

Les ballons planétaires

Les ballons ont été inventés et lancés en France en 1783 : aussi bien les ballons à air chaud, dus aux frères Montgolfier, que les ballons à gaz dus à Jacques Charles. Toute la physique des ballons était ainsi inventée dès le XVIII^e siècle. Toute la physique... sauf les matériaux plastiques, introduits par Jacques Piccard à l'Université de Minnesota dans les années 1950 et qui ont donné une nouvelle vie au «plus léger que l'air».

Dès sa création en 1962, le Centre national d'études spatiales, en France, a compris l'importance des ballons pour la recherche scientifique, aussi bien pour étudier l'atmosphère terrestre que pour porter des expériences au-dessus de cette atmosphère, et il s'est établi comme le spécialiste unique de leur emploi en Europe.

En 1967, nous avons proposé à l'Académie des sciences d'URSS de les utiliser dans le programme d'exploration planétaire, en commençant par Vénus. Après de nombreuses péripéties, l'idée s'est incarnée en 1985 par le vol réussi de deux ballons dans l'atmosphère de Vénus. Ces petits aérostats de 3,5 mètres de diamètre, fabriqués en URSS, ont été les premiers véhicules mobiles sur une planète autre que la Terre : en 46 heures, ils ont parcouru chacun 13 000 kilomètres dans les nuages d'acide sulfurique à 54 kilomètres d'altitude. La nacelle de sept kilogrammes qu'ils portaient, également de fabrication soviétique, contenait des instruments qui ont mesuré les principaux paramètres de l'atmosphère et d'en envoyer la valeur jusqu'à un réseau international de 20 stations réparties sur la surface de la Terre. Cet exploit extraordinaire n'a pas reçu l'applaudissement qu'il méritait : est-ce parce que la NASA n'y était pour rien ? Puis l'URSS s'est détournée de Vénus pour consacrer son programme

planétaire à Mars. Nous avons alors proposé d'inclure des vols de ballons dans le programme martien franco-soviétique, et cette proposition a été acceptée.

Mars n'est cependant pas une planète où il soit facile de faire voler un ballon, parce que l'atmosphère est très peu dense, et aussi parce que sa température varie notablement, entre le jour et la nuit. Le jour elle est chaude, la pression dans le ballon est élevée et risque de le faire exploser. La nuit elle est froide, le ballon perd sa force ascensionnelle et tombe. D'où la solution élégante qui avait été proposée d'utiliser une *guide-rope*, c'est-à-dire l'équivalent d'une corde pendant sous la nacelle et qui, au cours de la nuit, repose en partie sur le sol, soulageant ainsi le ballon : c'est la solution classique pour stabiliser un ballon à basse altitude, inventée peu après... 1783.

Sur Mars nous espérons porter une charge utile de 28 kilogrammes sur une distance de 3 000 à 4 000 kilomètres pendant dix jours, obtenir ainsi de nombreuses images à très haute résolution, mesurer le champ magnétique, détecter la présence de glace souterraine et déterminer la constitution minéralogique du sol...

Dès 1993 il a paru nécessaire de s'éloigner du programme russe en perdition et d'essayer de convaincre la NASA que les ballons devraient tenir une grande place dans l'exploration martienne. Cette double démarche s'est révélée habile, puisque la Russie a effectivement abandonné son programme martien et que la NASA envisage aujourd'hui d'utiliser des ballons martiens, peut-être dès 2003. Moins ambitieux que les nôtres ils auraient peut-être une durée de vie plus courte et ne comporteraient pas de *guide-rope*. Ils n'en feront pas moins un bon travail.

Jacques BLAMONT, CNES Paris

Les planétologues voudraient également explorer Titan, le plus gros des satellites de Saturne, car il est le seul corps du Système solaire qui conserve peut-être des composés chimiques organiques prébiotiques. Des réactions photochimiques, dans son atmosphère, créent une brume orange de matières organiques qui a caché sa surface lorsque la sonde *Voyager* l'a survolé, dans les années 1980. On pense que Titan possède de vastes océans d'hydrocarbures, ainsi que des surfaces solides. Son atmosphère, principalement constituée d'azote, est quatre fois plus dense que celle de la Terre, mais beaucoup plus froide (elle est juste assez chaude pour rester gazeuse). Là encore, des ballons seraient des plateformes d'exploration idéales. Des aérostats envoyés sur Titan pourraient effectuer de nombreuses descentes vers la surface pour prendre des images de près, pour faire *in situ* des mesures, des composés prébiotiques qui ren-

seigneraient sur l'origine de la vie. Un jour, même, une mission en ballon pourrait contribuer à rapporter vers la Terre des échantillons prélevés à la surface de Titan.

Avant d'effectuer toutes les explorations spatiales envisagées, les ingénieurs spatiaux devront surmonter des difficultés variées. La recherche de nouveaux matériaux pour les ballons, essentielle dans la mise au point de l'ULDB, sera encore plus importante pour les missions de recherche planétaire. Réalisé dans un tissu plus résistant, un ballon allégé emporterait des charges utiles supérieures. Les enveloppes devront également résister à des environnements extrêmes, telle l'atmosphère de Vénus, chaude et chargée d'acide sulfurique. Les instruments scientifiques emportés par les ballons devront être encore miniaturisés. Enfin, on devra apprendre à commander les ballons en consommant moins d'énergie.

On devra également perfectionner le largage de ballons sur les planètes éloignées. Sur la Terre, les ballons s'élèvent à partir du sol, mais, dans l'espace, le processus est inversé. Les véhicules spatiaux libèrent des ballons emballés dans des capsules qui supportent l'entrée dans l'atmosphère. Les ballons s'ouvrent et se gonflent ensuite, pendant la descente vers la surface de la planète.

Quel que soit l'environnement où ils évoluent, les ballons sont des engins utiles et peu coûteux.

Steve Smith et James Cutts étudient les ballons au Centre spatial Goddard de la NASA.

Observatories Balloon, in *The Astronomy and Astrophysics Encyclopedia*, pp. 494-503, Éditions Van Nostrand, 1992.

Jacques BLAMONT, *Vénus dévoilée*, Éditions Odile Jacob, 1987.

