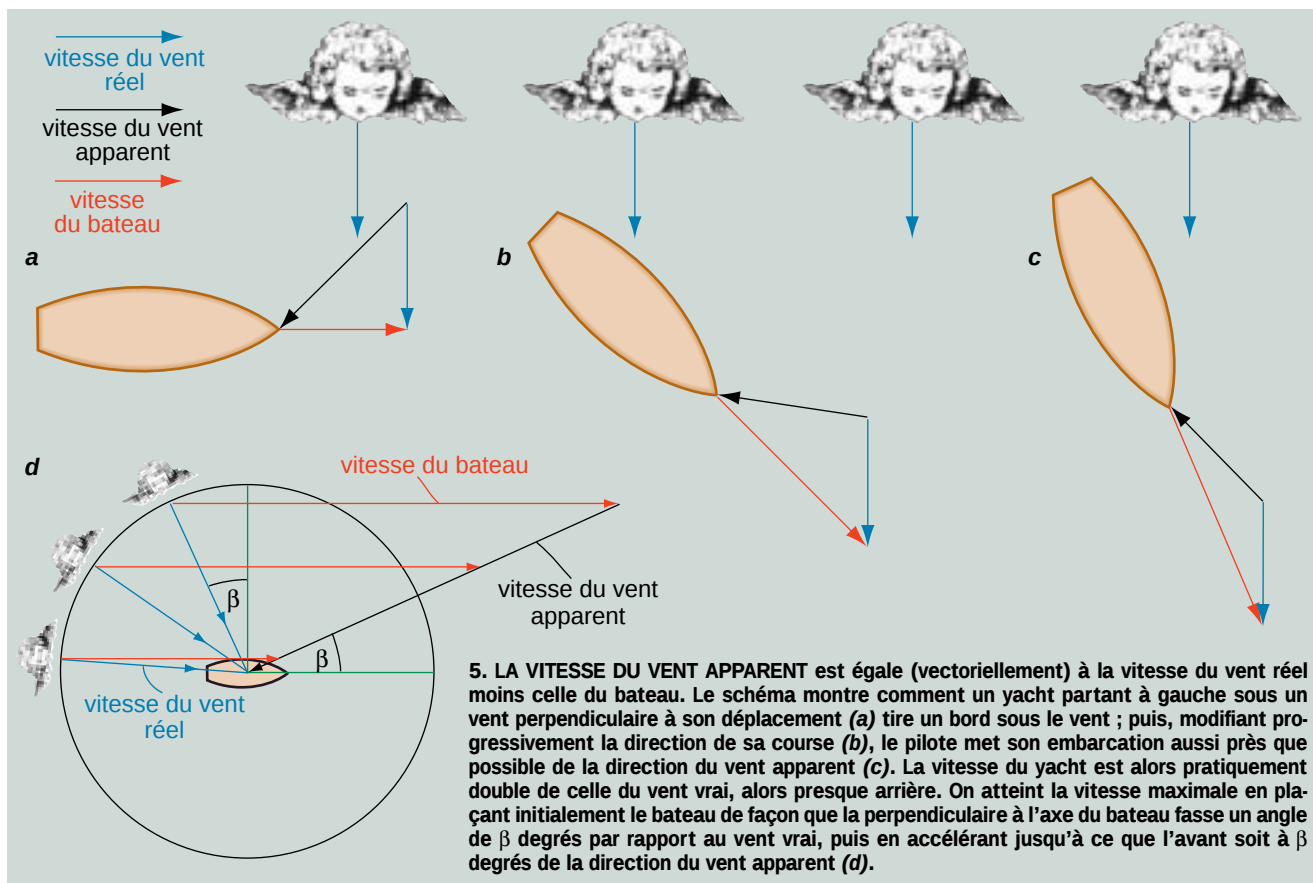
La mesure absolue de la qualité d'un foil est sa finesse, c'est-à-dire le quotient de la force transverse par la force longitudinale, correspondant à l'angle d'attaque optimal, habituellement de quelques degrés. Ce rapport, également appelé rapport portance/traînée indique qu'une surface courbe, une voile par exemple, est moins performante qu'un véritable airfoil rigide. Si vous pilotez un avion monomoteur, et que l'engin tombe en panne, cette finesse détermine le nombre de kilomètres dont vous disposez, à une altitude d'un kilomètre et en l'absence de vent pour trouver une piste d'atterrissage d'urgence. Dans le cas d'un voilier, il existe une finesse associée à la voile et une finesse déterminée par la performance de l'hydrofoil

correspondant au système dérive-carène. Ces deux finesesses déterminent le comportement du voilier.

