

ENNA ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE



Le système DME

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

Avant de débuter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

Présentation du cours



- Généralités.
- Principe de fonctionnement.
- Fréquences et canaux du DME.
- Installations au sol.
- Equipement de bord.
- Fonctionnement du DME.
- Propriétés du DME.
- Utilisation du DME.
- Tests des systèmes DME.
- Le TACAN.
- Conclusions.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

Généralités

- DME signifie *Distance Measurement Equipment* ou équipement de mesure de distance.



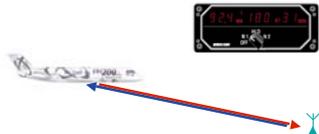
On mesure la distance oblique entre l'aéronef et une balise fixe au sol.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

- Le DME est un émetteur-récepteur électronique qui indique au pilote une lecture constante de la distance oblique séparant l'aéronef d'une balise DME ou TACAN au sol :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement



- Le calculateur du DME détermine le temps que met un signal, émis par lui, pour effectuer un aller-retour à la station au sol.
- La durée du voyage du signal est convertie en distance, car les ondes radio voyagent à une vitesse constante équivalente théoriquement à la vitesse de la lumière, soit 300 000 Km/s.
- Calculant continuellement la distance, le DME détermine aussi la vitesse sol (GS ou *Ground Speed*) instantanée ainsi que le temps en rapprochement ou en éloignement par rapport à la station au sol.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

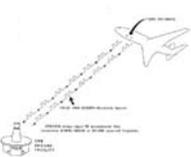


- Souvent, les informations provenant du DME s'afficheront également sur l'HSI ou l'EHSI.
- Avec les systèmes avioniques intégrés, le DME est un parmi les différents capteurs permettant de déterminer la position d'un aéronef.
- Les informations du DME n'apparaissent donc plus, mais servent au calcul de la navigation.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement



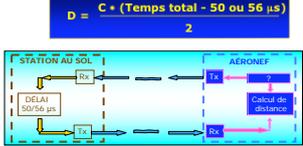
- L'équipement de bord émet des paires d'impulsions à l'intention d'une station au sol : chaque interrogation provenant d'un aéronef possède une configuration unique.
- Après un délai de 50 ou 56 µs, la station au sol reproduit le signal reçu de l'aéronef, mais avec une fréquence de 63 MHz en dessous ou au-dessus de la fréquence du signal reçu.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

- Le récepteur à bord opère le tri des impulsions de réponse qui lui sont destinées, mesure électroniquement l'intervalle de temps entre sa propre émission et la réception de la réponse, et converti le temps écoulé en distance :

$$D = \frac{C \cdot (\text{Temps total} - 50 \text{ ou } 56 \mu\text{s})}{2}$$


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Fréquences et canaux du DME

- Le DME fonctionne dans la gamme des fréquences UHF comprises entre 960 MHz et 1,215 MHz : les canaux sont espacés de 1 MHz.
- A chaque canal DME est associée une fréquence VOR ou LOC.
- Il existe, en fait, deux modes de fonctionnement donnant au bout du compte un total de 252 canaux :

Mode X : 126 canaux.		
Mode Y : 126 canaux.		

Mode X :	Canaux 1 à 63	L'interrogation est 63 MHz plus élevée que la réponse.
	Canaux 64 à 126	L'interrogation est 63 MHz moins élevée que la réponse.
Mode Y :	Canaux 1 à 63	L'interrogation est 63 MHz moins élevée que la réponse.
	Canaux 64 à 126	L'interrogation est 63 MHz plus élevée que la réponse.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Fréquences et canaux du DME

Lien entre les fréquences VHF et les canaux DME X

Canal DME X	Fréquence VHF (MHz)	Fréquence DME (MHz)
1	113,1	113,1
2	113,3	113,3
3	113,5	113,5
4	113,7	113,7
5	113,9	113,9
6	114,1	114,1
7	114,3	114,3
8	114,5	114,5
9	114,7	114,7
10	114,9	114,9
11	115,1	115,1
12	115,3	115,3
13	115,5	115,5
14	115,7	115,7
15	115,9	115,9
16	116,1	116,1
17	116,3	116,3
18	116,5	116,5
19	116,7	116,7
20	116,9	116,9
21	117,1	117,1
22	117,3	117,3
23	117,5	117,5
24	117,7	117,7
25	117,9	117,9
26	118,1	118,1
27	118,3	118,3
28	118,5	118,5
29	118,7	118,7
30	118,9	118,9
31	119,1	119,1
32	119,3	119,3
33	119,5	119,5
34	119,7	119,7
35	119,9	119,9
36	120,1	120,1
37	120,3	120,3
38	120,5	120,5
39	120,7	120,7
40	120,9	120,9
41	121,1	121,1
42	121,3	121,3
43	121,5	121,5
44	121,7	121,7
45	121,9	121,9
46	122,1	122,1
47	122,3	122,3
48	122,5	122,5
49	122,7	122,7
50	122,9	122,9
51	123,1	123,1
52	123,3	123,3
53	123,5	123,5
54	123,7	123,7
55	123,9	123,9
56	124,1	124,1
57	124,3	124,3
58	124,5	124,5
59	124,7	124,7
60	124,9	124,9
61	125,1	125,1
62	125,3	125,3
63	125,5	125,5

