

de faire un passage à basse hauteur pour faire examiner l'avion : l'observateur peut confirmer la sortie du train mais pas son verrouillage. Vérifiez plutôt si cette lampe n'est pas grillée en la permutant avec une autre (la rouge). Mais combien de pilotes peuvent assurer qu'ils ont, par précaution et en temps utile, appris à le faire ?

Si le train ne sort pas ou les lampes ne s'allument pas, inutile de vous acharner sur la manette : vérifiez plutôt les disjoncteurs et fusibles correspondants. Savez-vous les retrouver facilement de nuit ? Quel que soit l'incident, sortez d'abord du circuit d'aérodrome pour le traiter tranquillement. Si le train s'arrête en cours de transit, ne cherchez surtout plus à le manoeuvrer. Faites la sortie de secours conformément à la procédure enseignée (disjoncteur moteur train tiré, manette baissée, vitesse max respectée).

Pour éviter le goût amer de l'accident, faites travailler tous vos sens et complétez la vérification visuelle des voyants par la constatation auditive de la disparition de l'alarme sonore réglée sur la course de la manette des gaz. Ne tentez plus de le rentrer, vous pourriez aggraver la situation en rendant son blocage définitif, et revenez vers votre base sans oublier votre distance franchissable compte-tenu de la nouvelle vitesse propre diminuée par

la traînée. Mais pensez aussi aux pannes transitoires, tel le blocage par la glace formée en altitude après un décollage sur une piste détrempée, auquel cas la sortie manuelle n'est pas davantage possible. Le remède est alors la patience et le vol pendant le temps nécessaire dans la zone chaude de l'atmosphère.

### Conclusion

Quel que soit l'aéronef, la panne moteur, malgré tous les perfectionnements apportés à leur construction, est un événement qui ne peut être exclu et assez grave en lui-même pour ne pas en ajouter. Autres que le train, nombreux sont les équipements de l'avion dont la défaillance, plus ou moins grave suivant les conditions du vol, ne peut être prévenue par le pilote.

Il ne s'agit ni d'en être obsédé ni de les ignorer, mais simplement, à chaque vol, d'être préparé à sa survenance. Ainsi, vous pilote IFR, vérifiez-vous dans votre préparation la procédure de panne radio, complémentaire du transpondeur, dans les arrivées et départs de certaines TMA. Il y a des attitudes, des manoeuvres ou des procédures qui ne se découvrent pas pendant l'événement. C'est aussi cela l'anticipation du bon pilote.

## DME

La mesure du temps d'aller-retour d'impulsions radio, technique utilisée par les radars pour la surveillance et les guidages des avions, est aussi utilisée par des instruments à bord de l'avion. Deux, parmi ceux utilisés par les appareils civils, sont dits "autonomes" parce qu'ils s'affranchissent de toute installation terrestre : ce sont la sonde altimétrique et le radar météorologique, encore peu répandus dans les aéronefs légers en raison de leur coût. Par contre, le troisième, le DME, qui nécessite une installation complémentaire au sol, commence à devenir familier à beaucoup de pilotes de club.

### Principe

C'est pour les mêmes raisons techniques, portée et personnalisation de la réponse (cf. Radar et transpondeur, Info-Pilote juillet 1994), que le DME (Distance Measuring Equipment) est l'association d'un émetteur-récepteur d'impulsions et d'un transpondeur. Mais il y a plusieurs différences fondamentales :

- pour obtenir l'information de distance à bord de l'avion, c'est l'interrogateur (générateur d'impulsions) qui est embarqué et le transpondeur est au sol.
- le codage, indispensable à la personnalisation de la réponse, provient, ici aussi, nécessairement de l'avion mais il n'est pas à la charge du pilote. Il est réalisé par un rythme aléatoire propre à l'émetteur qui celui-ci reconnaît au retour parmi toutes les réponses que le transpondeur donne aux interrogations des différents aéronefs.

- il n'y a pas d'information azimutale, celle-ci étant éventuellement obtenue grâce à la balise avec laquelle il peut être co-implanté.

- enfin les fréquences, 960 à 1215 MHz, englobant celles du système SSR/ATC transpondeur, les impulsions sont émises par paires pour éviter les interférences.