Les zeppelins du XXI^e siècle

KLAUS HAGENLOCHER

Les nouveaux zeppelins ne pourront s'enflammer, comme l'ont fait les anciens appareils. Leur structure est perfectionnée, et leur manœuvrabilité est supérieure.



Le 5 août 1908, la ville allemande d'Echterdingen célèbre la mise en service d'un zeppelin. L'élégant dirigeable semble incarner les promesses d'un nouvel âge, mais la catastrophe est quasi immédiate : le soir du voyage inaugural, une rafale de vent arrache le vaisseau de son hangar ; l'hydrogène qui emplit l'enveloppe du zeppelin est la proie des flammes. Le dirigeable est entièrement détruit.

Inébranlable, le comte Ferdinand von Zeppelin continue à construire ses appareils jusqu'à ce que plus d'une centaine d'entre eux aient démontré leur

aptitude au vol. Toutefois, l'explosion catastrophique du *Hindenburg*, en 1937, dans le New Jersey, la survenue de la Seconde Guerre mondiale et l'avènement des avions à réaction font abandonner les zeppelins. Le public peut encore apercevoir des dirigeables, constitués d'un fuselage simple gonflé, lors d'événements sportifs, mais les zeppelins plus complexes, à structures internes rigides soutenant l'enveloppe emplie de gaz, disparaissent... jusqu'au 8 août 1998.

Ce jour là, 90 ans après l'accident d'Echterdingen, presque jour pour jour,

la ville accueille à nouveau un zeppelin dans son ciel. Bien que semblable à ses ancêtres disparus, le nouvel engin est d'une conception nouvelle. Nommé LZ N07, il allie la grâce des anciens dirigeables à la modernité des avions les plus récents.

Retour à la planche à dessin

La renaissance des zeppelins est due à deux directeurs de la société fondée par Ferdinand von Zeppelin, la *Luftschiffbau Zeppelin* : à la fin des



années 1980, la société était spécialisée dans la fabrication d'antennes de radar et dans la construction d'équipements électroniques variés. Toutefois ses directeurs, Max Mugler et Heinz Kollmann, pensent alors que des aérostats modernes pourraient être utilisés par la publicité, le tourisme ou la protection de l'environnement. Des ingénieurs et des chercheurs de plusieurs divisions sont regroupés en une petite équipe, soustraite aux influences extérieures, unie dans la poursuite d'un seul et même but : l'étude de zeppelins modernes

et l'évaluation de leur intérêt commercial.

Un examen des volumineuses archives de la Société *Luftschiffbau Zeppelin* guide les décisions en matière de conception. Inflammable, l'hydrogène est clairement à proscrire ; il sera remplacé par l'hélium, gaz ininflammable. De plus, nous pensons immédiatement que le dirigeable doit conserver une aptitude au vol même en cas de chute de pression dans l'enveloppe, et qu'aucun lest ne doit être jeté par dessus bord : un dirigeable délesté est plus léger, de sorte qu'il est sensible aux turbulences.

L'aérostat doit donc avoir une masse constante et stable.

Nous imposons également que le personnel nécessaire à la navigation soit plus réduit que celui des zeppelins de jadis : il fallait plus de 15 personnes pour attraper l'objet volant et le tirer vers le sol, lors de l'atterrissage. L'opération est pénible, parfois dangereuse, et les frais de personnel grèvent lourdement l'exploitation de l'engin. Nous voulons que le nouveau zeppelin vole avec un équipage de trois ou quatre personnes seulement. Enfin, pour intéresser

des clients, le nouveau zeppelin doit avoir des performances bien supérieures à celles des anciens dirigeables : il doit être plus rapide, capable de voler dans des conditions météorologiques plus difficiles, moins bruyant, et plus facile à piloter.

En 1990, le groupe d'étude achève la conception des nouveaux modèles. Avec l'accord de la direction, nous entreprenons alors la construction d'un petit prototype. Lorsque ce zeppelin de dix mètres de long passe les phases de qualification au vol, au printemps 1991, de nouveaux problèmes se posent, qui nécessitent d'autres recherches et la mise au point de nouvelles techniques aéronautiques.

Notamment nous devons apprendre à effectuer des calculs aujourd'hui classiques pour les avions : l'évaluation des forces aérodynamiques, la détermination des contraintes et la prévision de l'électronique embarquée, pour plusieurs types de modèles. Nous savons que l'informatique nous aidera à perfectionner considérablement la conception des zeppelins, mais nous manquons d'informations théoriques : depuis la fin des recherches sur les dirigeables, en 1940, aucun progrès scientifique ou technique n'est inter-

venu. Nous cherchons alors des programmes informatiques capables de calculer les contraintes qui s'exercent au cours des diverses manœuvres... En vain : nous devons créer nos propres théories de la conception de zeppelins.

Deux mathématiciens de notre groupe récupèrent d'abord tout ce qui peut être utile, dans les publications. En collaboration avec des membres de l'Institut d'aérodynamique et de dynamique des gaz de l'Université de Stuttgart, ils construisent des programmes pour prévoir le comportement de l'engin. La tâche est compliquée, parce que la forme de cigare du zeppelin grandeur nature n'est pas la même que celle des prototypes plus petits, utilisés pour des essais préliminaires en soufflerie ; en outre, les comportements des petits prototypes et ceux de l'engin final diffèrent. Par exemple, l'écoulement de l'air sur le vaisseau lors des virages est difficile à calculer, même après des essais en soufflerie (les avions sont plus faciles à modéliser, car les versions réduites, pour les études de soufflerie, sont une approximation raisonnable des modèles plus grands). Notre zeppelin grandeur nature, le modèle LZ N07, est construit sur la base de nos calculs initiaux, mais

