ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

© Pierre GILLARD/2012-214363

Le système TACAN

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Avant de débuter le cours …

Merci !

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Présentation du cours

© Pierre GILLARD/2010-13102

- 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.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

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 θ1 et une distance ρ1 par rapport à une balise

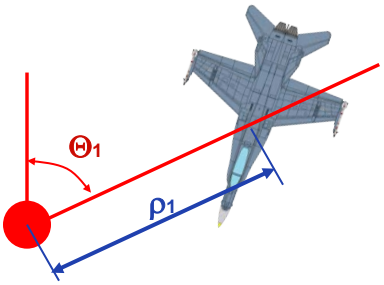


Image : Département d'avionique

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 :

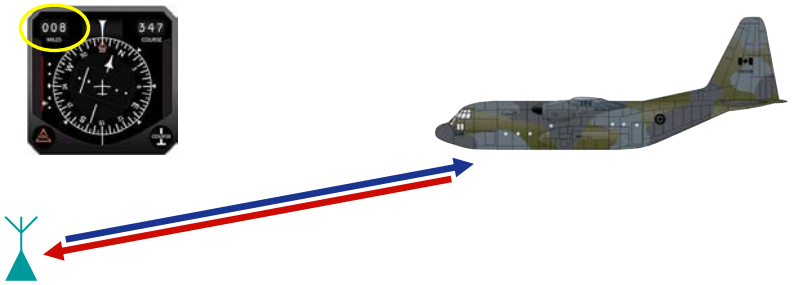


Image : Département d'avionique

Généralités

U.S.A.F./AFCA

U.S.A.F./AFCA

- 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.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Caractéristiques

Photo : U.S. Navy

Photo : ONUR

- Bande de fréquences : UHF et micro-ondes L.
- Polarisation : verticale.
- Précision : ±1° 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.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

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.

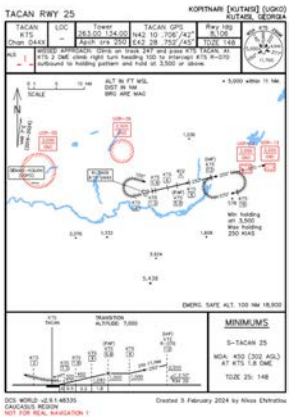
© Pierre GILLARD/2008-15991

Les balises TACAN

Stations TACAN terrestres fixes

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

Photo : Koninklijke Luchtmacht



Les balises TACAN

Stations VORTAC terrestres fixes

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

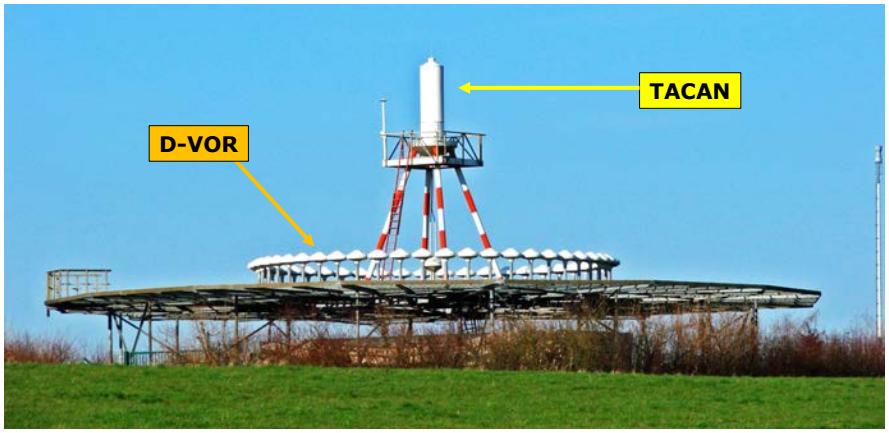


Photo : auteur inconnu

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Les balises TACAN

Stations TACAN terrestres mobiles

Photos : auteurs inconnus

- 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

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Les balises TACAN

Stations TACAN embarquées à bord de navires

Photo : U.S. Navy

- 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.

