

GPS: un système de navigation révolutionnaire

Autor(en): **Weibel, Jean-Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **121 (1995)**

Heft 9

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78592>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

GPS: un système de navigation révolutionnaire

Par Jean-Pierre Weibel, rédacteur en chef

Où suis-je? Où vais-je?

Les hommes se sont déplacés durant des millénaires à l'aide de références visuelles – naturelles ou créées par eux aux fins d'orientation. L'émergence de la navigation en mer a exclu le recours à ces références, dès que l'on s'est éloigné des côtes, que l'on a navigué de nuit ou par visibilité restreinte.

Le soleil et les étoiles ont alors permis de développer, grâce à des siècles d'observation de ces astres et à la compréhension des lois régissant leur mouvement apparent, des méthodes de navigation affinées au fil des siècles. Les instruments de base utilisés à cet effet ont été le sextant, le compas magnétique et un garde-temps précis, les mouvements des astres étant consignés dans les tables de navigation.

L'observation de la nature a fourni à certains peuples d'autres systèmes de référence; c'est ainsi que les Micronésiens, qui pratiquaient couramment la navigation au long cours, ont développé un abaque matérialisant l'orientation des vagues résultant des perturbations provoquées par les îles.

Alors que la vitesse modeste des bateaux laissait le temps aux marins de vérifier, voire de répéter mesures et calculs, l'aviation a exigé de la part des navigateurs une détermination précise et rapide de leur position: une erreur de cap minime, lors d'une traversée du Pacifique par exemple, conduit à manquer sa destination, s'il s'agit d'une petite île!

L'application de la radio a répondu à cette exigence, de façon toujours plus élaborée. Rappelons-en brièvement quelques étapes, en nous bornant à la navigation proprement dite et en excluant les aides à l'atterrissage, destinées à fournir un guidage précis au cours de la dernière phase du vol.

Le radiogoniomètre, permettant de déterminer le gisement d'un

avion par rapport à un émetteur, constitue une méthode vulnérable aux perturbations atmosphériques. Le redoutable effet de crépuscule a été fatal à plus d'un équipage, avant-guerre, en faussant les relèvements goniométriques. L'électronique moderne, en automatisant ces relèvements et en offrant des appareils de faibles dimensions à coût modeste, a mis le radiocompas à la portée de l'aviation générale, sans pour autant l'affranchir des contraintes météorologiques ou d'autres perturbations, du fait qu'il travaille avec des ondes à moyenne fréquence.

Les systèmes basés sur les interférences entre les ondes émises par des émetteurs fixes, tissant un réseau invisible de guidage, comme par exemple le *Loran*,

couvrent une grande partie du globe.

Les radiophares omnidirectionnels à très haute fréquence *VOR* ont doté l'aviation d'un moyen de navigation à courte et moyenne distance précis et bon marché. Revers de la médaille: une portée relativement faible, qui exclut son utilisation au-dessus des océans, et l'exigence d'une propagation linéaire des ondes, les montagnes constituant pour elles un obstacle infranchissable.

Les plates-formes à inertie (*INS*) permettent, à partir d'un point dont les coordonnées leur sont connues, de déterminer avec une très grande précision la position de l'avion. Ici également, la médaille a un revers, soit un coût d'achat et d'entretien très

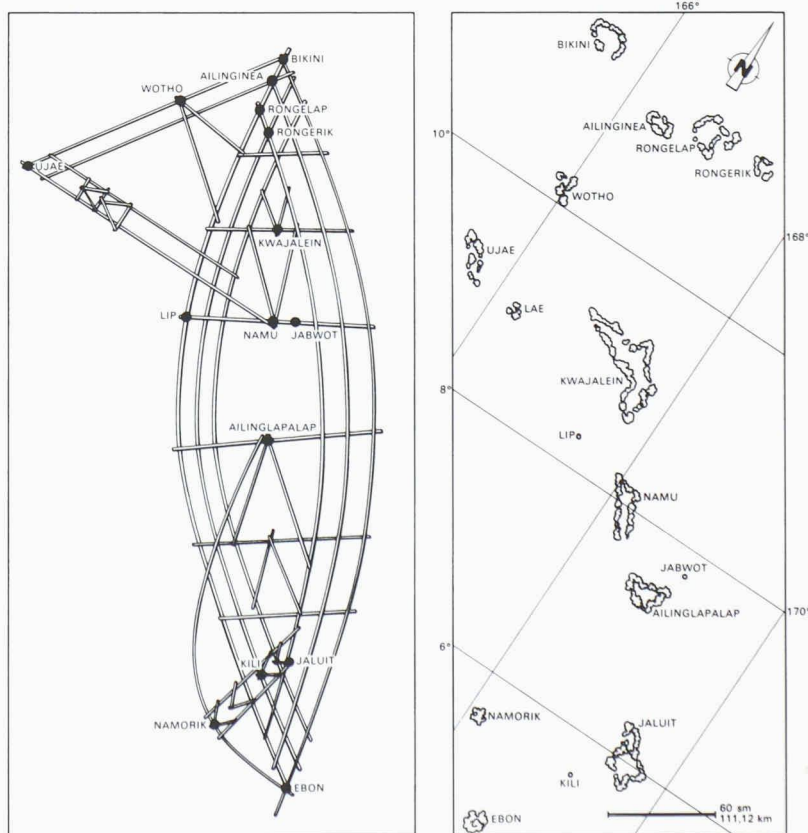


Fig. 1. – Les Polynésiens et les Micronésiens ont pratiqué la navigation diurne au long cours avec des moyens originaux. C'est ainsi que les habitants des îles Marshall utilisaient jusqu'au début de ce siècle des abaques où les atolls sont représentés par des coquillages; un réseau figurant les directions des vagues induites par interférence avec les atolls détermine la position respective de ces derniers. A gauche, représentation schématisée de l'abaque, à droite, une carte «normale» de la région concernée.