La théorie des ailes fut développée au début de ce siècle, notamment par Frederick William Lanchester, un mathématicien amateur qui élaborait en solitaire la théorie des écoulements sur les «airfoils». Il fut le premier à expliquer correctement la traînée engendrée par les ailes réelles en la reliant à la cascade de vortex se développant à leurs extrémités. Industriel entreprenant, il construisit aussi une usine de fabrications d'automobiles en Angleterre.

La raison pour laquelle je tiens Lanchester en si haute estime est qu'il a posé en quelques lignes, et bien avant tout le monde, les fondements de la théorie de la navigation à voile. En 1907, il écrit : «Le problème de la mécanique de la navigation à voile se réduit à une association de foils où celui opérant dans l'air (une envergure de voile) et celui opérant dans l'eau (la quille ou la dérive) exercent l'un sur l'autre une réaction.

L'angle minimum par rapport au vent déterminant la course optimale du navire est la somme des angles de plané au-dessus et en dessous de l'eau.» Le brillant théorème de Lanchester montre immédiatement que la performance d'un voilier se caractérise par un seul



nombre, l'angle β . La figure 4b donne les valeurs de cet angle pour divers voiliers. Les performances exceptionnelles des yachts à glace s'expliquent simplement par le fait que les patins empêchent tout mouvement latéral et que l'angle β dépend uniquement de la voile. Un char à voile possède aussi un très petit angle β : parce qu'il est posé sur des roues, le quotient résistance au mouvement latéral / résistance au mouvement avant est extrêmement élevé.

La navigation réelle

Revenons sur l'eau. Il est clair que l'engin à voile idéal se composerait uniquement d'un foil dressé verticalement dans l'air et d'un autre plongé dans l'eau. La meilleure approximation de cet engin idéal est bien entendu la planche à voile. Ingénieuse, portable, peu coûteuse et riche en sensations, elle a mis à la portée de millions de gens un sport de voile autrefois réservé aux seuls milliardaires.

Nous avons vu qu'un voilier peut naviguer pour tout angle au vent supérieur à β , et nous allons maintenant examiner plus en détail l'effet du vent apparent sur la vitesse du voilier. Lorsque le voilier navigue vent arrière,

la vitesse du vent apparent est inférieure à celle du vent vrai. Au contraire, pour certaines allures vent debout, la vitesse du vent apparent dépasse celle du vent vrai. La navigation de course exige ainsi que l'on maximise le vent apparent pour rendre maximale la vitesse du voilier. Toutefois, plus le vent apparent augmente, plus il arrive par l'avant. Quelle est alors l'angle limite ? C'est l'angle β , le plus petit angle au vent pour lequel un voilier peut naviguer : la vitesse maximale est atteinte lorsque le vent apparent est opposé au sens de la marche ! Nous verrons que cette conclusion étonnante amène d'autres surprises.

Les véliplanchistes et les pilotes de yachts à glace, comme tous ceux dont la vitesse de l'engin n'est pas limitée par la vitesse de vague, savent tout cela et utilisent ces connaissances pour tirer leurs bords *sous le vent*. Partant avec le vent de travers et obliquant progressivement dans le sens du vent à mesure qu'ils accélèrent, ils se retrouvent au près par rapport au vent apparent, alors que le vent vrai vient de derrière. Si le vent souffle de A vers B, les conducteurs peuvent partir de A, virer de bord à mi-chemin, puis arriver en B avant l'air avec lequel il était parti. Cette

stratégie montre qu'une petite voile qui se comporte comme un airfoil et engendre une portance, peut conduire une embarcation en un point situé droit sous le vent plus vite que ce vent.

Un spinnaker ou tout autre dispositif donnant une traînée ne peut, au mieux, qu'approcher la vitesse du vent et devrait avoir des dimensions extravagantes pour que la coque soit propulsée avec un vent apparent proche de zéro. Une autre leçon est que les navires rapides tirent généralement des bords bien plus ouverts à cause de la plus grande différence entre les vents vrai et apparent. On considère trop souvent que les performances des catamarans sont médiocres au vent comparés aux bateaux plus lents dont les bords font des angles plus petits. L'angle entre les bords n'atteint la valeur minimale 2β que pour les navires dont la vitesse est négligeable comparée à la vitesse du vent vrai.