Images : NEC

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Les balises TACAN

Stations TACAN embarquées à bord d'avions avitailleurs

Photo U.S. Air Force/Tech. Sgt. Angelique Perez

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

Rockwell Collins

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Rappel au sujet du DME

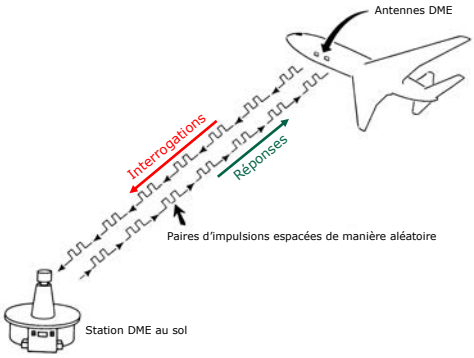


Image : EA-AV & Département d'avionique

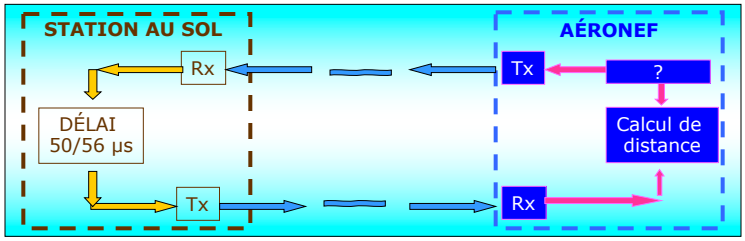
- L'équipement de bord émet des paires d'impulsions à l'intention d'une station au sol; chaque interrogation provenant d'un aéronef possède une configuration unique.
- Après un délai de 50 ou 56 µs, la station au sol reproduit le signal reçu de l'aéronef, mais avec une fréquence de 63 MHz en dessous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

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

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 :

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



ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

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.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Fréquences et canaux du TACAN

Lien entre les fréquences VHF et les canaux TACAN X

Surtout utile pour le DME !

VHF NAV (CTL-32)	0.1 MHz									
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
134	---	---	---	---	1	2	3	5	6	
135	7	8	9	10	11	12	13	15	16	
	Unpaired channels									
108	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
109	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
110	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
111	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
112	57	58	59	---	---	---	---	---	---	---
	Even-numbered channels paired with ILS localizer									
	Odd-numbered channels paired with VOR									
133	---	---	---	60	61	62	63	64	65	66
134	67	68	69	---	---	---	---	---	---	---
	Unpaired channels									
112	---	---	---	70	71	72	73	74	75	76
113	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
114	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
115	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
116	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
117	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
	Channels paired with VOR.									
NOTE: The unpaired channels (1-16 and 60-69) cannot be received.										

Pour les canaux TACAN Y, ajouter 0,05 MHz à la fréquence VHF

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

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	Airborne Interrog. Freq. MHz	Airborne 1/ A/A Mode Transponding Freq. MHz	Airborne 2/ Interrog. Pulse Spacing µsec	Airborne A/A Mode Receiving Freq. MHz	Ground Reply Freq. MHz	Ground Reply Pulse Spacing µsec
1X	1025	1025	12	1088	962	12
1Y	1025	1025	36	1088	1088	30
2X	1026	1026	12	1089	963	12
2Y	1026	1026	36	1089	1089	30
3X	1027	1027	12	1090	964	12
3Y	1027	1027	36	1090	1090	30
4X	1028	1028	12	1091	965	12
4Y	1028	1028	36	1091	1091	30
5X	1029	1029	12	1092	966	12
5Y	1029	1029	36	1092	1092	30
6X	1030	1030	12	1093	967	12
6Y	1030	1030	36	1093	1093	30
7X	1031	1031	12	1094	968	12
7Y	1031	1031	36	1094	1094	30
8X	1032	1032	12	1095	969	12
8Y	1032	1032	36	1095	1095	30
9X	1033	1033	12	1096	970	12
9Y	1033	1033	36	1096	1096	30
10X	1034	1034	12	1097	971	12
10Y	1034	1034	36	1097	1097	30
11X	1035	1035	12	1098	972	12
11Y	1035	1035	36	1098	1098	30
12X	1036	1036	12	1099	973	12
12Y	1036	1036	36	1099	1099	30

Tableau : Department of Defense

- En mode air-air (A/A), la réponse est toujours 63 MHz plus élevée que l'interrogation que l'on soit en mode X ou Y jusqu'au canal 63 inclus.
- Elle sera 63 MHz plus basse à partir du canal 64 jusqu'au canal 126.