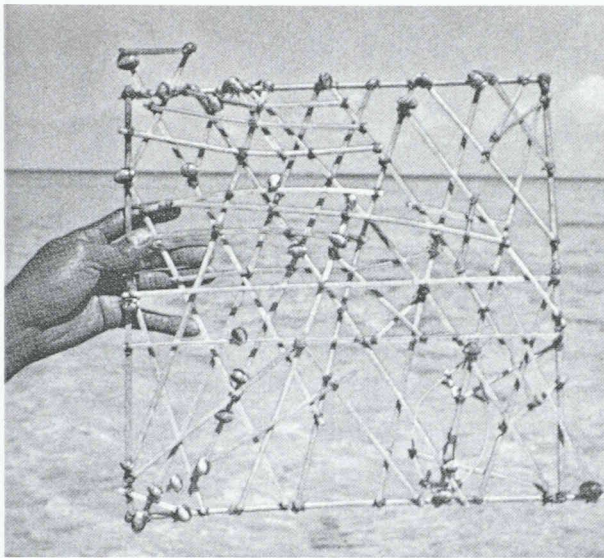


Fig. 2. – Voilà comment se présente en pratique un abaque des îles Marshall.

élevé, qui met ce système hors de portée d'autres opérateurs que les armées et les compagnies aériennes. Immense avantage: l'indépendance par rapport à tout équipement extérieur; immense inconvénient: la précision ne signifie rien, si les coordonnées introduites dans le système sont fausses. La position de départ est nécessairement correcte, mais voler le long de routes bien déterminées implique d'introduire en cours de route les coordonnées de points donnés: l'erreur de navigation qui a conduit à la destruction d'un Boeing 747 coréen par l'aviation soviétique est probablement due à l'introduction de fausses coordonnées par l'équipage. En outre, les plateformes utilisent des gyroscopes sujets à une lente dérive au cours de vols de longue durée.

Les satellites: une nouvelle ère

Le *Global Positioning System* (GPS) marque un saut technologique extraordinaire par rapport à toutes ces aides, y compris les systèmes de localisation tels que les satellites et les balises Argos. Il offre une combinaison quasiment idéale de caractéristiques: précision de l'ordre de grandeur de quelques mètres, couverture planétaire, offre d'un ensemble d'informations inconnu jusqu'ici, prix dérisoire pour l'utilisateur, facilité d'utilisation inégalée, stabilité des indications

dans le temps. Ses caractéristiques le prédestinent à une gamme d'utilisation dont l'aviation n'est que l'exemple actuellement le plus frappant.

Le GPS est un système de navigation extrêmement précis, basé sur un réseau de satellites, développé au cours de la décennie écoulée par le Département de la Défense des Etats-Unis, pour un coût global de quelque 15 milliards de francs. Il était destiné à permettre à tous les véhicules militaires – terrestres, maritimes et aériens – aussi bien qu'aux soldats isolés de déterminer leur position et celle de leurs cibles. A la demande des milieux de l'aviation civile, il a été mis gratuitement à la disposition de la collectivité aéronautique pour dix ans au moins. Après une période d'essais intensifs, les premiers récepteurs GPS pour l'aviation sont apparus sur le marché il y a un peu plus de deux ans, alors que des sys-

tèmes destinés à la navigation maritime sont déjà en service depuis la fin des années 80.

Le système GPS se compose de trois éléments:

- les satellites émettant les signaux radio
- les récepteurs des utilisateurs
- les stations de l'US Air Force servant au contrôle du système.

Dans son stade final, le système GPS comptera 24 satellites *Navstar* (*Navigation System by Timing and Ranging*), et sa pérennité sera garantie par le remplacement des satellites «en bout de course».

Quatre satellites d'un premier type, d'une masse de 400 kg, sont actuellement encore en service, dix ans après leur lancement.

Les satellites de série, de 850 kg, offrent des possibilités accrues. Ce sont eux qui constitueront la «constellation» définitive de 24 unités.

