

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE



Le système TACAN

© Département d'avionique Document à des fins de formation

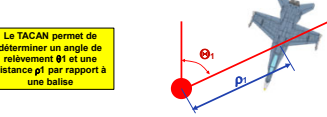
1

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Généralités

- TACAN signifie « Tactical Air Navigation ».
- Il s'agit d'un système de balises « ρ - θ » légères situées au sol, sur des navires et même à bord d'aéronefs :

Le TACAN permet de déterminer un angle de relèvement θ et une distance ρ par rapport à une balise



© Département d'avionique Document à des fins de formation

4

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Caractéristiques

- Bande de fréquences : UHF et micro-ondes L.
- Polarisation : verticale.
- Précision : $\pm 1^\circ$ or ± 63 m at 3,75 km.
- Portée théorique : 400 NM à 60.000 pieds.
- Portée pratique selon la FAA : 130 NM en dessous de 45.000 pieds.
- Puissance habituelle d'une balise au sol : 3 kW.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

7

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Avant de débiter le cours ...



Merci !

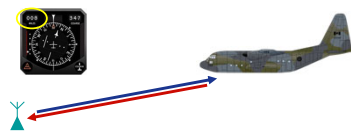
© Département d'avionique Document à des fins de formation

2

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Généralités

- Le TACAN est essentiellement un système de radionavigation militaire, mais est accessible à l'aviation civile également.
- C'est le DME, qui fait partie du système TACAN, qui fournit l'information de distance :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

5

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Les balises TACAN

- La majorité des stations TACAN au sol, étant accessibles autant à l'aviation civile que militaire, sont installées de façon permanente à des endroits « stratégiques » bien définis et utiles à la navigation aérienne.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

8

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Présentation du cours

- Généralités.
- Caractéristiques.
- Les balises TACAN.
- Rappel au sujet du DME.
- Fréquences et canaux du TACAN.
- Principe de fonctionnement.
- Antennes des balises au sol.
- Équipement de bord et utilisation.
- Exemple d'installation civile.
- Limitations.
- Tests des systèmes TACAN.
- Calibration des balises TACAN.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

3

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Généralités

- L'émetteur TACAN est un dispositif rotatif qui permet à l'utilisateur d'effectuer un relèvement.
- Le TACAN est plus précis que le VOR en ce qui concerne les mesures de relèvement.
- Il est plus compact qu'un système VOR et peut donc être facilement embarqué à bord de véhicules, de navires et d'aéronefs.
- Il existe souvent des balises au sol VORTAC qui combinent le TACAN (et donc le DME) avec un VOR.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

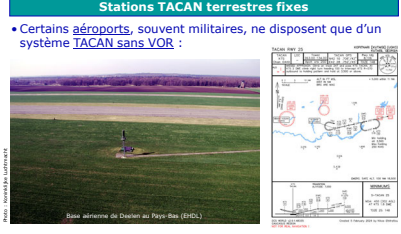
6

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Les balises TACAN

Stations TACAN terrestres fixes

- Certains aéroports, souvent militaires, ne disposent que d'un système TACAN sans VOR :



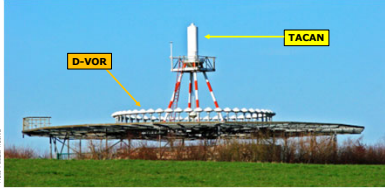
© Département d'avionique Document à des fins de formation

9

Les balises TACAN

Stations VORTAC terrestres fixes

- Il s'agit de stations C-VOR ou DVOR combinées à un TACAN :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

10

Les balises TACAN

Stations TACAN embarquées à bord d'avions ravitailleurs



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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

13

Fréquences et canaux du TACAN

- Le TACAN (et donc le DME) fonctionne dans la gamme des fréquences UHF comprises entre 960 MHz et 1.215 MHz; les canaux sont espacés de 1 MHz.
- Il existe, en fait, deux modes de fonctionnement « X » et « Y » 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 DME est 63 MHz plus élevée que la réponse.
	Canaux 64 à 126	L'interrogation DME est 63 MHz moins élevée que la réponse.