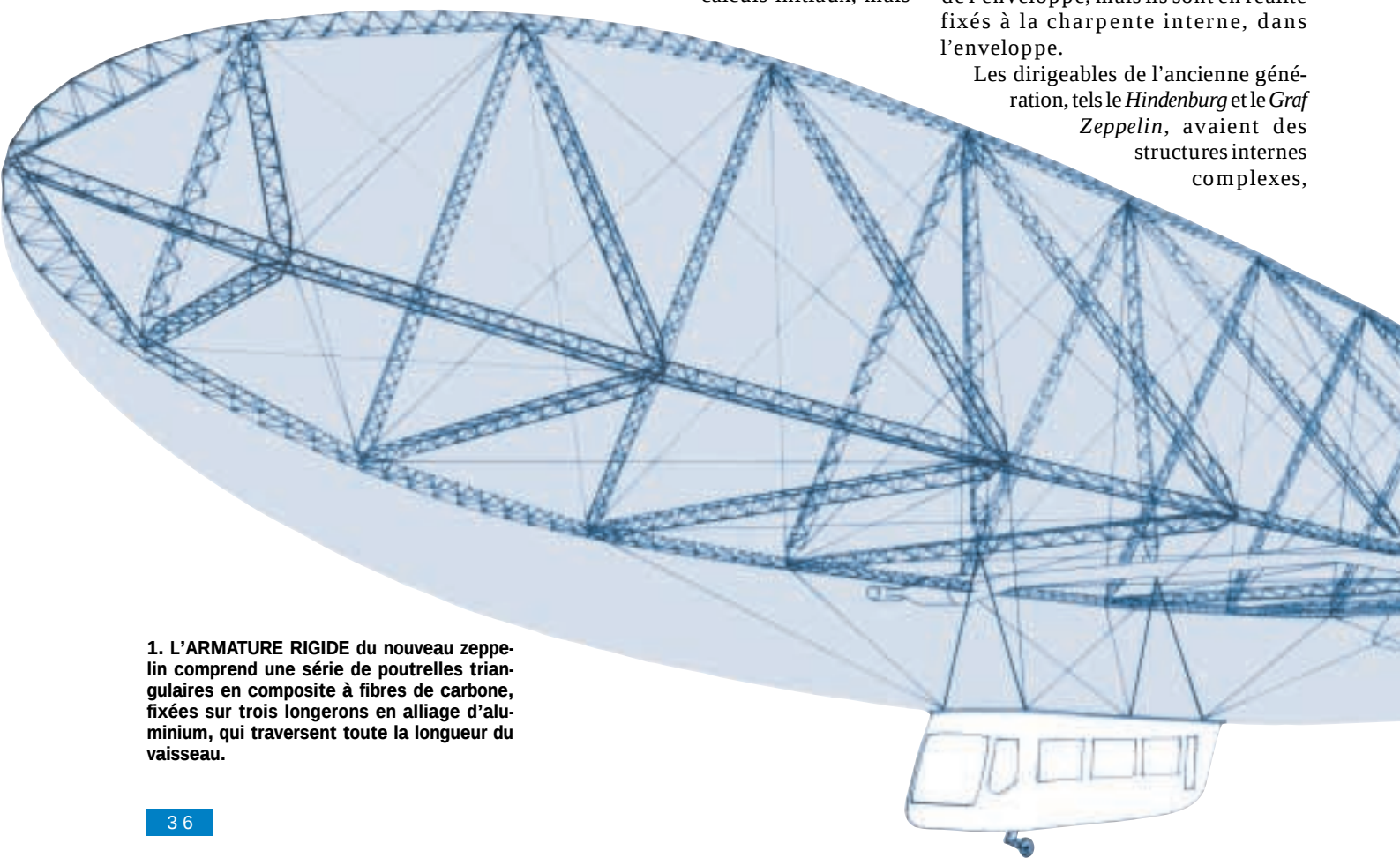
chaque nouvelle heure de vol (il en a aujourd'hui 400) est l'occasion d'enregistrer des données pour améliorer les programmes et les futurs modèles.

Depuis septembre 1993, la Société *Zeppelin Luftschifftechnik* construit des zeppelins de notre conception et dépose des brevets pour protéger les nombreuses inventions qui permettront à des dirigeables modernes de prendre leur envol. Tous les zeppelins des futures flottes seront nommés «zeppelins NT» (NT est le sigle de «nouvelle technique») ; chacun sera identifié par un numéro, qui indiquera le volume de gaz emprisonné dans l'enveloppe ; par exemple, le LZ N07 contenait initialement 7 000 mètres cubes de gaz (mais nous avons ensuite porté sa capacité à 8 200 mètres cubes).

Le corps d'une nouvelle machine

L'armature interne qui distingue un zeppelin d'un simple ballon donne des possibilités de vol supérieures. Par exemple, on peut fixer des moteurs en des endroits plus propices que sur la seule nacelle : la manœuvrabilité s'en trouve augmentée, et le bruit réduit. Les moteurs des nouveaux zeppelins paraissent être attachés à l'extérieur de l'enveloppe, mais ils sont en réalité fixés à la charpente interne, dans l'enveloppe.

Les dirigeables de l'ancienne génération, tels le *Hindenburg* et le *Graf Zeppelin*, avaient des structures internes complexes,



1. L'ARMATURE RIGIDE du nouveau zeppelin comprend une série de poutrelles triangulaires en composite à fibres de carbone, fixées sur trois longerons en alliage d'aluminium, qui traversent toute la longueur du vaisseau.



2. LE COCKPIT des nouveaux zeppelins (à gauche) comporte des instruments de navigation modernes, ainsi que des systèmes électroniques de commande des systèmes de vol. La queue (à droite)



Avec l'aimable autorisation de ZF Friedrichshafen AG

est munie d'une hélice arrière qui pivote vers le bas de 90 degrés et fait monter le vaisseau, ainsi qu'une hélice latérale pour faire décrire au zeppelin un cercle dont le centre est le nez de l'appareil.

qui supportaient leur masse considérable : avec 245 mètres de long et 41 mètres de diamètre, chacun avait un volume de 200 000 mètres cubes. Trente-six poutres allongées, ou longerons, traversaient l'appareil du nez à la queue, et des pièces annulaires, tous les cinq mètres, servaient de renforts. Nous avons voulu une forme beaucoup plus aérodynamique, avec une structure interne plus légère et moins coûteuse, pour rigidifier des engins de 75 mètres de long. L'allègement de la structure

interne avait un autre avantage : les risques de casse sont réduits, en cas d'atterrissage mouvementé.