Fréquences utilisées pour le relèvement

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Fréquences et canaux du TACAN

Signal TACAN/DME

- Un signal émis par une balise TACAN est constitué d'une successions 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

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Fréquences et canaux du TACAN

Signal TACAN/DME

- Le signal composite est structuré comme suit :

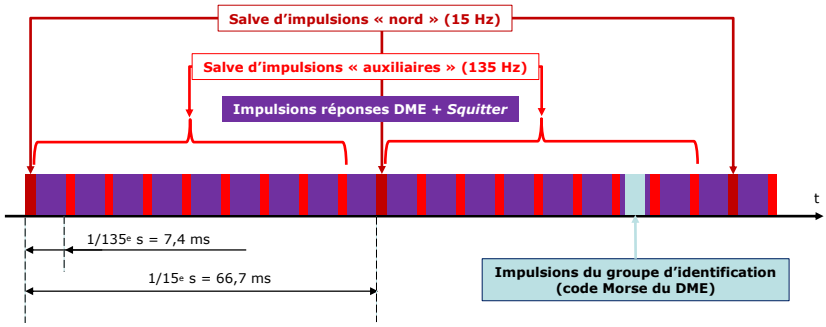


Image : Département d'avionique

- 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

Fréquences

Signal TACAN/DME

- Le signal composite comprend donc :

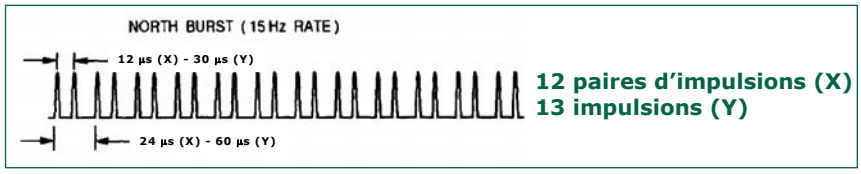
  - ✓ **180** paires d'impulsions par seconde de salves de référence du nord.
  - ✓ **720** paires d'impulsions par seconde de salves de référence auxiliaires.
  - ✓ **2.700** paires d'impulsions par seconde de réponses aux interrogations.

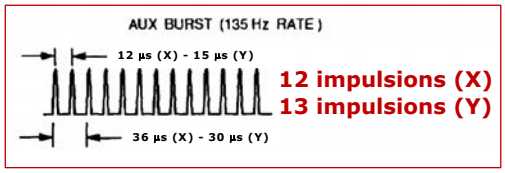
- Le signal composite est, dès lors, constitué de 3.600 paires d'impulsions par seconde ou 7.200 impulsions par seconde.

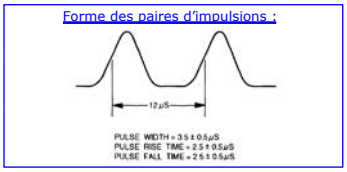
Fréquences et canaux du TACAN

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 :







ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Principe de fonctionnement

L'émetteur (relèvement)