Si l'objectif est la vitesse, l'angle β détermine aussi la vitesse maximale que vous pouvez atteindre par rapport au vent et la direction dans laquelle vous devez naviguer pour atteindre cette vitesse. La cosécante de β représente la valeur maximale du rapport vitesse du bateau / vitesse du vent, valeur

atteinte lorsque le vent vrai est à β degrés sur l'arrière. Le vent apparent se trouve alors exactement à β degrés sur l'avant. La faible valeur de l'angle β pour les chars à voile évoluant sur les lacs asséchés de Californie leur permet d'atteindre la vitesse record de 160 kilomètres/heure ; la même raison explique pourquoi des yachts à glace ont dépassé les 180 kilomètres/heure sur la glace. L'endroit idéal pour établir des records de vitesse sur engins à voile est une étendue d'eau balayée par un vent pratiquement perpendiculaire aux trajectoires et dépourvue de vagues ralentissant ces trajectoires.

En Angleterre, à Weymouth, une bande de terre sépare l'océan du port, arrêtant ainsi les vagues tout en laissant passer le vent. Chaque année, en octobre, époque à laquelle souffle souvent un vent très violent, des amateurs venant des quatre coins du globe s'y retrouvent pour tenter, à bord d'étranges engins, de naviguer aussi vite que possible. Cette *Speedweek*, ainsi qu'on la dénomme, est organisée par l'*Amateur Yacht Research Society* (AYRS), une remarquable association qui, durant les quarante dernières années a promu les diverses innovations apparues en navigation à voile, notamment le développement des multicoques.

Les ailes de Phoebus

Au cours des compétitions qui s'y déroulent, les planches à voile, photographie dominant leurs concurrents. Le vainqueur dans la catégorie masculine dépasse 50 kilomètres/heure sous un vent de 30 kilomètres/heure. La figure 7a montre deux planches à voile reliées par un pont, l'idée étant d'obtenir ainsi un meilleur moment antigitte que celui offert par le seul poids du véliplanchiste. La photographie 7b est celle d'un trimaran équipé d'une voile de type polynésien. Les planches sont censées planer au-dessus de l'eau, les ailerons de leur partie inférieure fournissant la résistance latérale dont nous avons évoqué plus haut la nécessité. La troisième embarcation (figure 7c) possède une aile asymétrique réellement tridimensionnelle, autrement dit un véritable airfoil, munie d'un dispositif inverseur haut-bas lors des changements de bord. Un petit aileron blanc situé à l'arrière fonctionne exactement comme le gouvernail de profondeur d'un avion : placé sous un certain angle, il maintient automatiquement l'aile dans la direction désirée

par rapport au vent apparent. C'est sur ce principe que repose la propulsion de la plupart des «bateaux à ailes».

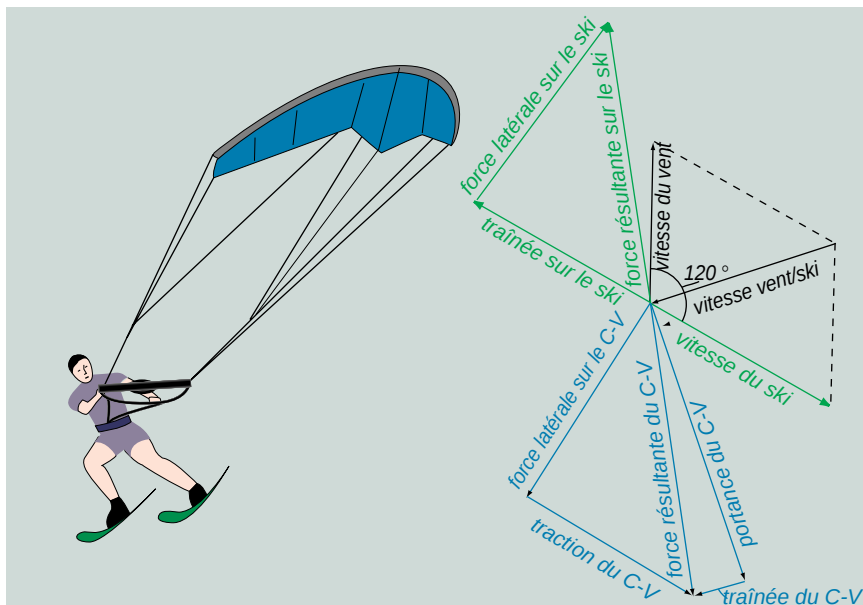
On assiste depuis peu à un retour des voiliers dans les courses de vitesse, dominées depuis 20 ans par les planches à voile. Un hydrofoil trimaran à ailes, baptisé *Yellow Pages Endeavour*, a en effet atteint 46,52 nœuds sous un vent de 18 à 20 nœuds. On pourrait penser que les ailes sont réservées à des prototypes de compétition, et que la voile traditionnelle restera encore, et pour longtemps, la seule praticable et sans danger. Je m'inscris en faux contre cette allégation, et je vais essayer de vous convaincre de la justesse de ma vision.