Dans le LZ N07, le squelette complexe des anciens zeppelins

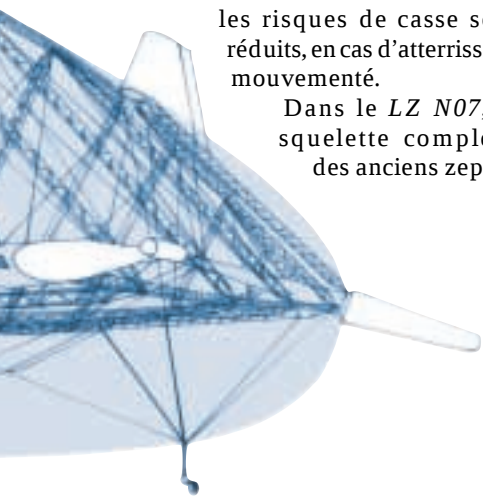
est donc remplacé par une simple structure triangulaire, constituée de trois longerons en alliage d'aluminium et de 12 ensembles de poutrelles légères et résistantes, en composites à fibres de carbone. Cette structure ne rigidifie l'engin que selon sa longueur. La rigidité radiale est assurée par la pression du gaz. Tous les composants externes, tels les moteurs, la nacelle, les surfaces de commande, comme les ailerons et les gouvernes de direction, sont fixés sur la charpente.

L'enveloppe est un tissu multicouche qui est fixé aux trois longerons et entoure à la fois l'hélium et des ballonnets, des compartiments que l'on remplit d'air à volonté. Ces ballonnets peuvent capter de l'air extérieur ou en relâcher, pour maintenir une pression constante à l'intérieur de l'enveloppe durant l'ascension ou la descente. Leur positionnement à l'avant et à l'arrière permet également une régulation de l'assiette, par pompage d'air du ballonnet arrière vers le ballonnet avant, par exemple, ce qui abaisse le nez de l'appareil par rapport à la queue.

Les nouveaux zeppelins sont légèrement pressurisés : la pression de l'hélium et de l'air des ballonnets est

supérieure d'environ quatre pour cent à la pression atmosphérique. Ce maintien d'une faible surpression est un facteur de sécurité. Si la pression à l'intérieur de l'enveloppe était trop élevée, la moindre perforation conduirait à la catastrophe, comme lorsqu'une aiguille fait exploser un ballon. Avec une surpression faible, la même perforation ne provoque qu'une petite fuite du gaz interne, de sorte que le pilote a largement le temps de faire atterrir l'appareil. Dans le LZ N07, la charpente et l'enveloppe s'épaulent mutuellement : l'enveloppe subsisterait même si la charpente se rompait, et cette dernière assurerait une certaine aptitude au vol en cas de chute de pression à l'intérieur de l'enveloppe.

Afin d'augmenter la manœuvrabilité, nous avons équipé les dirigeables de trois moteurs. Deux sont installés respectivement à gauche et à droite du fuselage, juste devant le centre de portance. Ces deux moteurs entraînent des hélices basculantes (l'angle maximal de basculement atteint 120 degrés). Le troisième moteur entraîne une hélice de queue, qui bascule également, mais seulement de 90 degrés ; il entraîne également une petite hélice latérale qui



Lee Dumette

peut pousser l'arrière du vaisseau sur les côtés. Ainsi le zeppelin pivote autour de son nez. Enfin des systèmes hydrauliques font pivoter les pales des quatre hélices, de sorte que chacune assure aussi bien une marche avant qu'une marche arrière.

Les capots de tous les moteurs, en fibres de carbone, réduisent le bruit, tout comme les systèmes de transmission, qui transforment les 2 750 tours par minute des moteurs en une rotation des hélices de 1 250 tours par minute : les moteurs ont un meilleur rendement à vitesse élevée, mais les longues pales des hélices produisent une poussée suffisante à la vitesse inférieure.

L'excellente manœuvrabilité du nouveau zeppelin, qui décolle et atterrit presque verticalement, limite le personnel au sol, comme nous l'avions souhaité. Un camion équipé d'un mât télescopique qui s'élève jusqu'à 12 mètres de haut amarre le dirigeable. Le chef de l'équipe au sol saisit un câble

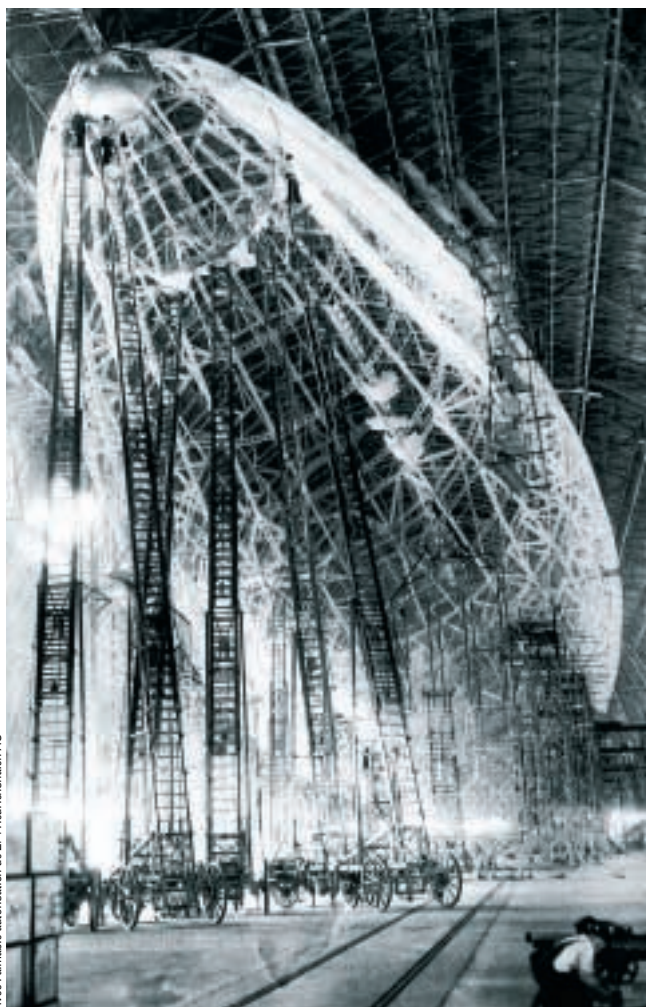
attaché au nez du vaisseau et l'accroche à un treuil fixé sur le mât. Aucun autre contact physique par câble n'est nécessaire. Le treuil tire le vaisseau vers le mât, qui redescend ensuite au niveau du sol. Le chef d'équipe, le conducteur du camion et l'opérateur du treuil composent l'ensemble de l'équipe d'assistance au sol.