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Fréquences et canaux du DME

Lien entre les canaux DME et les fréquences DME

- Exemple pour le DME à bord de l'aéronef :

Canaux 1 à 16 :	pas utilisés
Canal 17X (108,00 MHz) :	émission 1041 MHz - réception 978 MHz
Canal 17Y (108,05 MHz) :	émission 1041 MHz - réception 1104 MHz
Canal 18X (108,10 MHz) :	émission 1042 MHz - réception 979 MHz
Canal 18Y (108,15 MHz) :	émission 1042 MHz - réception 1105 MHz
...	...
Canal 59X (112,20 MHz) :	émission 1083 MHz - réception 1020 MHz
Canal 59Y (112,25 MHz) :	émission 1083 MHz - réception 1146 MHz
Canaux 60 à 69 :	pas utilisés
Canal 70X (112,30 MHz) :	émission 1094 MHz - réception 1157 MHz
Canal 70Y (112,35 MHz) :	émission 1094 MHz - réception 1031 MHz
...	...
Canal 126X (117,90 MHz) :	émission 1150 MHz - réception 1213 MHz
Canal 126Y (117,95 MHz) :	émission 1150 MHz - réception 1087 MHz

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Installations au sol

- Les systèmes DME embarqués fonctionneront avec les stations au sol suivantes :

- VOR-DME.
- TACAN.
- VORTAC.
- LOC-DME.

Chaque station transmet son indicatif Morse à l'aide d'une fréquence audio de 1350 Hz (« Ident »).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Équipement de bord

Dans le cockpit

- Le panneau de commande de l'émetteur-récepteur à bord peut afficher :
 - La distance à la station (NM).
 - La vitesse au sol (kts).
 - Le temps à la station (min).
- La vitesse au sol n'est précise que si l'avion se rapproche ou s'éloigne directement de la station.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Équipement de bord

Dans le cockpit

- Système simple pour aviation générale :

Sélecteur :
 RMT = sélection automatique de la fréquence par le récepteur NAV
 FREQ = sélection de la fréquence sur le DME
 GS/T = affichage de la vitesse sol et de FETE

Affichage

Interrupteur « marche-arrêt »

Sélecteur de fréquences



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Équipement de bord

Dans le cockpit

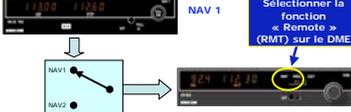
- Système simple pour aviation générale :

NAV 1

NAV 2

Sélectionner la fonction « Remote » (RMT) sur le DME

Sélection automatique de la fréquence du DME par le récepteur NAV



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Équipement de bord

Dans le cockpit

- Système pour aviation commerciale ou d'affaires :

Sélecteur :
 OFF = arrêt du DME
 N1 = sélection de fréquence par NAV 1
 HLD = fonction « HOLD »
 N2 = sélection de fréquence par NAV 2



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Équipement de bord

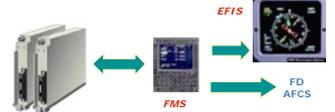
Dans le cockpit

- Système pour aviation commerciale ou d'affaires :

EFIS

FMS

FD AFCS



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Équipement de bord

Les antennes

Sur les aéronefs, les antennes DME se trouvent en dessous de l'appareil

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Équipement de bord

Exemple d'installation DME

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Fonctionnement du DME

Sachant que :

- ✓ Pour une même balise, tous les aéronefs utilisent le **même canal** (même couple de fréquences).
- ✓ Toutes les paires d'impulsions ont toujours le **même espacement** entre elles.
- ✓ Plusieurs dizaines d'aéronefs peuvent travailler **simultanément** avec la même station au sol.

Comment fait-on pour que chaque aéronef puisse malgré tout identifier ses propres paires d'impulsions parmi toutes celles qui sont renvoyées par la station au sol ?

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Fonctionnement du DME

- Les **stations au sol** actuelles peuvent traiter **100 à 200 interrogations** d'aéronefs simultanément, ce qui correspond éventuellement jusqu'à **4800 paires d'impulsions par seconde**.
- Les **interrogeurs** des aéronefs envoient leurs **paires d'impulsions** selon un **codage aléatoire** qui leur est propre.
- À la **réception**, le DME embarqué analysera toutes les **paires d'impulsions** reçues de la station au sol pour **retrouver sa propre séquence** identique au codage émis.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Fonctionnement du DME