Naviguer comme un avion

L'un des membres les plus éminents de l'*Amateur Yacht Research Society*, John Walker, construisit, il y a plus d'un quart de siècle, un navire équipé de quatre ailes. Une vingtaine d'années de recherches plus tard, il construisit le prototype plus élaboré, équipé de deux ailes, une sorte de gréement biplan. Ce navire traversa l'Atlantique dans les deux sens et se sortit sans dommage d'un ouragan. Un ordinateur règle l'orientation d'un aileron derrière les deux ailes, le vent fait le reste. La photographie 7d est celle de la toute dernière et plus belle création du spécialiste Walker ; à l'instar des avions, celle-ci a aujourd'hui évolué vers une configuration monoplane. L'aile plus petite, en arrière, est ici encore la dérive, dont l'orientation ajuste la direction du vent à la direction

de course souhaitée ; et là aussi cette orientation est déterminée par un ordinateur alimenté par des panneaux solaires recevant leur énergie du soleil, comme le vent. Ces panneaux solaires sont visibles à l'avant de l'aile principale sur la photographie prise d'avion. Le problème de la symétrie a été résolu à l'aide d'un volet mobile situé sur le bord d'attaque, semblable à ceux que vous voyez sortir des ailes d'un avion de ligne juste avant l'atterrissage. Ce volet peut être orienté d'un côté ou de l'autre de l'aile et engendre un énorme accroissement de poussée.

Toute la partie «avion» est libre de pivoter sur un support clairement visible, et le petit moteur qui fixe l'angle de la dérive est lui aussi alimenté par des panneaux solaires. Bien entendu, il y a un système de secours, lui-même relayable par un contrôle manuel en cas de besoin. Tout est contrôlé par un microprocesseur. Il y a un levier pour enclencher les mouvements avant et arrière, situé à gauche du volant, dans un cockpit qui ressemble désormais à celui d'un avion. Comme tout multicoque qui se respecte, lorsqu'il est face au vent, il navigue lui aussi à la verticale, et non penché sur le côté. Sa version monoplane est construite en série à Plymouth, en Grande-Bretagne. Ces ailes n'ont pas besoin d'être affalées à l'accostage ; libres de pivoter sur elles-mêmes et de s'aligner au vent, elles présentent moins de fardage que le mât et le gréement nus d'un voilier classique, et ne cliquettent pas lorsque le vent souffle. En outre, elles se satisfont des



6. LE DISPOSITIF KITESKI : la force d'un vent de 72 km/h permet une vitesse de 90 km/h.



7. LES PLANCHES À VOILE dépassent 50 kilomètres heure pour un vent soufflant à 30 kilomètres heure. Une double planche à voile est plus stable et tout aussi efficace qu'une planche simple (a). Un tri-



maran avec hydrofoil muni d'une voile polynésienne (b). Catamaran doté d'une véritable aile d'avion (c) : cette aile étant asymétrique, il faut la renverser verticalement lorsqu'on vire de bord. L'aileron

vents ordinaires et n'ont pas besoin, de vent trop forts pour fonctionner de façon optimale.

Le plaisir améliorable de la voile

On l'a souvent dit, la navigation à voile est l'art de capter l'énergie du vent pour propulser un navire sur l'eau. Dans le cas des voiliers, la puissance disponible est proportionnelle à l'aire de la surface interceptant le vent et au cube de la vitesse du vent apparent. Or les vitesses des vents varient au moins d'un facteur 10 et la puissance disponible, pour le meilleur ou pour le pire, varie donc d'un facteur mille ou plus. Aussi doit-on modifier beaucoup la voilure et utiliser tout un jeu de voiles.