Lancement d'un dirigeable

Le cockpit du nouveau zeppelin n'a rien à envier aux avions les plus modernes. Pourtant un pilote de dirigeable des années 1930 serait probablement à l'aise dans le nouvel appareil. Naguère le pilote actionnait des manches ou des manettes, qui tiraient ou poussaient des câbles fixés directement aux gouvernes de direction ou de profondeur, ou qui augmentaient ou réduisaient la puissance des moteurs. Le système moderne de commandes de vol a la même appa-

rence, mais il fonctionne différemment. Bien que le manche du nouveau vaisseau ait le même type de fonctions, l'ancien pilote serait surpris par le déplacement souple du manche. La facilité de fonctionnement s'explique par les nouveaux organes internes du système de commande : les câbles ont été remplacés par des systèmes électroniques. Le mouvement du manche produit des signaux numériques qui commandent au gouvernail de pivoter, par exemple. Plutôt que d'actionner en force des câbles, les actions du pilote sur le manche ressemblent à celles du jeu vidéo *Zeppelin Aviator 1.0*.

Des affichages à cristaux liquides indiquent l'état de toutes les fonctions du dirigeable : la position de chaque gouverne de direction et de profondeur, le pas des pales pour chaque hélice... Le cockpit comprend également un écran radar météorologique, un système GPS de positionnement par



Avec l'aimable autorisation de ZF Friedrichshafen AG

3. LA STRUCTURE DES NOUVEAUX ZEPPELINS (à droite) n'a plus rien à voir avec celle des anciens modèles. À gauche, on voit le *Macon*, un engin de la marine américaine d'avant la Seconde Guerre



mondiale. Le squelette simple du LZ N07 joue le même rôle que l'ancienne structure interne du *Macon* qui mesurait 240 mètres de long.

satellite et un système électronique d'informations de vol. Ce dernier intègre un petit tableau qui donne les principales informations nécessaires à la navigation : cap, vitesse, vitesse verticale, altitude, inclinaison longitudinale, inclinaison latérale. Les pilotes sont assis à l'avant de la nacelle, qui accueille jusqu'à 12 passagers pour des croisières à des vitesses atteignant 130 kilomètres par heure.

Le premier vol du nouveau zeppelin a eu lieu le 18 septembre 1997, 69 ans exactement après celui du *Graf Zeppelin*. Le voyage inaugural de 47 minutes du *LZ N07* débuta sur un parc de stationnement proche de son hangar de construction, un hall d'exposition de la ville de Friedrichshafen. Tous les habitants de la ville semblaient s'être rassemblés pour assister à cet événement historique, augmentant la nervosité de l'équipe qui avait consacré huit ans d'ingéniosité et d'efforts au projet du nouvel engin. Celui-ci s'est élevé avec bien moins de bruit et de fumée qu'une fusée *Saturne V*, mais nos réactions étaient tout aussi enthousiastes que celles des équipes qui ont en charge la mise en orbite de satellites, après un lancement réussi.

Le vaisseau *LZ N07* aura bientôt un frère jumeau. Aujourd'hui, des clients ont commandé cinq zeppelins : quatre pour de la publicité et du tourisme, et un pour des études scientifiques. Grâce à ce succès, nous envisageons aujourd'hui de construire des dirigeables plus grands, selon les mêmes techniques. Bien que des vaisseaux de taille intermédiaire soient d'abord au programme, le *LZ N20*, avec 50 places pour des passagers, est également envisagé. Dans un avenir proche, des milliers de personnes pourront goûter aux joies de l'expérience touristique la plus «flottante» de leur vie, en glissant sereinement au-dessus de splendides paysages, dans la cabine d'un zeppelin du XIX^e siècle.

Klaus HAGENLOCHER dirige la Société *Zeppelin Luftschifftechnik*.

Harold G. DICK et Douglas H. ROBINSON, *Golden Age of the Great Passenger Airships; Graf Zeppelin and Hindenburg*, Smithsonian Institution Press, 1992.

William GARVEY, *Company Town*, in *Air & Space Smithsonian*, vol. 11, n° 6, pp. 60-67, février-mars 1997.

Une nouvelle rencontre de la science et de l'art.



LES SECRETS DE LA CASSEROLE

Comment préparer plus de 20 litres de mayonnaise à partir d'un seul jaune d'œuf ? En explorant la physique des émulsions. Comment obtenir un bon rôti ? En empruntant à la chimie ses études des sucres et des acides aminés. Comment obtenir de bonnes gelées ? En reprenant les résultats récents de la physico-chimie des gels. Code 1585-130 F 224 pages



RÉVÉLATIONS GASTRONOMIQUES

Encore un livre de recettes ! Oui, mais des recettes garanties par des expérimentations rigoureuses, par des analyses physico-chimiques des aliments et des tours de main culinaires. Chaque geste culinaire est ici disséqué, commenté du triple point de vue culinaire, physico-chimique et gastronomique. Code 1756-130 F 320 pages

Ces deux ouvrages ont obtenu le Prix de l'Académie nationale de Cuisine 1997.

LA CASSEROLE DES ENFANTS

Laissés seuls pour la soirée, deux enfants doivent cuisiner leur dîner. Mais leur sens aigu de l'observation et de l'expérimentation leur fait découvrir les bases de la chimie et de la physique. Ce livre pourrait être un manuel, s'il n'évoquait les molécules et leurs transformations de façon si simple et si amusante.

Code 2309-80 F-128 pages



BELIN

Voir bon de commande page 98

Le ballon qui a fait le tour du monde

PHIL SCOTT

Pour faire le tour du monde en ballon, les ingénieurs ont tourné une page de l'histoire de l'aéronautique.