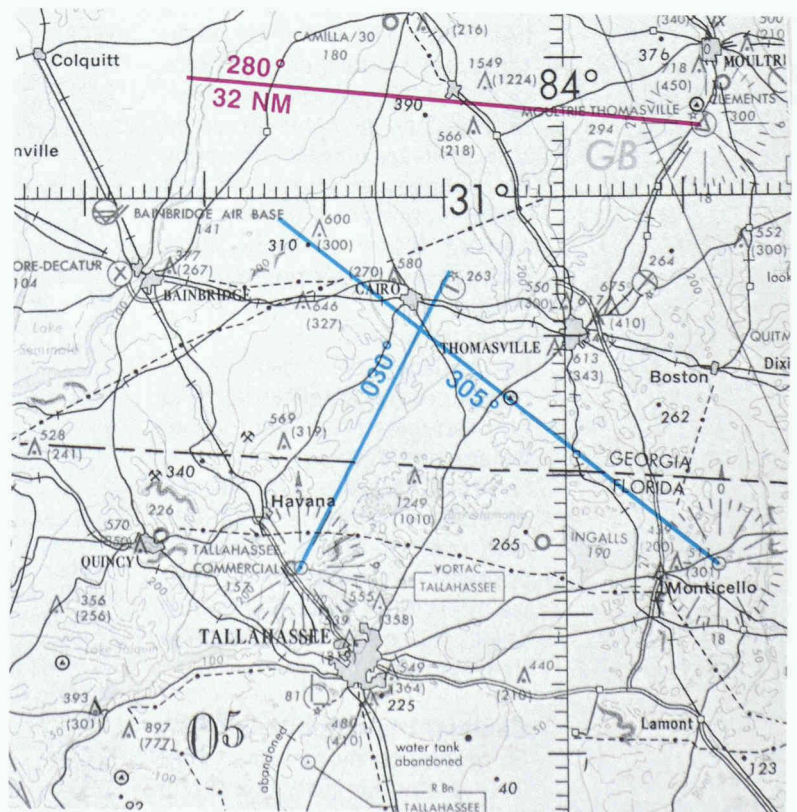


Fig. 3. – Détermination de la position par rapport à des radiobalises VOR/DME
Rouge = intersection de deux azimuts Bleu = vecteur donné par un DME

Chaque satellite emporte quatre horloges à quartz de très haute précision, un système de stockage de données, un système de contrôle d'attitude et un équipement de télécommunication avec le sol, le tout étant alimenté par des batteries et des panneaux solaires.

Les satellites sont placés sur six orbites, dont le plan est incliné de 55° par rapport à l'équateur, à une altitude de 17 530 km, ce qui correspond à un temps de révolution de 12 heures. Cette configuration représente un optimum, assurant une bonne visibilité des satellites et une couverture globale de la navigation. Le GPS demande un entretien beaucoup plus poussé que les aides traditionnelles, telles que *VOR* ou *Loran*. Chaque satellite fait l'objet d'une surveillance constante et d'une remise à jour permanente des données concernant la navigation, faute de quoi sa fiabilité s'évanouirait en quinze jours. C'est l'armée de l'Air américaine qui assure cette tâche. Les stations de surveillance sont à l'écoute des messages diffusés par les satellites et en analysent les erreurs. Bien que les données stockées par ces derniers suffisent à un fonctionnement d'une quinzaine, elles sont remises à jour pour chacun d'eux à un intervalle de quelques heures.

Le codage des commandes transmises aux satellites les rend peu sensibles à un éventuel sabotage non détecté.

Le réseau terrestre de surveillance et de commande comprend cinq stations: Hawaii, Colorado Springs, Ascension, Diego Garcia et l'atoll de Kwajalein, toutes reliées au centre de commande de Colorado Springs.

Comment fonctionne le GPS?

En navigation de surface, un relevé simultané par rapport à deux stations permet au pilote de trouver sur une carte sa position instantanée, par simple tri-

Quelques termes utilisés ici

Radiogoniomètre

Récepteur radio permettant de déterminer la direction d'où provient un signal, à l'aide d'une antenne orientable

Radiocompas ou ADF (Automatic Direction Finder)

Équipement analogue à bord des avions, dont l'antenne orientable est remplacée par un système fixe. Il indique la direction d'un émetteur par rapport à l'axe longitudinal de l'avion. Complété par un compas magnétique ou gyroscopique, il indique le cap à suivre pour atteindre l'émetteur. L'ADF fonctionne sur basse ou moyenne fréquence, d'où une sensibilité gênante aux perturbations électromagnétiques atmosphériques.

VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range)

Radiobalise à très haute fréquence émettant un signal modulé selon la direction d'émission. Le récepteur correspondant à bord de l'avion permet de déterminer le cap à suivre pour atteindre l'émetteur. Les indications de deux radiobalises permettent de se situer géographiquement. Nombre de radiobalises VOR sont complétées par un DME (voir ci-dessous). Le réseau VOR constitue une référence principale dans une région à haute densité d'habitat, comme l'Europe. La portée du VOR, utilisant des ondes ultracourtes arrêtées par les obstacles solides, est restreinte et dépend de l'altitude de vol. A titre d'exemple, on trouve quatre VOR entre les aéroports de Genève et de Zurich. Basé sur un réseau d'émetteurs dense, le VOR assure une grande précision de navigation et la gamme de fréquence sur laquelle il travaille (104-118 MHz) le rend largement insensible aux parasites.

DME (Distance Measuring Equipment)

C'est un complément aux radiobalises et aux récepteurs VOR. Une radiobalise avec DME détermine la distance entre avion et station au sol comme étant la durée de parcours du signal émis par l'avion vers la station, multipliée par la vitesse de la lumière, puis renvoie l'information vers l'avion, où s'affiche, à choix, la distance qui le sépare de la radiobalise ou la vitesse à laquelle il s'en rapproche ou s'en éloigne. Du fait de cet échange actif d'information, la performance du système se dégrade en fonction du nombre d'utilisateurs simultanés.

LORAN (Long Range Navigation)

Ce système, connu depuis environ un demi-siècle, repose sur les interférences entre les ondes à basse fréquence émises par plusieurs émetteurs. L'équipement de bord en traduit les signaux pour déterminer la position de l'avion. Il s'agissait, jusqu'à l'arrivée du GPS, du seul système de radionavigation à longue distance.