### Installations

• **Le transpondeur (sol) :** en forme de tube allongé, il est couramment co-implanté avec un VOR dont il surmonte l'antenne centrale (figure 1). L'ensemble s'appelle alors un VOR-DME, mais il faut noter que les deux appareils sont indépendants et la panne de l'un n'affecte pas le fonctionnement de l'autre. IL est de

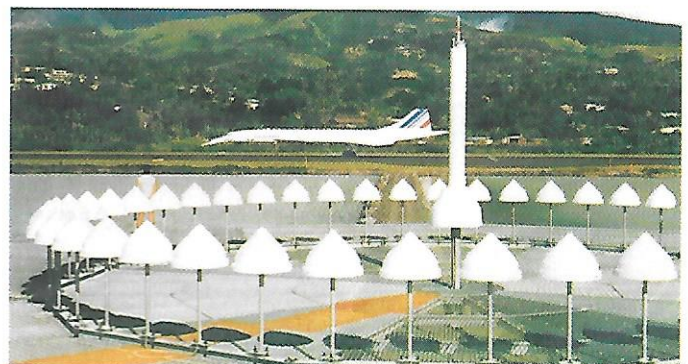


Figure 1 : VOR Doppler avec antenne centrale DME (TAHITI)

plus en plus associé à un ILS, en particulier lorsque la topographie ne permet pas l'implantation d'un marker pour l'information de distance. Il est alors situé à côté de l'antenne de l'alignement de descente (glide) pour donner l'information de distance au point d'impact. Dans certains aéroports où un glide ne convient pas, le DME associé à une approche localiser ou à une approche VOR permet de compléter l'information de distance qu'il donne avec celle du plan. Celui-ci est alors vérifié par le pilote avec les informations hauteurs-distances portées sur la carte IAC et, en général, par le calcul approché, soit, pour 1 mille nautique, une perte d'altitude de 60 ft par 1% de pente. Ou, ce qui revient au même, de 100 ft par 1° de pente (cf. Calcul rapide, Info-Pilote octobre 1991). Enfin, le DME fait partie intégrante du MLS (Microwave Landing System).

La capacité de réponse du transpondeur est de 100 aéronefs simultanément mais l'OACI recommande de l'augmenter si le trafic local l'exige. La portée peut atteindre 200 milles nautiques mais elle est de fait alignée sur celle du système de navigation auquel il est associé. La précision, de 0,2 NM pour le DME/N (N pour navigation), repose sur l'hypothèse que l'erreur attribuable à l'interrogateur embarqué ne dépasse pas 0,17 NM. Elle dépend donc en grande partie de la qualité de l'appareil à bord de l'avion. Elle descend beaucoup plus bas pour le DME/P (P pour précision). Le TACAN (TACTical Air Navigation) est un système militaire identique au VOR-DME mais seul l'équipement de mesure de distance est utilisable par les civils. Il peut être implanté à côté d'un VOR civil ou d'un NDB. Il est évident que, dans ce cas, la mesure reçue à bord est la distance au TACAN et non au VOR ou au NDB. DME et TACAN transmettent leur propre indicatif, analogue à celui de la balise avec laquelle ils sont co-implantés.

Avec la disparition de l'usage d'indiquer sur les cartes le canal sur lequel fonctionnent les TACAN et DME, et son remplacement par la fréquence d'appariement (voir plus loin), la méthode de calcul de cette dernière est tombée en désuétude.

• **L'interrogateur-récepteur de bord** : l'antenne, située sous l'avion, est d'une dizaine de centimètres de longueur. Les fréquences, UHF, étant appariées suivant des normes OACI avec celles, VHF de 108.00 à 117.95 MHz, du VOR, l'instrumentation visible du tableau de bord dépend de la période relative de chacune des installations. Si la pose a été effectuée à la même époque, les signaux de chacun sont compatibles. L'installation est alors couplée ("channellisée") et la mise en marche du VOR active automatiquement le mesureur de distance si la balise est un VOR-DME.