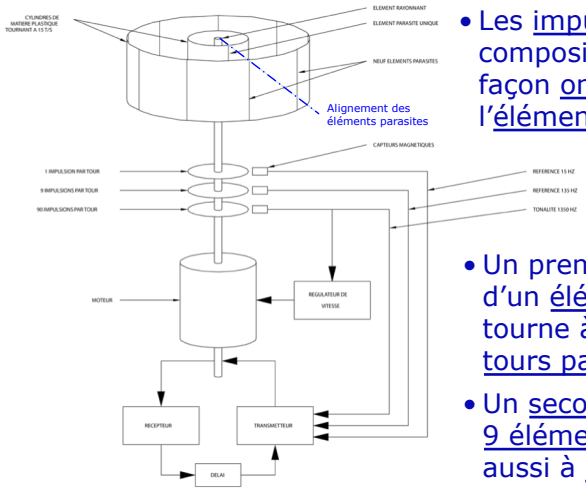


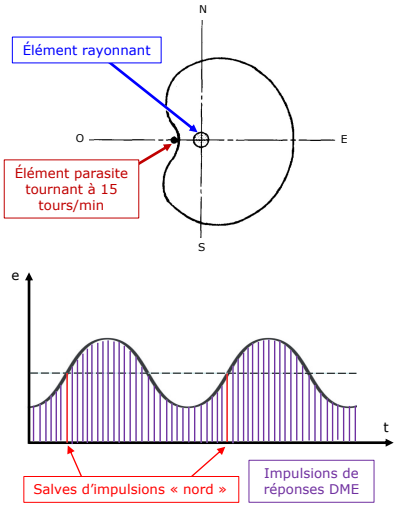
Image : Marcel DUBOIS/Département d'avionique

- 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 9 éléments parasites, tourne aussi à 15 tours par seconde.

ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Principe de fonctionnement

Modulation des impulsions à 15 Hz

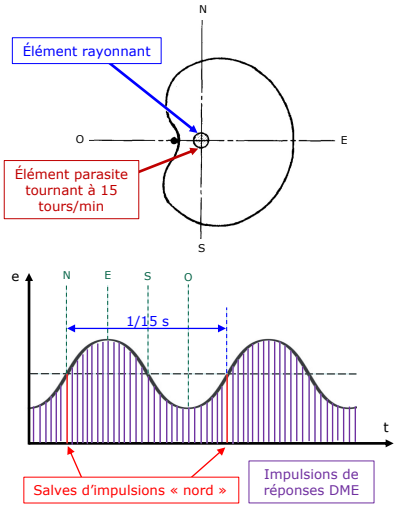


Images : Département d'avionique

- 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.

Principe de fonctionnement

Modulation des impulsions à 15 Hz

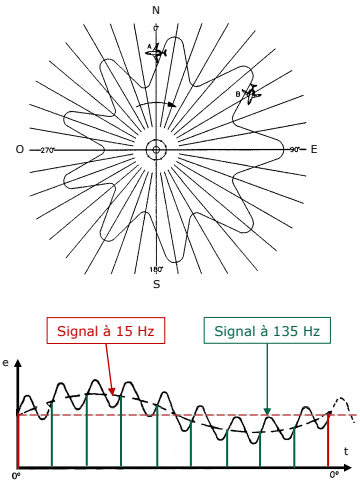


- Le minimum de l'amplitude de la sinusoïde a lieu quand l'élément parasite se situe à l'ouest et le maximum lorsqu'il est à l'est.
- La sinusoïde passe par zéro lorsque l'élément parasite se situe au nord et au sud.
- L'élément parasite tournant à 15 tours par seconde, la période de la sinusoïde correspond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

Images : Département d'avionique

Principe de fonctionnement

Modulation à 135 Hz

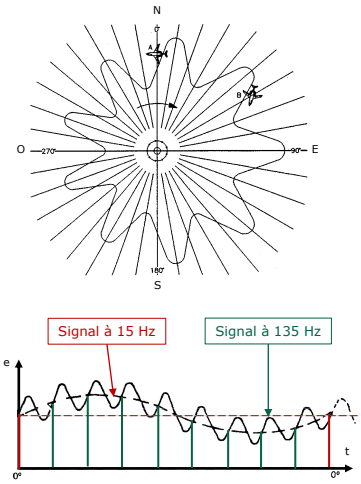


- Le second cylindre contenant neuf éléments parasites, espacés de manière égale, tourne aussi à la vitesse de 15 tours par seconde.
- Il en résulte une ondulation à 135 Hz sur le diagramme de rayonnement cardioïde initial.
- Cette ondulation à 135 Hz se retrouve également au niveau de la modulation 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 ».