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

16

Les balises TACAN

Stations TACAN terrestres mobiles

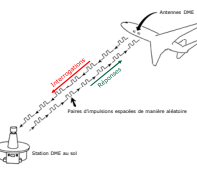


- Pour les applications militaires, une balise TACAN terrestre peut être mobile et aisément transportable.
- Elles sont utiles sur les théâtres d'opérations, mais aussi lorsque les forces armées sont impliquées lors de missions de sauvetage ou de secours, durant une catastrophe naturelle, par exemple.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

11

Rappel au sujet du DME



- 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

14

Fréquences et canaux du TACAN

Lien entre les fréquences VHF et les canaux TACAN X

Surtout utile pour le DME !

VHF (MHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
118	1	2	3	4	5	6	7	8	9
119	10	11	12	13	14	15	16	17	18
120	19	20	21	22	23	24	25	26	27
121	28	29	30	31	32	33	34	35	36
122	37	38	39	40	41	42	43	44	45
123	46	47	48	49	50	51	52	53	54
124	55	56	57	58	59	60	61	62	63
125	64	65	66	67	68	69	70	71	72
126	73	74	75	76	77	78	79	80	81
127	82	83	84	85	86	87	88	89	90
128	91	92	93	94	95	96	97	98	99
129	100	101	102	103	104	105	106	107	108
130	109	110	111	112	113	114	115	116	117
131	118	119	120	121	122	123	124	125	126

NOTE: The channel number 126 is not used for TACAN X.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

17

Les balises TACAN

Stations TACAN embarquées à bord de navires



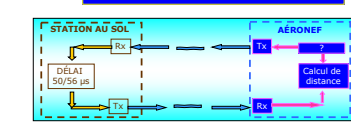
- Sur les navires, en général, l'antenne TACAN se trouve au sommet du mât principal.
- Mais on peut aussi les trouver en milieu de mât.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

12

Rappel au sujet du DME

- 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 :

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


© Département d'avionique Document à des fins de formation

15

Fréquences et canaux du TACAN

Lien entre les canaux TACAN et les fréquences

Exemples pour les canaux 1 à 12 selon MIL-STD-291C :

Channel	Frequency (MHz)	Frequency (MHz)	Frequency (MHz)	Frequency (MHz)	Frequency (MHz)	Frequency (MHz)	Frequency (MHz)	Frequency (MHz)	Frequency (MHz)
1	118.1	118.1	118.1	118.1	118.1	118.1	118.1	118.1	118.1
2	118.2	118.2	118.2	118.2	118.2	118.2	118.2	118.2	118.2
3	118.3	118.3	118.3	118.3	118.3	118.3	118.3	118.3	118.3
4	118.4	118.4	118.4	118.4	118.4	118.4	118.4	118.4	118.4
5	118.5	118.5	118.5	118.5	118.5	118.5	118.5	118.5	118.5
6	118.6	118.6	118.6	118.6	118.6	118.6	118.6	118.6	118.6
7	118.7	118.7	118.7	118.7	118.7	118.7	118.7	118.7	118.7
8	118.8	118.8	118.8	118.8	118.8	118.8	118.8	118.8	118.8
9	118.9	118.9	118.9	118.9	118.9	118.9	118.9	118.9	118.9
10	119.0	119.0	119.0	119.0	119.0	119.0	119.0	119.0	119.0
11	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1
12	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2

© Département d'avionique Document à des fins de formation

18

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Fréquences et canaux du TACAN

Signal TACAN/DME

- Un signal émis par une balise TACAN est constitué d'une succession d'impulsions.
- Plusieurs catégories de groupes d'impulsions sont définies et classées par ordre de priorité :

Priorité	Catégorie	Remarques
1	Salves de référence (bursts)	Référence pour le « nord » et « auxiliaire » en relèvement
2	Groupe d'identification	Code Morse généré toutes les 30 secondes
3	Réponses aux interrogations	Mesure distance (DME/Range)
4	Squitter	Impulsions générées par la balise au sol en cas d'interrogations trop faibles ou trop rares lors de mesures de distances

- La succession dans le temps des différentes catégories d'impulsions est appelée « signal composite ».