Dans ce cas, le seul appareil sur le tableau de bord est l'indicateur (fig. 2), installé entre les instruments de pilotage et même, dans les



Figure 2 : l'indicateur

HSI de haut de gamme, avec l'indication de distance directement dans une fenêtre à cet effet de l'appareil. Un commutateur permet de sélectionner le DME sur le VOR1 ou le VOR2 et une position HLD ("Hold" pour "maintien") permet de conserver la fréquence choisie en mémoire pour continuer de recevoir la distance à un DME ou un TACAN tout en utilisant un VOR normal pour la navigation. Notez bien qu'il s'agit d'une mise en mémoire de la fréquence et qu'il n'est pas nécessaire de recevoir l'information pour effectuer l'opération. Cette mémoire est volatile et la fréquence n'est pas maintenue après avoir quitté la position "Hold". Dans le cas fréquent d'une modernisation du tableau de bord, les signaux numériques du DME ne sont pas compatibles avec les signaux analogiques des anciens VOR. Sauf avec une interface au coût prohibitif, l'installation ne peut pas être couplée. La boîte de commande est alors apparente avec son affichage de la fréquence et des informations sur la façade de l'instrument (fig. 3).



Figure 3 : le boîtier de commande / indicateur

Il y a donc ici, avec une opération supplémentaire pour le pilote et avec une information qui n'est pas directement devant son regard, une source de dispersion de l'attention, pénalisante dans le cas d'une approche IFR difficile. Il est possible d'y remédier partiellement en ajoutant un indicateur à distance comme celui de la figure 2. Enfin, dans certaines installations nouvelles, l'appareil est un système intégré avec VOR, DME, RNAV, ILS (figure 4). Les deux générations de DME se reconnaissent aux chiffres de l'instrument, rouleaux mécaniques pour les anciens, cristaux liquides pour les modernes.

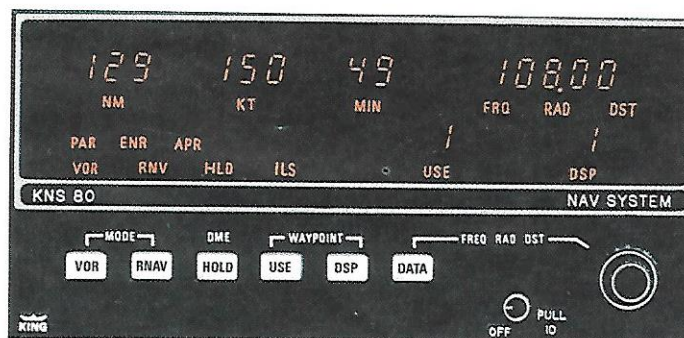


Figure 4 : appareil intégré DME/VOR/RNAV/ILS

## Mesure

La mesure de distance est bien entendu la fonction principale de l'installation. Fort utilement, les constructeurs d'avionique ont ajouté un calculateur de vitesse-sol et de temps à la station. Mais, en raison du principe même des mesures et des calculs, toutes les informations comportent des erreurs qui ne sont pas obligatoirement dépendantes les unes des autres.

• **La distance** : comme le radar, le DME mesure la distance directe, en milles nautiques, entre l'avion et l'antenne au sol.

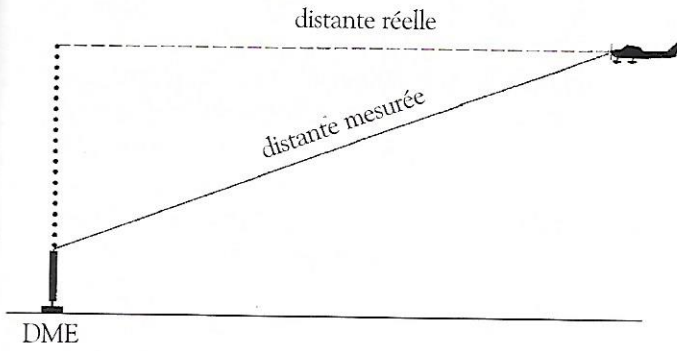


Figure 5

C'est donc une distance oblique (fig. 5) alors que le besoin du pilote est une distance horizontale. Il y a donc surestimation. Sous réserve de calculer la hauteur de l'avion au-dessus de la balise par différence des hauteurs respectives (se rappeler que 1 NM = 6000 ft), ici aussi la correction peut être faite puisque deux côtés du triangle rectangle seront connus.