J'espère n'offusquer personne en disant qu'un marin abaissant une voile pour en hisser une autre me fait penser à un automobiliste ou à un cycliste qui s'arrêterait pour changer la dimension de ses roues au pied d'une colline, puis ferait l'opération inverse une fois parvenu au sommet. Avant les dérailleurs, les cyclistes du tour de France retournaient en haut des côtes leur roue pour changer de pignon. Seul le foc à enrouleur, suffisamment rapide est comparable avec un changement de vitesse manuel sur une voiture ou sur une bicyclette. Les mâts qui soutiennent les voiles, les haubans et les barres de flèche qui maintiennent le mât, les centaines de mètres de cordages pour hisser les voiles, les incliner dans la bonne orientation par rapport au vent

et les abaisser, les poulies, les taquets, les ridoirs, les guides de drisse, les espars et tout ce qui se trouve sur le pont ne servent à ajuster que deux et seulement deux misérables paramètres : l'aire et l'angle de la voilure. En outre, les voiles étant habituellement montées de sorte que leurs points de pivotement soient aussi loin que possible du centre de force, il faut, pour les régler, disposer de winches coûteux et de muscles de rugbyman. Ajoutez à cela les centaines de termes nautiques et les dizaines de nœuds qu'il faut connaître et vous aurez une idée de l'esprit tordu qu'il faut pour jouir du plaisir d'être poussé par le vent.

Vous pouvez donc imaginer le malaise qu'a dû éprouver l'establishment, soucieux de ses intérêts financiers, en apprenant soudainement qu'un petit malin mettait sur le marché un engin à voiles baptisé *Blue Nova* (voir la photographie en première page de l'article), capable de traverser les océans. Ce trimaran atteint des vitesses doubles des embarcations de même gabarit, dans des conditions de stabilité telles que votre apéritif ne verse pas, et peut être tout aussi vite démarré ou stoppé que son moteur. Rien de surprenant donc à ce que l'influente revue britannique *Yachting World* ait contesté avec une hargne particulière les performances du trimaran révolutionnaire. À tort : au terme d'un long procès en diffamation qui fut une victoire inhabituelle du droit sur l'argent et l'establishment, la Société *Walker Wingsail* reçut de la Cour suprême britannique un dédommagement d'un million et demi de livres.

Les voiliers traditionnels ont le pittoresque des moulins à vent hollandais, mais, si vous voulez utiliser sérieusement et en toute sécurité la force du vent pour faire avancer une embarcation sur l'eau, vous devez transformer les moulins à vent en éolienne moderne. Dans son roman pour enfants *Wind in the Willows*, Kenneth Grahame fait dire à M. Mole que rien, absolument rien, n'est aussi agréable que de s'affairer autour d'un bateau. Je ne saurais être davantage d'accord, mais je suis cependant convaincu que la conception de la plupart des navires ouvre des perspectives de plus grande envergure.

Stabilité, sécurité, innovation

Lorsqu'un voilier remonte au vent, il subit une énorme force latérale engendrée par l'airfoil. Nous avons vu également que la dérive latérale due à cette force est contrebalancée par l'action d'un hydrofoil situé sous la ligne de flottaison, mais qu'étant donné la distance entre ces deux objets un couple important tend à incliner le voilier dans le sens du vent.

Une façon de contrer ce moment consiste à se pencher de l'autre côté, ce qui est considéré par nombre de marins comme une énorme source de sensations, une particularité intrinsèque et essentielle de la navigation à la voile. Pour les bateaux plus gros, la solution traditionnellement adoptée en Occident consistait à fixer un énorme poids à la base de la quille, qui se transformait



c
blanc situé à l'arrière de l'aile, fonctionnant comme un gouvernail de profondeur d'un avion, permet d'ajuster l'angle au vent de l'aile principale. Zefyr (d) est la dernière version monoplane de Walker Wing-



d
sail. Cette vue d'avion de Zefyr permet de voir les panneaux solaires installés à l'avant de son aile. Ils alimentent en énergie l'ordinateur de bord et le petit moteur qui détermine l'orientation de la dérive.

V. Radhakrishnan

alors en pierre tombale lorsqu'une voie d'eau perçait la coque. Outre cette diminution de la sécurité, les performances du navire étaient limitées par la longueur de la carène (en vertu de la loi de Froude) : dépasser la vitesse de vague équivalait à courir avec un boulet attaché à la cheville.