Que faire de mieux qu'aller sur la Lune? Le XX^e siècle s'achevait, mais personne n'avait effectué le tour du Globe en ballon, sans escale. En 1978, les aéronautes avaient réussi à traverser l'océan Atlantique en ballon ; puis, en 1981, ils avaient vaincu le Pacifique. Contrairement à la course à la Lune, le tour du monde en ballon ne pouvait être une lutte entre superpuissances : imagine-t-on Bill Clinton ou Léonid Brejnev mobilisant les énergies de leur pays pour ce but? Aussi, depuis deux décennies, ce sont des aventuriers et des milliardaires qui ont travaillé pour préparer la plus

longue traversée en ballon jamais effectuée. Finalement, au mois de mars 1999, les deux aéronautes Bertrand Piccard et Brian Jones ont fait le tour du monde à bord du *Breitling Orbiter 3*.

Cet engin est bien moins complexe que le module lunaire ou, même, qu'un avion à réaction classique, mais il est bien plus élaboré que les poires en nylon multicolore qui sont attachées à des paniers d'osier, dans les fêtes régionales. Il est également bien plus perfectionné que les ballons de compétition, qui ont une hauteur qui atteint 18 mètres, et qui contiennent 2 550 mètres cubes de gaz chauffé par

un brûleur à propane. Ces derniers embarquent assez de carburant pour assurer un vol paisible pendant deux heures, portés par le vent. Des ballons plus gros tiennent en l'air plus longtemps, mais, chaque nuit, l'enveloppe se refroidit et se contracte, de sorte que les aéronautes doivent jeter, sous forme de lest, 10 à 20 pour cent de la masse brute du ballon et du carburant. La durée de vol est alors limitée à huit jours, ce qui est bien insuffisant pour faire un tour du monde (soit au minimum 38 600 kilomètres).

Pour mettre au point un ballon qui subsiste dans les airs pendant environ

1. LE BREITLING ORBITER 3 survole les Alpes après avoir décollé de Château-d'Oex, en Suisse, le 1^{er} mars 1999.



trois semaines, les ingénieurs ont repris une idée des pionniers de l'aérostation. Vers la fin de 1783, quelques jours seulement après le premier vol de François Pilâtre de Rozier et du marquis d'Arlandes à bord d'un ballon à air chaud, Jacques Charles a volé avec un ballon empli d'hydrogène. Un an et demi après, Pilâtre de Rozier veut traverser la Manche dans un ballon hybride, avec une poche d'air chauffé à la flamme et une cellule emplie d'hydrogène. Il devient rapidement la première victime de l'aérostation.

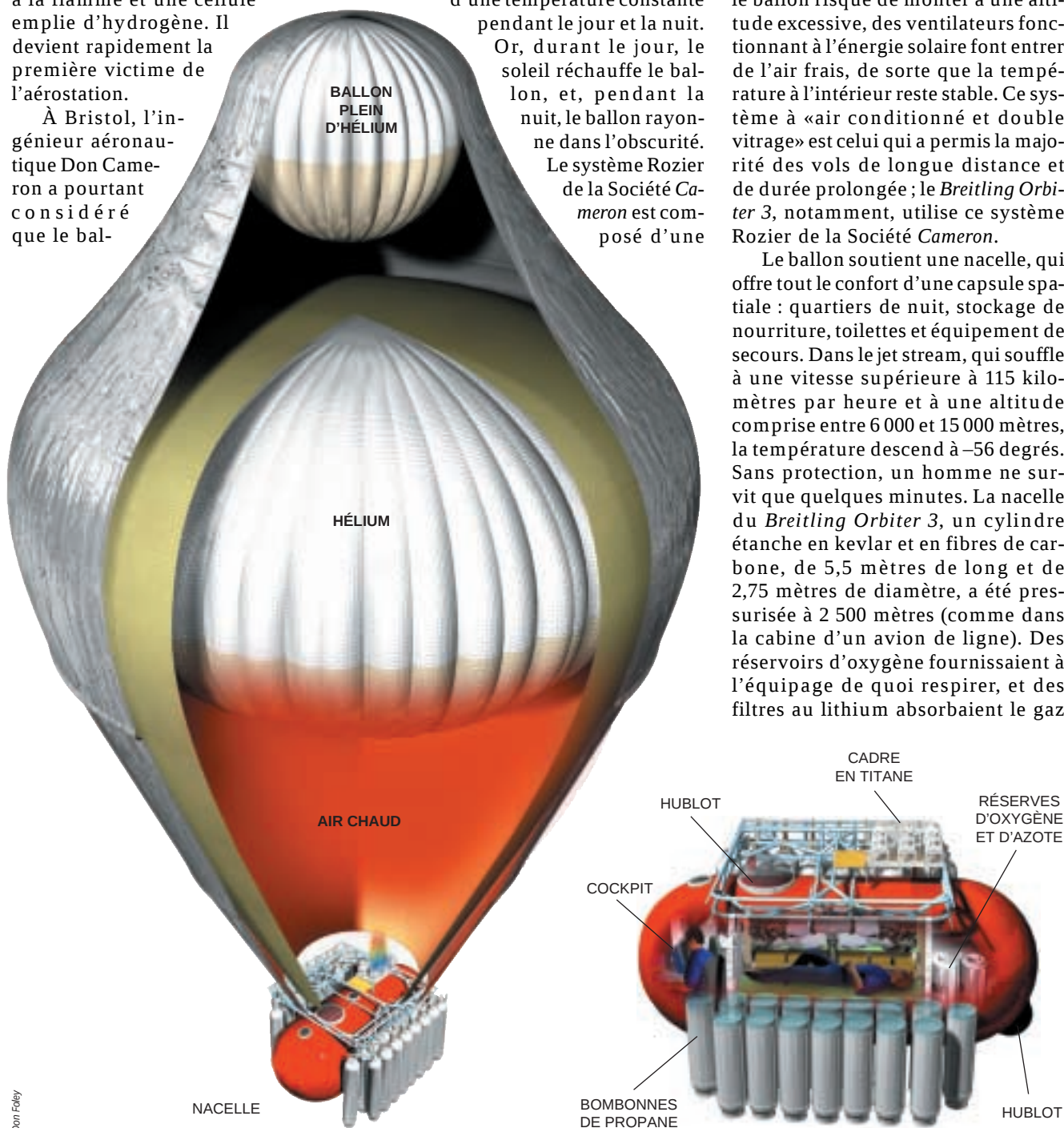
À Bristol, l'ingénieur aéronautique Don Cameron a pourtant considéré que le bal-

lon hybride était prometteur. Avec son équipe, spécialisée dans la fabrication de ballons de compétition, il a compris que, contrairement à l'air, un gaz léger comme l'hydrogène ou l'hélium reste léger sans consommation de carburant, bien qu'il se dilate quand on le chauffe, et se contracte quand il refroidit. Comment utiliser au mieux de tels gaz ? Le secret d'un vol prolongé est le maintien d'une température constante pendant le jour et la nuit.