INS (Inertial Navigation System)

Il s'agit d'un système de navigation autonome, dont les références sont fournies par une plate-forme à inertie, dont les gyroscopes à très faible frottement mesurent avec une très haute précision les accélérations selon trois axes. Une centrale de calcul intègre les variations et permet de déterminer le vecteur de déplacement de l'avion, donc de connaître cap, vitesse et chemin parcouru. La précision est telle qu'elle permet pratiquement de guider de l'avion de son point de départ sur l'aéroport de Genève (dont les coordonnées lui sont fournies avant le départ) jusqu'à sa place de stationnement à New York. Le prix de cette précision: la présence à bord de trois plates-formes dotées d'un système de contrôle mutuel et la nécessité d'introduire, grâce à un clavier, les coordonnées des points que l'on doit survoler en cours de route (rappelons que la navigation s'effectue sur des arcs de grand cercle, soit la distance la plus courte, ce qui signifie que le cap à suivre doit constamment être ajusté si l'on ne vole pas d'un pôle à l'autre).

ILS (Instrument Landing System)

Système de guidage radioélectrique, composé d'un équipement au sol et d'un récepteur indiquant au pilote s'il se trouve sur la direction et l'angle de descente conduisant au début de la piste d'atterrissage. La précision et la fiabilité de l'ILS permettent, pour les équipements de bord les plus perfectionnés, d'atterrir en toute sécurité par visibilité pratiquement nulle.

Autopilote ou pilote automatique

L'autopilote conduit l'avion en fonction de différents paramètres, allant du simple cap à suivre jusqu'à tous ceux régissant l'atterrissage automatique. Ce résultat s'obtient en couplant le «moteur intelligent» que constitue l'autopilote avec les signaux fournis par les divers équipements décrits ci-dessus. Problème N° 1: le confort offert par l'autopilote ne dispense pas le pilote humain de suivre à chaque instant ce qui se passe, pour être en mesure de reprendre l'avion en main en cas de défaillance. Si cette dernière se produit par exemple en cours d'atterrissage automatique par visibilité nulle, la réussite du passage au pilotage manuel est tributaire d'une totale vigilance de la part du pilote!

angulation plane. En pratique, la triangulation sphérique permet de déterminer avec précision la position par rapport à trois radiobalises dont on connaît pour chacune la distance instantanée. Venons-en au GPS.

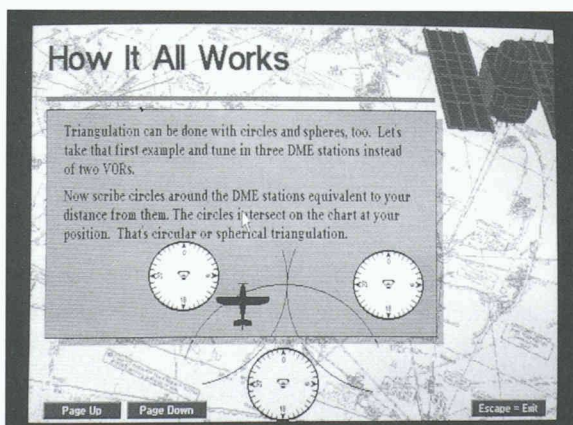
Par rapport à un satellite, nous nous trouvons avec notre récepteur sur une sphère d'un diamètre de 17 530 km. Par rapport à deux satellites, notre position se situe à notre altitude sur l'un ou l'autre de deux points d'intersection des sphères correspondantes. Trois satellites nous permettent de dissiper cette ambiguïté. En pratique, on recourt à quatre satellites au

moins pour déterminer la position d'un avion.

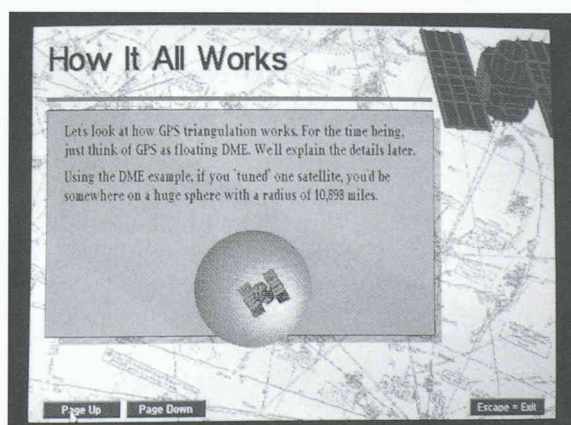
Une radiobalise équipée du système DME détermine la distance entre avion et station au sol comme étant la durée de parcours du signal émis par l'avion vers la station, multipliée par la vitesse de la lumière, puis renvoie l'information vers l'avion, où elle s'affiche. Les deux partenaires sont donc actifs.