L'opération, facile et obtenue en continu avec un ordinateur, est trop fastidieuse pour l'intérêt qu'elle apporte au pilote d'avion léger. Il est plus simple, pour celui-ci, de noter son estimée lorsque l'erreur est considérée comme négligeable, c'est à dire que l'avion est loin ou bas, et par conséquent l'angle de mesure avec l'horizontale est faible. Il ne sera plus tenu compte des informations en s'approchant, sachant qu'à une distance indiquée de quatre fois la hauteur, l'erreur atteint déjà 3,5%. Il est évident que, sauf à passer en rase-mottes, l'indication ne sera jamais nulle et représentera la hauteur au-dessus de la balise au passage à sa verticale.

Notons que les distances DME de certains reports ou de certaines procédures des cartes IFR ne sont inscrites que sur des trajectoires à altitude déterminée. Ce sont donc bien les distances obliques lues sur le tableau de bord de l'avion.

• **La vitesse-sol** : elle est obtenue en continu par la mesure de la variation de distance en un temps donné, de l'ordre de un dixième de seconde pour les appareils de qualité. Suivant le cas, il y a deux sources d'erreur. La première est constante et due à l'obliquité dans le plan vertical de la mesure de distance étudiée dans le para-

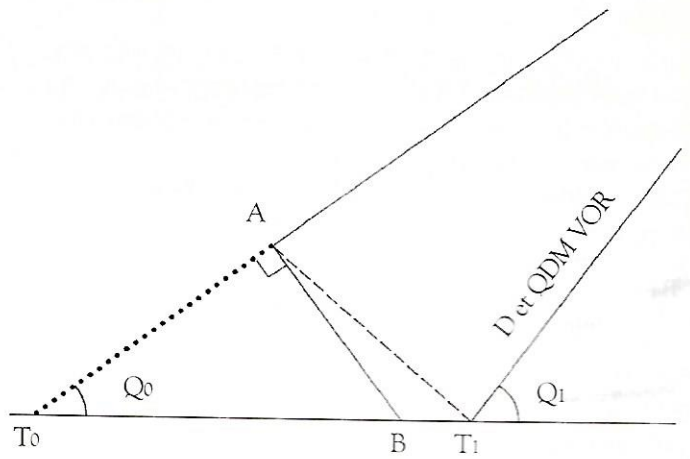


Figure 7 : l'approximation :  $Vs \text{ corrigé} = \frac{Vs \text{ lue}}{\cos Q_0}$

Le segment T0T1 est considérablement amplifié par nécessité graphique

graphe précédent. La seconde a la même cause mais dans le plan horizontal, lorsque la trajectoire ne passe pas à la verticale balise. Nous pouvons voir sur la figure 6B que la variation de distance DME est d'autant plus inférieure au chemin T0-T1, réellement parcouru pendant la mesure, que l'avion se rapproche du travers station et (en retournant le livre pour le visualiser), de la verticale. La vitesse-sol indiquée par le calculateur est donc sujette, dans le même rapport, à ces erreurs cumulatives. La vitesse-sol indiquée diminue jusqu'à une valeur minimale lorsque, travers horizontal et/ou à la verticale de la station, la variation de distance DME est minimale. Bien entendu, il ne faut pas s'imaginer en voyant cela que la puissance du moteur a chuté ou qu'un très violent vent de face s'est levé.

Le calcul de la vitesse-sol réelle dans ces cas comporte de trop nombreuses approximations et son introduction dans les épreuves du PP-IFR doit plutôt être considérée comme un test de la logique de raisonnement du candidat. En effet, les seules informations à la disposition du pilote (figures 6 et 7 développée), toutes reçues au point T1, sont :

- la distance D.
- la vitesse-sol lue, assimilable à la variation de distance, c'est à dire le segment T0A.
- enfin, si le DME est co-implanté avec un VOR, l'angle Q1 obtenu par différence entre la route suivie et le QDM à ce VOR. Or pour calculer la distance T0T1, distance réellement parcourue, et assimilable à la vitesse-sol, nous ne connaissons, dans le triangle T0AT1 que le seul côté T0A, ce qui est insuffisant. Plusieurs approximations sont donc nécessaires. En premier lieu, l'angle Q0 peut être confondu avec Q1, puisque, par rapport à D, la distance T0T1 est très petite (0,004 NM à 150 kt). Toutefois, la différence entre les deux angles devient plus sensible avec le cumul d'une vitesse élevée et la proximité du travers station.