Images : Département d'avionique

Principe de fonctionnement

Détermination du relèvement

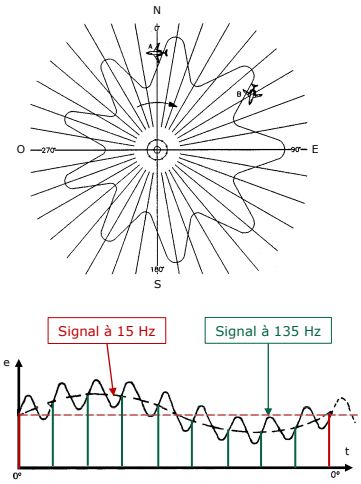


Images : Département d'avionique

- 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 survole donc la radiale 360.

Principe de fonctionnement

Détermination du relèvement

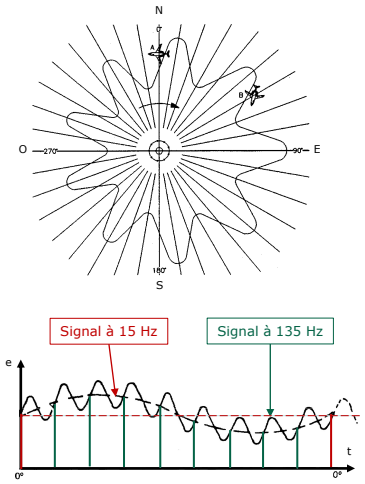


Images : Département d'avionique

- 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.

Principe de fonctionnement

Détermination du relèvement



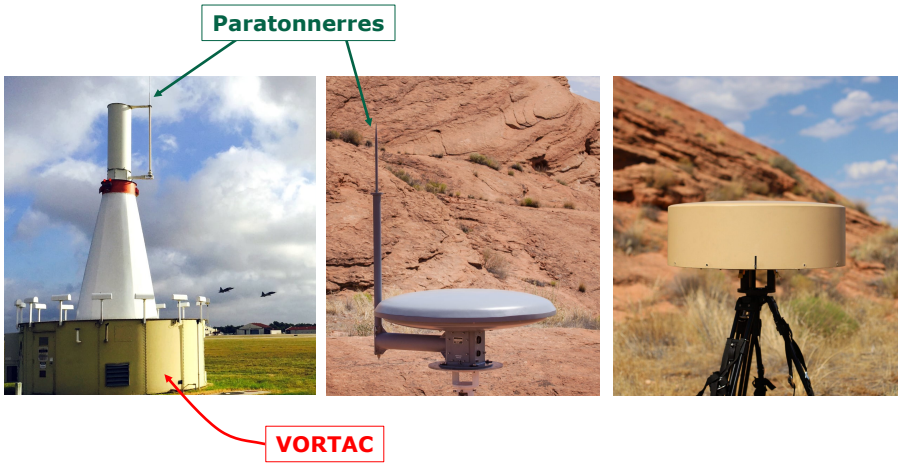
Images : Département d'avionique

- 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.

© Département d'avionique

Antennes des balises au sol

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



Photos : dB Systems

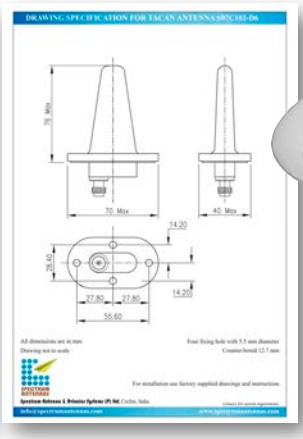
© Département d'avionique

ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Équipement de bord et utilisation

Antennes

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



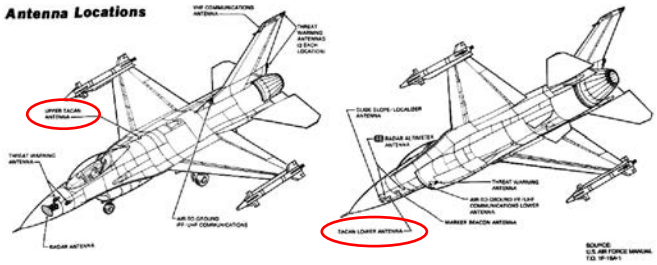
Images : Sensor Systems & Spectrum Antennas

ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Équipement de bord et utilisation

Antennes

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



Photos© Pierre GILLARD

ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

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 :

Images : auteurs inconnus

Sélection du canal

ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

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 :

Images : auteurs inconnus

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).