Le GPS, quant à lui, est passif, en ce sens que l'avion n'a qu'un récepteur et n'émet pas de signal. Il doit toutefois savoir avec précision quand le signal a été émis par le satellite, pour pouvoir calculer la distance qui l'en sépare. Cette information est

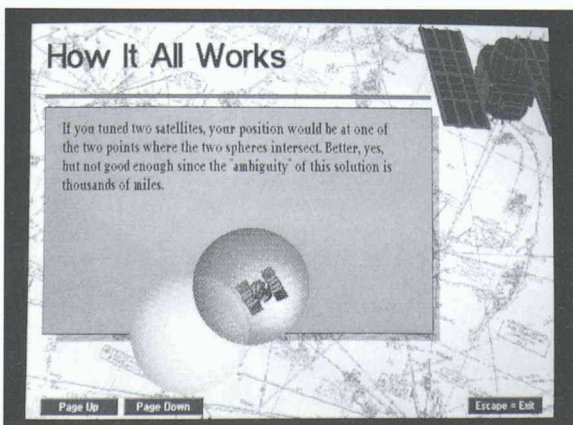
transmise sous forme d'un code spécial, appelé *pseudo-code aléatoire*. Tous les satellites émettant sur la même fréquence, ils sont différenciés par un pseudo-code propre à chacun d'eux. Notons en passant que ce code est digital, ce qui permet de l'identifier parmi tous les parasites électromagnétiques, malgré la faiblesse du signal liée à la faible puissance disponible et à la dimension restreinte de l'antenne équipant les satellites. Le GPS travaille sur deux longueurs d'onde basse fréquence, soit 1575 et 1227 MHz; les applications militaires recourent simultanément à ces deux fréquences, comparant les



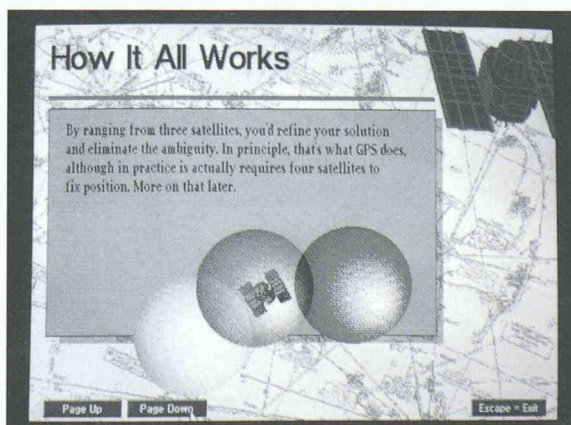
1.



2.



3.



4.

Fig. 4. – De la triangulation sphérique par la mesure des distances à l'aide du DME à la détermination de la position par rapport à trois satellites; l'altitude de l'observateur est censée correspondre à la surface du globe.

1. DME: Triangulation circulaire sphérique
2. La réception d'un satellite permet de se situer par rapport à lui, sur une sphère d'un diamètre de 10 898 milles nautiques.
3. Deux satellites définissent deux points, laissant subsister une ambiguïté de plusieurs milliers de kilomètres.
4. Trois satellites lèvent l'incertitude précédente. La réception de satellites supplémentaires permet d'affiner la mesure et d'offrir l'indication de l'altitude avec une précision adéquate.

résultats obtenus sur chacune d'elles, ce qui minimise les erreurs imputables par exemple à l'ionosphère traversée par les ondes.

Le récepteur GPS est capable de générer lui-même chacun de ces codes. Dès qu'il est mis en fonction, il les compare avec ceux qu'il reçoit. Dès qu'il en identifie un, il peut calculer la distance du satellite grâce au décalage dans le temps de ce signal. On voit donc qu'une synchronisation des garde-temps du récepteur et du satellite est indispensable au fonctionnement du système. De fait, la précision qu'on en exige est une variation maximale d'une seconde en 70 000 ans! C'est qu'une erreur d'un millième de seconde résulterait en une erreur de position de 186 miles. En pratique, les quatre horloges atomiques emportées par chacun des satellites présentent une précision de l'ordre de grandeur de la nanoseconde, ce qui correspond à une distance parcourue par la lumière de 30 cm environ.

Il n'est évidemment pas question d'équiper chaque récepteur d'horloges de ce type. On se contente d'une horloge à quartz; le quatrième satellite exigé pour la détermination de la position (voir plus haut) sert en pratique à mettre à l'heure l'horloge du récepteur: les trois premiers satellites déterminent la position du récepteur tandis que le quatrième en effectue le contrôle. S'il constate une erreur, il l'attribue à un défaut de synchronisation et remet l'horloge du récepteur à l'heure jusqu'à ce que l'erreur soit nulle. Ainsi synchronisée, l'horloge à quartz fonctionne avec une précision suffisante pour déterminer la position dans l'espace, donc l'altitude; elle continue à être surveillée par les horloges des satellites.

Mais quelle est la référence spatiale à partir de laquelle est déterminée la position du récepteur? Deux types d'information sont nécessaires pour connaître la position instantanée des satellites utilisés.

- L'*almanach*, qui donne la géométrie de l'orbite de tous les satellites et indique leur position instantanée en première approximation; la première saisie de cette information – qui sera stockée dans le récepteur – prend un peu moins d'un quart d'heure. Elle permet de savoir à quels satellites recourir en un temps et un lieu donnés.
- L'*éphéméride*, qui indique la position instantanée exacte de chaque satellite; ces données sont transmises par le centre de commandes aux satellites, qui les relaient au récepteur.

Quelle est la précision assurée par le GPS? Alors qu'elle peut être de 21 mètres pour les applications militaires, elle atteint 29 mètres pour les utilisations civiles. En fait, c'est l'US Air Force qui détient les clés du GPS, donc qui contrôle sa précision. Elle peut la ramener à 100 mètres, valeur que le Département américain de la Défense envisage pour l'avenir.

Parmi les facteurs affectant la précision, on peut mentionner la répartition des satellites: si plusieurs d'entre eux sont proches les uns des autres en un moment donné, ils seront évidemment tous bien visibles pour le récepteur, mais le recoupement géométrique de leurs informations en souffrira, puisqu'ils se trouveront pour l'observation dans un angle fermé.