Or, durant le jour, le soleil réchauffe le ballon, et, pendant la nuit, le ballon rayonne dans l'obscurité. Le système Rozier de la Société Cameron est composé d'une

cellule d'hélium au-dessus d'un cône renversé d'air chauffé au propane. Pour monter, les aéronautes chauffent le cône d'air, qui transmet la chaleur à l'hélium et le dilate. L'enveloppe externe du ballon est constituée de deux couches, et l'espace mort entre les deux réduit de 50 pour cent la perte de chaleur pendant la nuit. Durant le jour, le Soleil prend le relais pour chauffer l'hélium, mais, quand le ballon risque de monter à une altitude excessive, des ventilateurs fonctionnant à l'énergie solaire font entrer de l'air frais, de sorte que la température à l'intérieur reste stable. Ce système à «air conditionné et double vitrage» est celui qui a permis la majorité des vols de longue distance et de durée prolongée ; le *Breitling Orbiter 3*, notamment, utilise ce système Rozier de la Société Cameron.

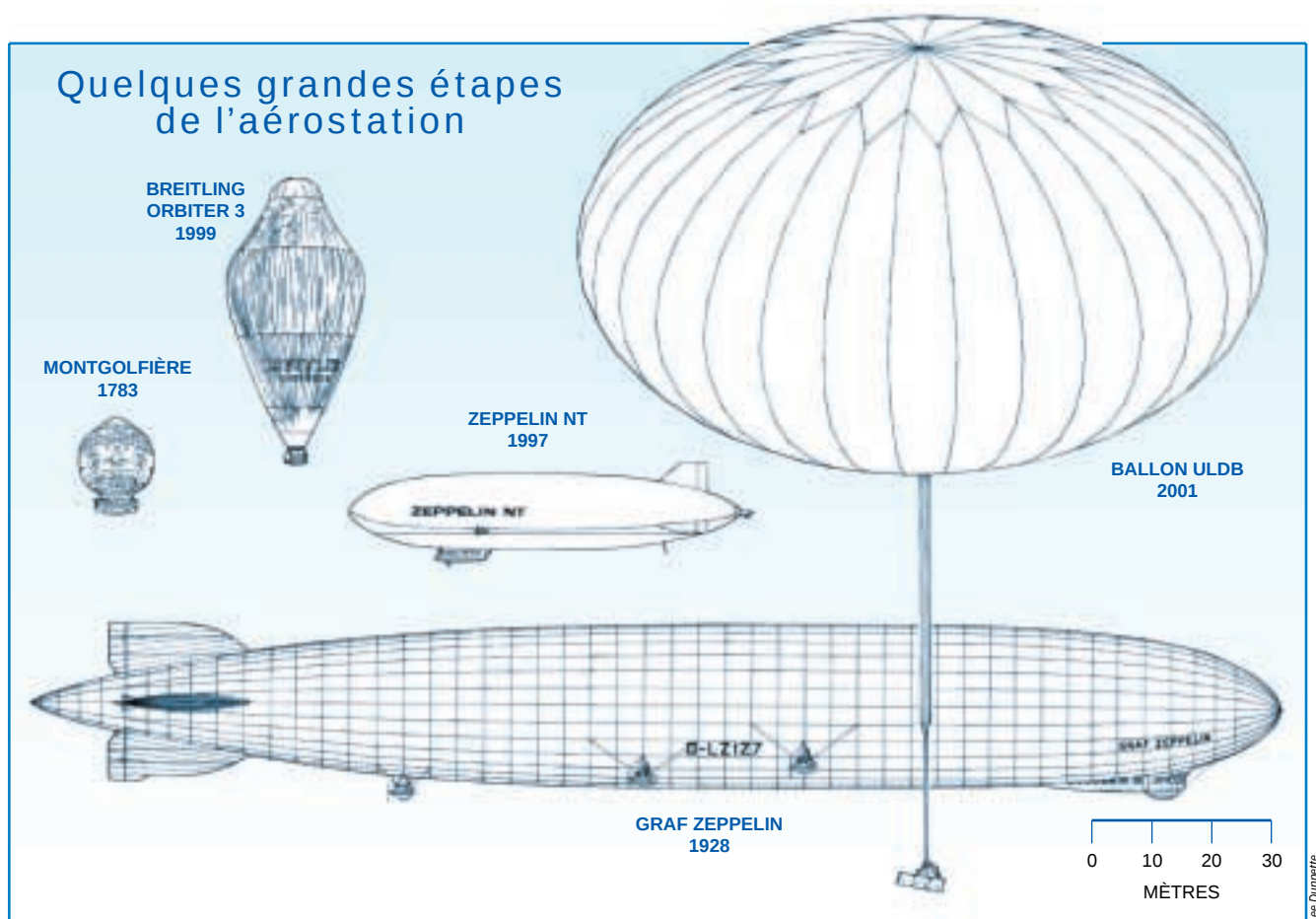
Le ballon soutient une nacelle, qui offre tout le confort d'une capsule spatiale : quartiers de nuit, stockage de nourriture, toilettes et équipement de secours. Dans le jet stream, qui souffle à une vitesse supérieure à 115 kilomètres par heure et à une altitude comprise entre 6 000 et 15 000 mètres, la température descend à -56 degrés. Sans protection, un homme ne survit que quelques minutes. La nacelle du *Breitling Orbiter 3*, un cylindre étanche en kevlar et en fibres de carbone, de 5,5 mètres de long et de 2,75 mètres de diamètre, a été pressurisée à 2 500 mètres (comme dans la cabine d'un avion de ligne). Des réservoirs d'oxygène fournissaient à l'équipage de quoi respirer, et des filtres au lithium absorbaient le gaz



2. L'INTÉRIEUR du *Breitling Orbiter 3*. Le ballon a une configuration hybride de type Rozier (à gauche) : le petit ballon gonflé à l'hélium, au sommet, soutient la «tente» qui isole la grosse cellule gonflée à l'hélium. Dans la nacelle étanche, l'équipage vivait à l'étroit : Bertrand Pic-

card et Brian Jones dormaient à tour de rôle sur l'unique couchette. Les réservoirs d'oxygène et d'azote étaient logés à l'arrière, tandis que le cockpit abritait les quelques instruments indispensables et les radios. Les aéronautes ne voyaient l'extérieur que par les hublots.