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 : 083

Sélection du canal 60X

Simulation : Bogey Dope (YouTube)

ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Exemple d'installation civile

King KTU709

Image : King

- 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.

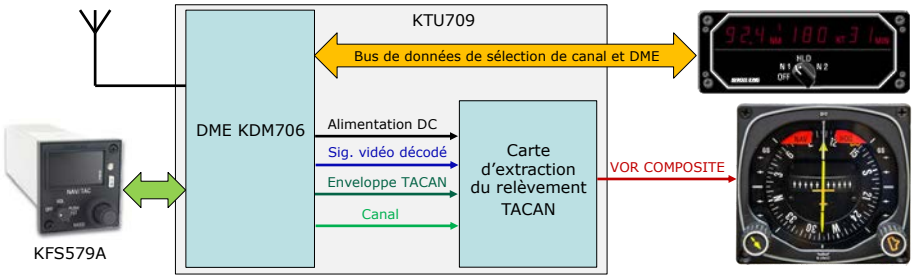


Image : Département d'avionique

Limitations

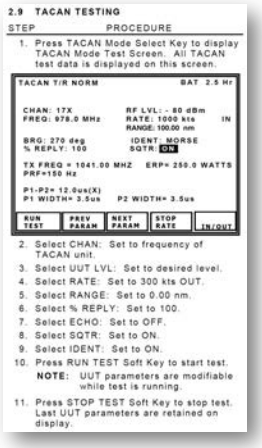
Photo © Pierre GILLARD/2022-904008

- 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.

Test des systèmes TACAN

Tests en ligne (*ramp test*)

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



2.9 TACAN TESTING

STEP	PROCEDURE
1.	Press TACAN Mode Select Key to display TACAN Mode Test Screen. All TACAN test data is displayed on this screen.

TACAN T/R NORM BAT 2.5 Hr

CHAN: 17X RF LVL: - 80 dBm
FREQ: 978.0 MHz RATE: 1000 kts IN
RANGE: 100.00 nm
BRG: 270 deg IDENT: MORSE
% REPLY: 100 SQTR: ON
TX FREQ = 1041.00 MHZ ERP= 250.0 WATTS
PRF=150 Hz
P1-P2= 12.0us(X)
P1 WIDTH= 3.5us P2 WIDTH= 3.5us

RUN TEST | PREV PARAM | NEXT PARAM | STOP RATE | IN/OUT

2. Select CHAN: Set to frequency of TACAN unit.
3. Select UUT LVL: Set to desired level.
4. Select RATE: Set to 300 kts OUT.
5. Select RANGE: Set to 0.00 nm.
6. Select % REPLY: Set to 100.
7. Select ECHO: Set to OFF.
8. Select SQTR: Set to ON.
9. Select IDENT: Set to ON.
10. Press RUN TEST Soft Key to start test.
    NOTE: UUT parameters are modifiable while test is running.
11. Press STOP TEST Soft Key to stop test. Last UUT parameters are retained on display.

Images : Viavi

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

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 :

Images : Viavi

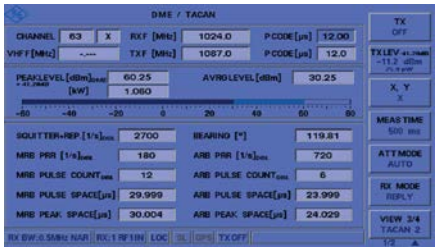
+

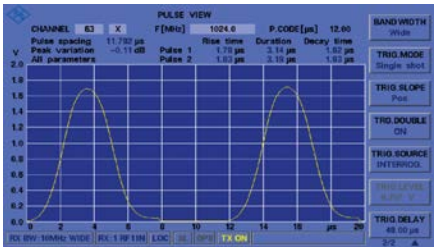
ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Calibration des balises TACAN

Images : Rohde & Schwarz

- 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.





© Pierre GILLARD/2025-911899

Merci de votre attention