Mais le pire est que, contrairement au lest humain (ou tout autre lest mobile) capable de fournir un (contre) moment de gîte même lorsque le navire est horizontal, l'action du poids fixé à la base du navire n'est proportionnelle qu'au sinus de l'angle de gîte. Aussi le bateau navigue-t-il dans une position artificielle hautement inconfortable pendant des jours, voire des semaines.

En revanche, les embarcations polynésiennes et mélanésiennes, grandes ou petites, qui utilisent des balanciers ou des doubles coques pour assurer leur stabilité, restent horizontales et sont insubmersibles. Durant des siècles, elles ont permis d'accomplir de vastes périple. On reconnaît, parfois avec beaucoup de réticences, que ces précurseurs des multicoques actuels présentent à de nombreux égards des qualités de navigation supérieures.

Une bien meilleure manière de contrecarrer le moment de gîte exercé par la voile serait d'engendrer un tel moment à l'aide d'un hydrofoil convenablement incliné et décalé par rapport à l'axe longitudinal de rotation du navire. Cet équilibre est réalisable même pour un angle de gîte nul et peut être ajusté pour suivre les variations de la vitesse du vent qui affectent à la fois la

vitesse du bateau et le moment de gîte. Les hydrofoils multicoques sont habituellement conçus de cette manière, ce qui leur permet d'atteindre en toute sécurité des vitesses fantastiques tout en gardant leur quille verticale !

Nous avons mentionné qu'il faut du vent pour extraire de l'énergie du mouvement relatif de l'air et de l'eau. Le vent est la seule chose qui soit imposée ; le choix de la forme des voiles ou du navire, autrement dit des portions situées au-dessus et en dessous de la ligne de flottaison, ne dépend que de l'inventivité du concepteur. Un certain nombre d'expériences dans le domaine des vaisseaux à voiles futuristes ont déjà été effectuées. Nous allons les évoquer en conclusion.

La gîte d'un voilier tient en général au fait que la voile est fixée sur le mât, lui-même rigidement fixé au bateau. On peut assouplir cette contrainte et transformer la voile en un cerf-volant relié au navire par de simples cordages en un point situé légèrement au-dessus de la ligne de flottaison. Il n'y a alors plus de mât tiré sur le côté et responsable de la gîte. Cette forme de navigation à voile est utilisée par exemple lorsqu'une personne chaussée de skis nautiques tient un énorme cerf-volant dont elle contrôle la position à l'aide d'un cordage. Un tel dispositif, baptisé KITESKI, permet d'atteindre des vitesses supérieures à 72 kilomètres/heure sous fort vent. La figure 6 montre les diverses forces en action sur ce système lorsque les skis ont une vitesse d'environ 90 kilomètres/heure.

Le lien avec l'eau n'est pas nécessairement un corps glissant à sa surface, comme des skis ou des coques, mais pourrait être un sous-marin guère plus soumis à la résistance de vague que les dauphins ou les requins. Le marin ou le pilote se trouverait dans le sous-marin. Dans une option plus intéressante encore, le pilote est suspendu à un cerf-volant, ou monté à bord d'un ballon ou d'un objet volant analogue, relié à une sorte d'ancre traînant dans l'eau à l'extrémité d'un câble. Didier Costes a déposé plusieurs brevets sur de tels dispositifs baptisés *Chiens de mer*. Un aviateur survolant une masse d'eau et contraint de quitter son avion en sautant en parachute pourrait larguer un tel dispositif au bout d'une corde avant d'atteindre la surface de l'eau et utiliser la force exercée par le vent sur son parachute pour se maintenir hors de l'eau. En outre, cet «aquaviateur» pourrait, en contrôlant le dispositif au dessus de lui et celui en dessous, se diriger vers un lieu où il pourrait atterrir.

Nombre de telles innovations sont actuellement au même stade que l'étaient, il y a quelques dizaines d'années, les multicoques, les hydrofoils et les ailes. Grâce à notre imagination féconde nous pouvons rêver d'un avenir prometteur.

V. RADHAKRISHNAN est Directeur Emeritus du Raman Research Institute à Bangalore.

Les ordinateurs passeront l'an 2000

PETER DE JAGER

De nombreux informaticiens avaient négligé le changement prochain de millénaire : ils n'ont utilisé que les deux derniers chiffres pour indiquer les années. Les corrections qui s'imposent aujourd'hui sont les plus longues et les plus coûteuses de l'histoire de l'informatique.