Sans entrer dans les détails, on relèvera qu'il existe différentes astuces pour réduire cette marge d'erreur – voulue ou non –, notamment l'installation au sol de «pseudo-satellites» fixes ou le recours à des récepteurs GPS fixes; dans les deux cas, leur position étant connue, il est facile de mettre à jour les informations reçues des satellites réels. De plus, certains récepteurs permettent de compter les longueurs d'onde les séparant des satellites, ce qui augmente la



Fig. 5. – Un récepteur GPS portable destiné à l'aviation: le Garmin AV 95; la pochette d'allumettes permet de juger de ses dimensions modestes. L'antenne, cylindre noir posé le long de l'instrument, est soit directement fixée sur celui-ci, soit montée sur un emplacement favorable à la réception (p. ex. sur le haut du pare-brise de l'avion).

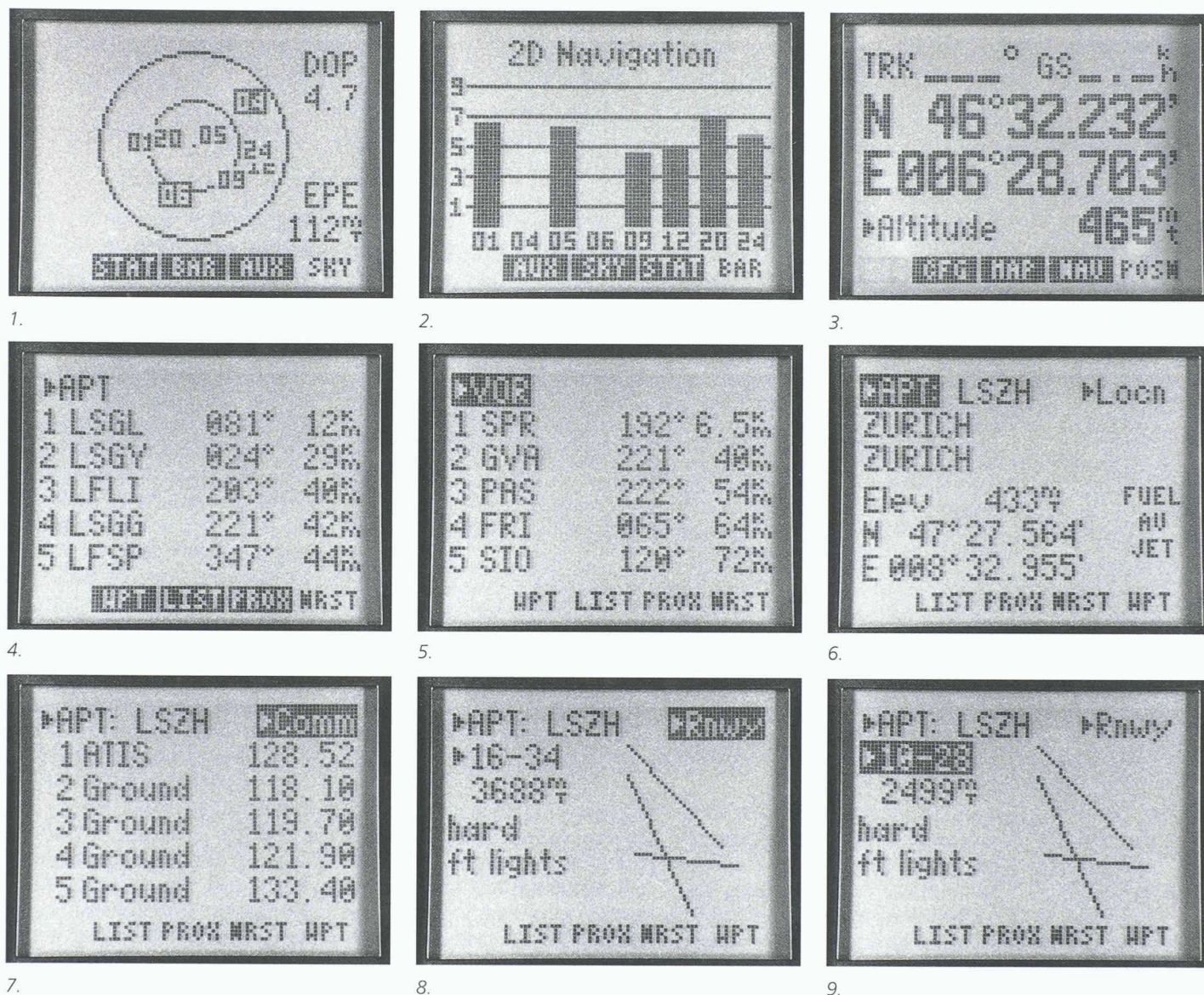


Fig. 6 — Quelques-unes des nombreuses possibilités offertes par le Garmin AV 95 ou par d'autres récepteurs disponibles sur le marché aéronautique. Chacune des fonctions est facilement accessible en vol comme au sol, grâce au clavier alphanumérique.