- Une fois qu'il aura **identifié ses paires d'impulsions à lui**, le DME pourra déterminer la **distance** et, après un **certain nombre de mesures**, extrapoler la **vitesse** et les **paramètres de temps**.
- En **phase de recherche**, le DME envoie de **120 à 150 interrogations par seconde (PRF, Pulse Recurrence Frequency)**.
- Une fois sa **séquence de paires d'impulsions identifiée**, le **taux d'interrogations** passe à **20 ou 30**, ce qui est **suffisant** pour actualiser le **calcul de distance**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Propriétés du DME

- Le **DME** est une aide à la navigation **très précise** (0,25 NM).
- **Trois mesures de distances** (p,p,p) par rapport à **trois stations DME** au sol permettent de déterminer la **position de l'aéronef**; il s'agit d'une des **méthodes privilégiées** par les **systems de gestion de la navigation (FMS ou Flight Management Systems)** pour déterminer la position.
- Les **effets de nuit**, les **perturbations atmosphériques** (orages, électricité statique, etc.) ou la **refraction** n'ont **pas d'incidence** sur le **fonctionnement** du DME; il est donc **très fiable**.
- Du fait qu'il fonctionne en **UHF**, la **portée** du DME est limitée à **environ 200 NM** (portée optique).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Propriétés du DME

- La distance relevée par le DME représente la **distance oblique (S)** entre l'aéronef et la station au sol.
- Or, pour la **navigation**, nous avons besoin de connaître la **distance au sol (D)**.
- Les **systems de gestion de la navigation (FMS)** effectueront la **correction** car ils peuvent déterminer la **hauteur (h)** à l'aide d'autres capteurs.

$$S^2 = D^2 + H^2$$

$$D^2 = S^2 - H^2$$

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Propriétés du DME

- L'**erreur** due à l'**altitude de l'aéronef** est d'autant **plus grande** que celui est **proche** de la station au sol :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Utilisation du DME

- À l'aide d'un **VOR** et d'un **DME**, on peut **relever la position** d'un aéronef (p,θ) :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Utilisation du DME

- Il existe un appareil qui associe un VOR, un DME et un calculateur pour effectuer des relevés de position.
- Il peut, en outre, calculer des points de route (Waypoints).
- Il s'agit du RNAV (Area Navigation), l'aiguille des FMS :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Utilisation du DME

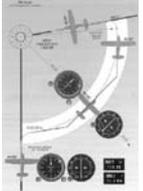
- Relevé de position à l'aide de trois distances :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Utilisation du DME

- Procédure « d'arc DME » à l'aide d'un VOR et d'un DME :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Tests fonctionnels des systèmes DME

- Un test en piste (Ramp Test) peut être effectué pour vérifier et certifier les systèmes DME.
- Le technicien utilisera un banc de tests portable; il s'agit, en général du même appareil qui sert à tester les systèmes transpondeurs.

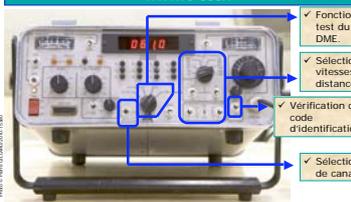


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Tests fonctionnels des systèmes DME

IFR ATC-600A

- Fonction test du DME.
- Sélection vitesses/distances.
- Vérification du code d'identification.
- Sélection de canal.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Tests fonctionnels des systèmes DME

Distance entre les antennes

Toujours vérifier les recommandations du fabricant en ce qui concerne la distance minimale entre les antennes !

Si non, vous risquez d'endommager l'équipement à bord ou l'appareil de test !

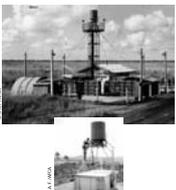


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le TACAN

Présentation

- Le système TACAN est composé d'un DME ainsi que d'un dispositif rotatif permettant à l'utilisateur d'effectuer un relevement.
- Il s'agit d'un système utilisé essentiellement par les militaires.
- Il est plus précis que le VOR en ce qui concerne les mesures de relevement.
- Il existe souvent des balises au sol combinées VORTAC.

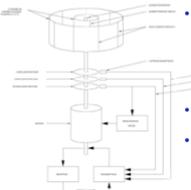


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le TACAN

Présentation

- Le système TACAN opère dans la bande de 260 Mhz à 1215 Mhz sur les mêmes fréquences que le DME.
- La sélection des fréquences est structurée en canaux.
- Des stations TACAN peuvent être embarquées à bord d'aéronefs (AWACS, Tankers, par exemple) et donc être « air-to-air ».



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le TACAN

TACAN embarqué



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Le TACAN

Station TACAN embarquée à bord d'un avion ravitailleur



- Le TACAN TCN-550 de Rockwell Collins fonctionne comme système embarqué traditionnel et comme balise.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Conclusions



- Le DME est le moyen de navigation à courte distance le plus précis pour l'aviation civile.
- Le DME fait partie intégrante du système TACAN.
- Souvent, les balises DME au sol sont associées à des balises VOR, LOC ou TACAN.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique



Merci de votre attention

© Département d'avionique Document à des fins de formation