Dans *Alice au pays des merveilles*, le Chapelier fou demande : «Votre montre vous indique-t-elle quelle année nous sommes?» Alice répond : «Bien sûr que non, mais c'est parce que nous restons très longtemps la même année.» Les informaticiens ont longtemps raisonné comme Alice : pourquoi les dates dans les ordinateurs et dans les programmes indiqueraient-elles le siècle où nous sommes, alors que nous restons si longtemps dans le même siècle? Ils ont donc représenté les années avec deux

chiffres seulement : 55 pour 1955, et 23/10/76 pour le 23 octobre 1976.

Il y a quelques décennies, ils avaient d'excellentes raisons pour procéder ainsi : les ressources informatiques étaient restreintes, la mémoire des ordinateurs coûtait cher, les données étaient enregistrées sur des cartes perforées à 80 colonnes seulement, et la saisie des dates avec deux chiffres en moins faisait gagner du temps. L'absence de normes a favorisé la pérennisation de cette pratique même quand les ressources informatiques sont devenues pléthoriques, car nous avons été nombreux à croire (à tort) que les programmes que nous écrivions seraient hors d'usage bien avant le nouveau millénaire.

Le «bogue de l'an 2000» est directement imputable à cette négligence. Les ordinateurs sont aujourd'hui truffés de représentations ambiguës de dates. Comment sauront-ils si 00 signifie 1900 ou 2000? La confusion a déjà provoqué des erreurs. En 1993, la Société *Boeing* en a relevées dans un programme qui traite des commandes dont le délai d'exécution est de sept ans. Un programme de la Société *Amway*, qui fabrique du savon et des produits d'hygiène, a rejeté des matières premières qu'il considérait, à tort, comme périmées depuis presque un siècle. Des caisses enregistreuseuses se sont bloquées lorsque des clients ont utilisé leur carte de crédit, dont la durée de validité expirait en 00. Selon une étude effectuée il y a un an, plus de 40 pour cent des sociétés ont déjà souffert au moins une fois du bogue de l'an 2000.

Comment ces problèmes apparaissent-ils? Supposons un dépôt sur un compte d'épargne effectué en 1999, et un retrait en 2000. Si le programme qui gère les comptes de la banque calcule les intérêts acquis en soustrayant 99 de 00, l'ordinateur considère que la durée de dépôt est de -99 ans.

D'autres erreurs sont plus graves : les compagnies d'assurances doivent archiver les contrats annuels qui n'ont pas été consultés depuis plus de cinq ans. Pour identifier les polices inutiles, certaines utilisent des programmes qui se fondent sur la dernière date à laquelle elles ont été consultées : on ajoute cinq aux deux chiffres de l'année et, si le résultat est inférieur à l'année en cours, on archive le contrat. Ainsi, si le dernier accès date de 1993, 93 plus 5 est inférieur à 99, et le contrat est archivé. Toutefois, si le dernier accès date de 1996, le programme calcule 96 plus 5, soit 01, qui est inférieur à 99 : le contrat est indûment archivé. De telles erreurs semblent caricaturales, mais elles se sont déjà produites.

Le bogue de l'an 2000 peut aussi avoir des conséquences fatales. Si un médecin code par deux chiffres seulement l'année de naissance d'un enfant dans un programme qui détermine le dosage de médicaments, il risque d'administrer une dose recommandée pour un centenaire, probablement mortelle pour le nourrisson.

Voilà l'essence du bogue de l'an 2000 : on a mal codé les années, et les problèmes commencent à surgir dans tous les domaines. De nombreuses entreprises ont simplement

Quelques erreurs qui se sont déjà produites

La Société d'assurance-vie *Unum* a perdu 700 enregistrements d'une base de données de ses courtiers, parce qu'un ordinateur a confondu 00 et 1900.

Une centenaire, Mary Bandar, a reçu une convocation de la maternelle de Winona, au Minnesota.

En 1993, la Société *Boeing* a subi les conséquences d'une erreur dans un système de gestion des commandes : celles qui étaient planifiées sept ans à l'avance n'étaient pas enregistrées.

Dans une usine de la Société *Amway*, un système informatique commandant le mélange de produits chimiques a rejeté un lot de composés parce qu'il considérait que la date de péremption était 1900.