1. Représentation de la position instantanée des satellites «visibles», donnée par l'éphéméride. Ceux identifiés en négatif dans des rectangles ne sont pas reçus par l'instrument. DOP = Dilution of Precision: mesure de la perte de précision due à la position respective des satellites; EPE = Estimated Position Error: précision momentanée de la détermination de la position
2. Représentation graphique de la qualité de réception de chacun des satellites figurant sur l'image précédente
3. Coordonnées de la position instantanée du récepteur (ici immobile); en cas de mouvement: TRK = cap suivi, GS = vitesse vraie par rapport au sol
4. Liste des cinq aéroports les plus proches, avec leur gisement et la distance à laquelle ils se trouvent: LSGL = Lausanne, LSGY = Yverdon, LFLI = Annemasse, LSGG = Genève-Cointrin, LFSP = Pontarlier.
5. Liste des cinq radiobalises VOR les plus proches, avec leur gisement et leur distance: SPR = Saint-Prex, GVA = Genève-Aéroport, PAS = Passeiry (au sud-ouest de l'aéroport), FRI = Fribourg, SIO = Sion
6. A titre d'exemple: coordonnées de l'aéroport de Zurich, avec indication des carburants aéronautiques disponibles
7. Liste partielle des fréquences radio de l'aéroport de Zurich (en MHz); les autres fréquences peuvent aussi être affichées.
8. Données concernant l'une des pistes de l'aéroport de Zurich: orientation approximative 160-240°, longueur utile 3688 m, revêtement en dur, balisage lumineux
9. Données concernant une autre piste: orientation 100-280°, longueur utile 2499 m, revêtement en dur, balisage lumineux

précision à un ordre de grandeur inférieur au centimètre et ouvre au GPS les applications topographiques terrestres.

Récepteurs GPS

Ils travaillent tous selon le principe présenté plus haut. Equipés de microprocesseurs et d'importantes capacités de mémoire, les récepteurs de type aéronautique

déterminent la position, la vitesse et l'altitude instantanées. Pour cela, ils interrogent successivement quatre satellites ou plus, à chaque instant, et enregistrent les informations. Ce sont jusqu'à huit satellites dont les données sont traitées. L'information dépouillée par les récepteurs est présentée et remise à jour une fois par seconde. Les

récepteurs GPS sont dotés de bases de données mémorisant les coordonnées de plusieurs milliers d'aéroports, de radiobalises (VOR et ADF), voire de points particuliers, comme les intersections de voies aériennes ou les points d'entrée des circuits d'aéroports. En outre, l'utilisateur peut introduire les coordonnées géographiques de

Une multitude de fonctions

Les données arrivant du système de satellites au récepteur GPS s'y combinent à une banque de données plus ou moins étendue, selon le prix de l'appareil. Citons comme exemple le *Garmin 95 AVD*, qui pour 2500 francs offre entre autres, pour chacun des milliers d'aéroports enregistrés, l'affichage graphique de la disposition des pistes, avec leur longueur et le type de revêtement, l'altitude de l'aéroport, les fréquences radio, l'indication du type de balisage lumineux, les qualités de carburant disponibles et les coordonnées géographiques.

On peut programmer des itinéraires comportant, outre le point de départ et la destination, des radiobalises ou des intersections de voies aériennes, disponibles en mémoire, ainsi que des points définis par l'utilisateur. De tels itinéraires – réversibles – peuvent compter jusqu'à 30 points et l'on peut en mémoriser jusqu'à 20. L'écran affiche sur demande une carte mobile situant la position de l'avion par rapport à ces points. S'il définit autour de chacun d'eux un cercle de rayon quelconque, l'utilisateur est averti par un signal sonore et un clignotant sur l'écran de son arrivée dans ce cercle.

Moyennant l'introduction de la consommation d'essence de son avion, le pilote verra s'afficher la quantité nécessaire pour chaque étape de sa route.

La *navigation verticale* constitue une aide précieuse. En effet, le *Garmin 95 AVD* calcule, en fonction de la vitesse de l'avion et de sa hauteur par rapport à son aérodrome de destination, la vitesse verticale optimale pour atteindre ce dernier.

Une interface PC et un logiciel appropriés permettent l'affichage de la carte mobile sur l'écran d'un ordinateur portable, au lieu de l'écran de 85 x 64 pixels incorporé au récepteur. De même, la mise à jour des données stockées dans ce dernier peut se faire facilement à partir d'un PC.

points quelconques, définissant une route à suivre. Le récepteur est équipé d'un écran, qui permet alors à l'équipage de connaître en continu la *distance au prochain point choisi* – radiobalise, aéroport ou point librement défini par l'utilisateur –, *le cap réel à suivre pour l'atteindre, le temps qu'on va mettre à l'atteindre* (puisqu'il connaît la distance à parcourir et la vitesse), *le cap effectivement suivi, l'écart de la trajectoire par rapport à la ligne idéale ainsi que l'altitude*. L'utilisateur bénéficie également de l'heure très précise, l'horloge de son récepteur étant constamment mise à jour par celles des satellites, comme nous l'avons vu plus haut.

Dimensions et prix

Toutes ces performances sont accessibles grâce à des récepteurs portables de la taille d'une calculatrice de poche, d'un poids inférieur à une livre et coûtant moins de 1500 francs. Pour ce prix, ils sont livrés avec une antenne détachable ou complémentaire, à monter derrière le pare-brise de l'avion, sur sa partie supérieure. Il faut en

effet qu'il n'y ait aucun obstacle opaque entre l'antenne et le récepteur, condition facilement remplie en avion! L'alimentation électrique se fait par des piles incorporées au récepteur, offrant généralement une autonomie de quelque quatre heures. De plus, le matériel fourni inclut le câblage permettant le branchement sur le réseau de bord de l'avion.