Quelques grandes étapes de l'aérostation



Lee Dumette

carbonique expiré. En cas de perte de pression dans la cabine, l'équipage pouvait la repressuriser grâce à une réserve d'azote embarquée.

L'instrumentation était minimale : deux radios VHF dans la bande aéronautique et deux radios HF ondes courtes permettaient des communications avec les tours de contrôle de la circulation aérienne ; le système *Inmarsat C* transmettait des messages tapés au centre de contrôle de la mission ; le système *Inmarsat M* transmettait des messages oraux ; des récepteurs GPS couplés à *Inmarsat C* indiquaient la position de l'engin, tandis que des altimètres indiquaient l'altitude ; enfin l'équipage disposait d'indicateurs de vitesse verticale et des commandes du brûleur.

Un engin qui est livré aux vents n'effectue une circumnavigation comme celle qui a été réalisée que si l'équipage a beaucoup de chance. Aux cours des dernières années, chaque hiver (toutes les circumnavigations en ballon commencent en hiver, lorsque le jet stream est à son maximum), plusieurs équipes se sont préparées au lancement, mais la palme de la persévérance est revenue à

l'Américain Steve Fossett. Sa carrière d'aéronaute du tour du monde a commencé en janvier 1995, lorsqu'il pilota un ballon de type Rozier de Séoul à la Saskatchewan, portant le record du monde de distance à 9 878 kilomètres. Début 1996, il décolla du Dakota du Sud, mais se posa peu après, car l'enveloppe externe de son ballon commençait à se déchirer. En 1997, son *Solo Spirit* le mena de Saint-Louis jusqu'en Inde (16 674 kilomètres), où il atterrit faute de carburant. Puis, en 1998, il vola du Missouri jusqu'à Krasnodar, en Russie (11 748 kilomètres). Au mois d'août de la même année, il refit une tentative, en partant de l'hémisphère Sud, mais, cette fois, son ballon se brisa au cours d'un orage, et il finit sa course dans l'océan. En 1998, Richard Branson, le milliardaire qui possède la Société *Virgin*, offrit à S. Fossett une place dans son *ICO Global Balloon*, mais cette tentative se termina également par manque de carburant, après 21 450 kilomètres.

D'autre part, l'équipage du *Breitling Orbiter*, commandé par B. Piccard, abandonna sa tentative de circumnavigation après six heures de vol, en

1997 : un petit collier de serrage céda et provoqua l'inondation de la nacelle par le carburant. En janvier 1998, B. Piccard commandait le *Breitling Orbiter 2*, qui quitta la Suisse et atteignit le Myanmar (Birmanie), mais les Chinois refusèrent au ballon l'autorisation d'entrer dans leur espace aérien. Au mois de mars 1999, le *Breitling Orbiter 3*, piloté par B. Piccard et son copilote B. Jones, réalisa l'exploit attendu : le vol, de 42 714 kilomètres, a duré 19 jours 1 heure et 49 minutes.

Quel record battre, maintenant ? Un équipage féminin envisage de refaire le tour du monde, en 2001, et la Fédération aéronautique internationale prépare une course autour du monde en ballon. Il reste également à battre le record d'altitude, établi en 1961 par Malcolm Ross et Victor Prather : ces derniers avaient atteint 34 668 mètres !

Phil SCOTT est spécialiste d'aéronautique.

Phil SCOTT, *The Pioneers of Flight : A Documentary History*, Princeton University Press, 1999.

Six milliards d'hommes sur Terre

MALCOLM POTTS

Dans beaucoup de pays, la population accède trop difficilement à la contraception. Si l'on ne prévient pas la crise démographique, de graves problèmes d'environnement et de santé publique surgiront au XXI^e siècle.

En novembre 1999, six milliards d'individus vivaient sur la Terre. Le dernier milliard s'est ajouté aux cinq autres en seulement 12 ans. Le passage du nouveau cap est l'occasion de faire le point sur les tendances démographiques actuelles. Dans l'ensemble du monde, le

nombre moyen d'enfants par femme n'a cessé de diminuer depuis 30 ans : de presque 6, il est passé à 2,9. Toutefois, ceux qui pensent que la surpopulation ne menace plus notre planète se trompent : la population mondiale croît au rythme de 78 millions d'individus supplémentaires

1. CE BATEAU transporte des contraceptifs envoyés par une organisation internationale. Ils seront vendus à faible prix sur les marchés du Bangladesh.



par an, ce qui correspond au nombre d'habitants de l'Allemagne. De surcroît, comme les familles nombreuses étaient courantes jusqu'à une époque récente, de nombreux pays ont une population jeune, qui augmentera beaucoup. En raison de cette pyramide des âges, la croissance restera rapide au cours des prochaines décennies.

Les pays en développement, où les contraceptifs ne sont pas ou sont très peu distribués, seront les plus touchés. Avec leurs insuffisantes infrastructures médicales, financières et scolaires, manquant d'eau et de nourriture, les populations de ces pays seront dans la misère. La qualité de vie et la taille de la popu-

lation mondiale dépendront donc de la rapidité avec laquelle l'humanité jugulera la croissance démographique.

Chaque jour, plus de 400 000 enfants sont conçus de par le monde, mais dans plus de la moitié des cas, les grossesses sont involontaires. Dans 50 pays à bas revenus, des enquêtes ont montré que le nombre d'enfants souhaités par chaque femme était inférieur au nombre d'enfants qu'elles mettaient effectivement au monde. Quand j'étais obstétricien, à Londres, dans les années 1960, je demandais aux mères qui venaient d'accoucher : «Quand pensez-vous avoir un autre bébé?» Beaucoup répondaient : «Docteur,