© Département d'avionique Document à des fins de formation

19

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Fréquences et canaux du TACAN

Signal TACAN/DME

- Chaque groupe d'impulsions a une configuration qui lui est propre et qui lui permet d'être identifié par les récepteurs.
- Les configurations des salves de référence (bursts) sont les suivantes selon les modulations à 15 Hz et 135 Hz :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

22

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

Modulation des impulsions à 15 Hz

- Le minimum de l'amplitude de la sinusoïde a lieu quand l'élément parasite se situe à l'ouest et le maximum lorsqu'il est à l'est.
- La sinusoïde passe par zéro lorsque l'élément parasite se situe au nord et au sud.
- L'élément parasite tournant à 15 tours par seconde, la période de la sinusoïde correspond à $1/15^{\text{e}} \text{ s}$ et donc à une fréquence de 15 Hz.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

25

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Fréquences et canaux du TACAN

Signal TACAN/DME

- Le signal composite est structuré comme suit :

- Les trains d'impulsions du groupe d'identification reviennent toutes les 30 secondes et ont une durée variable selon la composition du code Morse du DME.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

20

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

L'émetteur (relèvement)

- Les impulsions du signal composite sont émises de façon omnidirectionnelle par l'élément rayonnant central.
- Un premier cylindre, équipé d'un élément parasite unique, tourne à une vitesse de 15 tours par seconde.
- Un second cylindre, équipé de 2 éléments parasites, tourne aussi à 15 tours par seconde.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

23

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

Modulation à 135 Hz

- Le second cylindre contenant deux éléments parasites, espacés de manière égale, tourne aussi à la vitesse de 15 tours par seconde.
- Il en résulte une ondulation à 135 Hz sur le diagramme de rayonnement cardioïde initial.
- Cette ondulation à 135 Hz se retrouve également au niveau de la modulation de l'amplitude du signal d'impulsions composites.
- À chaque passage par zéro de l'onde à 135 Hz coïncide le début d'une salve d'impulsions « auxiliaire ».

© Département d'avionique Document à des fins de formation

26

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Fréquences

Signal TACAN/DME

- Le signal composite comprend donc :

- ✓ 180 paires d'impulsions par seconde de salves de référence du nord.
- ✓ 720 paires d'impulsions par seconde de salves de référence auxiliaires.
- ✓ 2.700 paires d'impulsions par seconde de réponses aux interrogations.

- Le signal composite est, dès lors, constitué de 3.600 paires d'impulsions par seconde ou 7.200 impulsions par seconde.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

21

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

Modulation des impulsions à 15 Hz

- L'élément rayonnant central émet le signal d'impulsions composite de façon omnidirectionnelle.
- Un élément parasite tourne autour de l'élément rayonnant à raison de 15 tours par seconde.
- Il en résulte un diagramme de rayonnement cardioïde.
- Un récepteur captera le signal d'impulsions composite dont l'amplitude fluctue selon une sinusoïde.
- Les salves d'impulsions « nord » coïncident avec 0° de la sinusoïde.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

24

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

Détermination du relèvement

- La première étape consiste à mesurer le temps lorsque l'amplitude du signal à 15 Hz passe par zéro par rapport à la salve d'impulsions « nord » qui sert de référence temporelle.
- Pour l'avion situé en « A », l'amplitude du signal à 15 Hz est à zéro au moment initial.
- Il n'y a donc aucune différence avec la référence temporelle « nord », ce qui correspond à 0°.
- L'avion « A » est survolé donc la radiale 360.

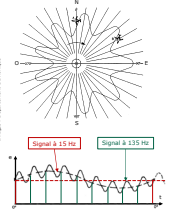
© Département d'avionique Document à des fins de formation

27

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

Détermination du relèvement



- Pour l'avion situé en « B », on note quand l'amplitude du signal à 15 Hz passe par zéro.
- La différence de temps à ce moment avec la référence temporelle « nord » vaut 11,1 ms, ce qui correspond à une phase de 60°.
- L'avion « B » survole donc la radiale 060.

Document à des fins de formation

28

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement de bord et utilisation

Antennes

- Il s'agit des mêmes antennes que les DME :



Document à des fins de formation

31

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement de bord et utilisation

Boîtiers de contrôle

- Le boîtier de contrôle TACAN peut être seulement dédié à ce système ou être associé à l'IFF :



REC : réception du relèvement seul (balise au sol).
T/R : relèvement et distance (balise au sol).
A/A REC : réception du relèvement seul (par rapport à un aéronef).
A/A T/R : relèvement et distance (par rapport à un aéronef).