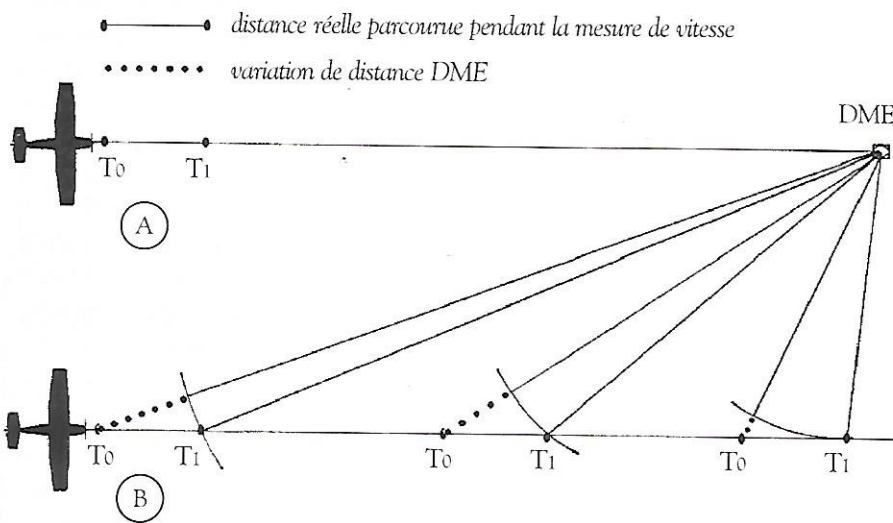


Figure 6 : l'origine de l'erreur de vitesse-sol indiquée. L'écart entre T0 et T1 est considérablement amplifié par nécessité graphique

La seconde approximation découle de la première et consiste à écrire :

$$T_0T_1 = T_0A / \cos Q_0.$$

ou autrement dit,

$$V_s \text{ réelle} = V_s \text{ lue} / \cos Q_0.$$

Cela revient à assimiler l'angle  $T_0AT_1$  à un angle droit alors que l'angle droit réel est  $T_0AB$ . L'erreur, représentée par le segment  $BT_1$ , peut être négligée lorsque l'angle est petit mais devient trop importante dans les autres cas, d'autant plus que l'erreur dans le plan vertical augmente de la même manière et n'a pas encore été corrigée. Ce calcul, qui aboutit à une sous-estimation constante de la vitesse-sol réelle, n'offre donc pas d'intérêt pratique.

- **Le temps à la station** : bien entendu, chaque fois que la vitesse-sol indiquée est inexacte, le temps indiqué pour aller à la station l'est aussi. Mais il est un cas où ce temps est faux alors que la vitesse-sol est juste. C'est lors d'une navigation station arrière sur une route passant par la balise. En effet, le calculateur, qui continue de donner l'estimée à la station en fonction d'une vitesse-sol actuelle ne peut pas savoir que le vent effectif serait en sens inverse dans le cas du retour. Ce temps, qui n'est donc ni l'estimée à la balise ni au prochain repère, pourra cependant être utilisé pour ce second but, sans calcul. Cela sera fait à mi-distance, où le temps indiqué est celui qui reste à courir.

- **Comparaison avec le GPS** : ici aussi, s'il était nécessaire de le démontrer, le GPS montre son incontestable supériorité. La distance étant calculée d'après les coordonnées géographiques, elle est juste dans tous les cas. La vitesse-sol, mesurée dans les GPS hauts de gamme (hors du marché de l'aviation légère), par l'effet Doppler sur la porteuse du satellite, est exacte dans tous les cas. Dans les autres appareils de niveau moyen, elle est obtenue par dérivée de position (vitesse de variation des coordonnées géographiques). Le système est sensiblement analogue au DME mais n'étant pas tributaire d'un point sol, la vitesse lue est juste dans tous les cas excepté, comme d'ailleurs le DME, en virage où la mesure "traîne". Enfin, dans ceux de bas de gamme ou destinés à la marine, l'actualisation des coordonnées géographiques subissant des retards plus ou moins importants suivant la vitesse de l'avion, la mesure reste approximative.