Même dans cette classe d'équipement, on trouve des récepteurs dotés d'écrans qui affichent des cartes mobiles situant l'avion par rapport aux points choisis, qui montrent la disposition des pistes des aéroports, assortie de l'indication de leur longueur et de leur altitude, des fréquences radio à utiliser, etc. Ces données sont facilement accessibles par le recours au code international de trois ou quatre signes identifiant les aéroports.

Une prestation particulièrement intéressante en cas de problèmes à bord est également offerte: la liste – et naturellement les données correspondantes – des huit ou dix aéroports les plus proches.

Des récepteurs GPS plus évolués, montés sur le tableau de

bord, offrent un confort accru, notamment grâce à des interfaces avec les autres systèmes de navigation équipant l'avion. Le prix est évidemment fonction des performances offertes, mais ne dépasse guère 10 000 francs, ce qui est une fraction de ce que coûte l'équipement de radionavigation d'un avion autorisé à voler aux instruments. Le degré de maturité et de fiabilité du GPS est documenté par son homologation pour le vol aux instruments, avec certaines restrictions. Relevons que les prestations offertes sont comparables, en ce qui concerne la précision, et plus complètes que celles des plates-formes à inertie mentionnées en début d'article, alors que ces dernières sont infiniment plus chères, tant à l'entretien qu'à l'achat.

L'énorme quantité d'informations fournies, notamment quant aux équipements au sol (aéroports, radiobalises), nécessite naturellement une remise à jour régulière. Les pilotes connaissent ce problème en ce qui concerne des manuels tels que l'*AIP*, le *Jeppesen* ou le *Bottlang*, indispensables compagnons de route. Avec le GPS, cette actualisation peut se faire sous forme de carte magnétique à changer ou d'injection de données par un ordinateur personnel, ce qui est nettement moins fastidieux que l'échange de centaines de pages par année!

Si cet article traite essentiellement des applications aéronautiques, domaine dans lequel l'auteur est spécialisé, il est évident que le faible coût du GPS lui ouvre également des perspectives plus terre à terre. C'est ainsi que les nouveaux trolleybus de la ligne de la Riviera vaudoise sont équipés de récepteurs GPS servant de référence pour l'annonce des stations à bord des véhicules. Les navigateurs connaissent déjà le GPS, mais sans recourir à toutes les



possibilités mentionnées ici. Il faut toutefois qu'ils s'abstiennent d'utiliser en avion des récepteurs destinés aux applications terrestres et maritimes: au-delà d'une certaine vitesse, allègrement dépassée par les plus lents des avions, ces appareils risquent en effet de «décrocher»!

L'utilisation dans le domaine de la topographie ou de la géodésie n'entre pas dans le cadre de la présente contribution, les conditions de mise en œuvre et les exigences étant fort différentes de celles de l'aviation.

De même, il n'était pas dans notre propos de mentionner les applications militaires. Qu'il suffise de dire qu'un petit appareil fiable et peu coûteux permet à un individu de savoir à chaque instant où il se trouve, la direction et la distance d'un quelconque point défini à volonté. C'est là une prestation qui peut évidemment intéresser tout randonneur, même s'il ne se trouve pas sous l'uniforme.

L'avenir du GPS

Le système décrit ici est de conception américaine et mis en œuvre par l'US Air Force; son avenir dépend donc du Département de la Défense des Etats-Unis. Ce dernier est décidé à le compléter d'ici la fin du siècle et de le mettre – gratuitement – à disposition du public. Détenant la clé du système, il peut donc mettre fin instantanément à son accessibilité généralisée; c'est pourquoi le GPS ne saurait en aucun cas être aujourd'hui admis comme seul système de navigation. Le *Loran* et le réseau de radiobalises subsisteront bien au-delà de l'an 2000. Du fait que l'URSS a de son côté mis en place un système analogue, mais évidemment incompatible, on ne peut que souhaiter un rapprochement des systèmes, qui en augmenterait considérablement la couverture et diviserait le pouvoir d'éteindre ou de brouiller les satellites.

Le GPS représente une formidable application des techniques aéro-

spatiales et électroniques les plus modernes, mise à la disposition de tout un chacun. Il serait désolant qu'elle continue à dépendre des seules autorités militaires.

Bibliographie

DOUSSET-LEENHARDT, ROSELÈNE; TAILLEMITE ETIENNE: «Le Grand Livre du Pacifique», Edita SA, Lausanne, 1976

LOGSDON, TOM: «The Navstar Global Positioning System», ed. Van Nostrand Reinhold, New York

CONNES, KEITH: «The Loran, GPS and Navcomm Guide», ed. The Butterfield Press, Templeton (USA)

(La rédaction fournit volontiers aux lecteurs intéressés les références de documents ou de publications spécialisées.)

Cet article a été rédigé sur la base du manuel d'utilisation du récepteur GPS *Garmin 95 AVD* et d'une disquette (3,5", pour IBM et compatibles) de présentation du GPS: «Global Positioning System - A Tutorial & Buyers Guide», réalisée par *Creative Media Group*, Morristown (USA) pour l'*AOPA* (Aircraft Owners and Pilots Association). Elle peut être commandée au prix de 10 francs auprès de *AOPA Switzerland*, tél. 01/810 33 83, fax 01/810 83 10.