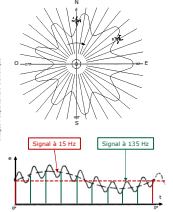
Document à des fins de formation

34

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Principe de fonctionnement

Détermination du relèvement



- La seconde étape consiste à analyser le signal à 135 Hz afin d'améliorer la précision du relevé réalisé sur l'onde à 15 Hz grâce au fait que chaque cycle correspond à 40°.
- Le principe est exactement le même mais en comparant, cette fois-ci, le temps du passage par zéro du signal à 135 Hz avec la référence des salves d'impulsions « auxiliaires ».
- L'information de la valeur de la radiale est ensuite traitée de manière semblable à un signal VOR pour être affichée comme un relèvement.

Document à des fins de formation

29

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement de bord et utilisation

Antennes

- Exemple d'installation sur un Lockheed F-16 Fighting Falcon :



Document à des fins de formation

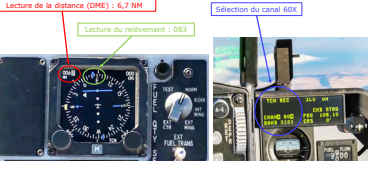
32

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement de bord et utilisation

Indicateurs

- Les cockpits d'avions militaires étant exigus, l'information est souvent intégrée à des indicateurs aux multiples fonctions :



Lecture de la distance (DME) : 6,7 NM
 Lecture du relèvement : 063
 Sélection du canal 60X

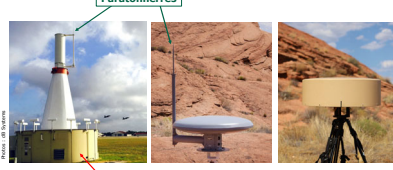
Document à des fins de formation

35

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Antennes des balises au sol

- Voici quelques modèles d'antennes TACAN destinées aux balises au sol :



Document à des fins de formation

30

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement de bord et utilisation

Boîtiers de contrôle

- Le boîtier de contrôle TACAN peut être seulement dédié à ce système ou être associé à l'IFF :



Document à des fins de formation

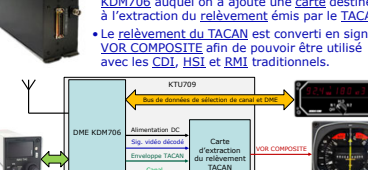
33

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Exemple d'installation civile

King KTU709

- Le système King KTU709 est, en fait, un DME KDM706 auquel on a ajouté une carte destinée à l'extraction du relèvement émis par le TACAN.
- Le relèvement du TACAN est converti en signal VOR COMPOSITE afin de pouvoir être utilisé avec les CDI, HSI et RMI traditionnels.



Document à des fins de formation

36

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Limitations



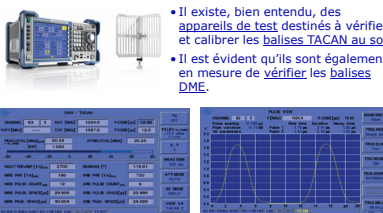
- **Cône de confusion** existant au-dessus des balises pouvant éventuellement atteindre 18 NM à 40.000 pieds.
- Possibilités d'**interférences** entre plusieurs stations travaillant sur les **mêmes fréquences**.
- Pas de **transmission vocale**.
- Les **balises** et éventuellement les **aéronefs** peuvent facilement être **repérés** par l'**ennemi**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

37

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Calibration des balises TACAN



- Il existe, bien entendu, des **appareils de test** destinés à vérifier et calibrer les **balises TACAN au sol**.
- Il est évident qu'ils sont également en mesure de **vérifier les balises DME**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

40

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Test des systèmes TACAN

Tests en ligne (ramp test)

- Exemple d'un **appareil de test portable** : IFR 6015.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

38

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE



Merci de votre attention

© Département d'avionique Document à des fins de formation

41

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Test des systèmes TACAN

Tests en ateliers

- Les **appareils de test** pour les **TACAN** et **DME** ne sont pas légions !
- Une **solution** assez ancienne consiste à ajouter une **extension IFR T1401** à un **testeur transpondeur/DME IFR ATC1400A** :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

39