### L'arc DME

L'arc DME, procédure inscrite dans certaines trajectoires de départ ou d'arrivée IFR, permet de passer d'un radial à un autre en conservant une distance constante au VOR-DME. C'est donc, grâce à cette installation, une amélioration et une facilitation de changement d'axe à égale distance étudié en cours de radionavigation. Son exécution n'est pas difficile mais il est précédé et suivi du virage commun à toutes les figures comportant un alignement (figure 8). La mise en virage doit donc anticiper la distance d'un rayon de virage, soit :

$$R_{NM} = \frac{V_p}{200} \text{ tandis que}$$

$$\text{la variation de QDM correspondante est } \alpha = \frac{20}{d}$$

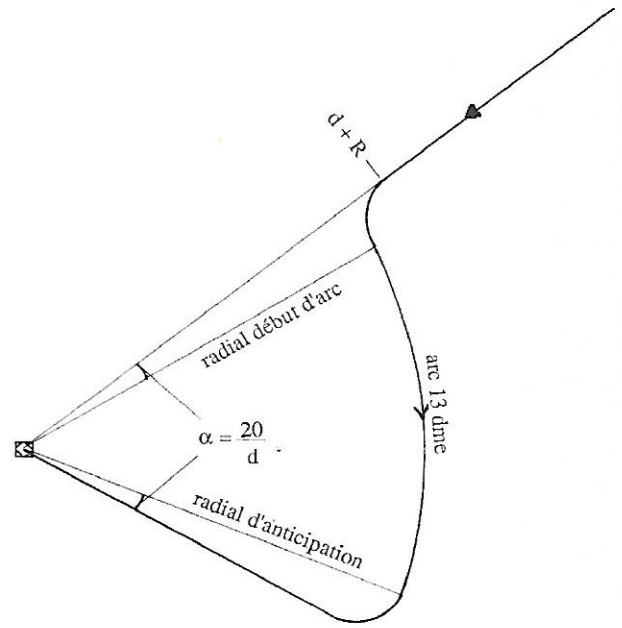


Figure 8 : l'arc DME

Dans cette formule "20" est le temps en secondes du rayon et "d" le temps en minutes à la station lu sur l'indicateur DME. (cf. Le calcul rapide, Info-Pilote octobre 1991).

Lorsqu'elle est indiquée sur la carte, la distance d'anticipation est calculée pour le rayon obtenu à la vitesse max. de la procédure. L'arc lui-même étant d'un rayon qui, suivant les sites, varie de 10 à 30 NM, l'inclinaison correspondante est difficilement applicable en pilotage ( $2^\circ$  à  $0^\circ65'$  pour un avion d'une vitesse de 150 kt, en utilisant la formule apprise en calcul rapide :

$$\text{inclinaison} = \frac{6 V^2}{R} \text{ avec } V \text{ en mètres/seconde et } R \text{ en mètres.}$$

Par définition, la tangente au cercle étant perpendiculaire au rayon, la prise de cap la plus simple est obtenue au RMI avec indicateur VOR sur lequel le gisement sera maintenu perpendiculaire ( $90^\circ$  ou  $270^\circ$ ), à la correction de dérive près admise constante sur toute la figure. Bien entendu, la surveillance de la distance lue apportera les corrections nécessaires, d'autant plus en l'absence de RMI auquel cas le cap sera adapté au radial VOR, l'aiguille recentrée manuellement ou par les facettes d'une variation de QDM avec le changement de cap de  $5^\circ$  tous les  $5^\circ$  de variation de QDM. (cf "La Radionavigation")

### Conclusion

En dépit de toutes ses imperfections, le DME reste un outil très précieux pour le pilote. Il permet de mieux apprécier sa position et démontre qu'il est parfaitement possible de faire des estimées d'une très grande précision malgré la fourniture d'informations relativement inexacts. Mais toute la navigation n'est-elle pas l'art d'arriver à destination avec une exactitude remarquable et d'obtenir des résultats justes malgré des chiffres (vitesse propre, vitesse-sol, vent, dérive, altitude, distance, cap, ...etc) approximatifs ?