

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD-MONTPETIT

Collège Edouard-Montpetit
École nationale d'aérotechnique



© Pierre GILLARD/2013-312585

Le système DME

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD-MONTPETIT

Collège Edouard-Montpetit
École nationale d'aérotechnique

Avant de débuter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Présentation du cours



© Pierre GILLARD/2014-132949

- Généralités.
- Principe de fonctionnement.
- Fréquences et canaux du DME.
- Installations au sol.
- Équipement 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

Généralités

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

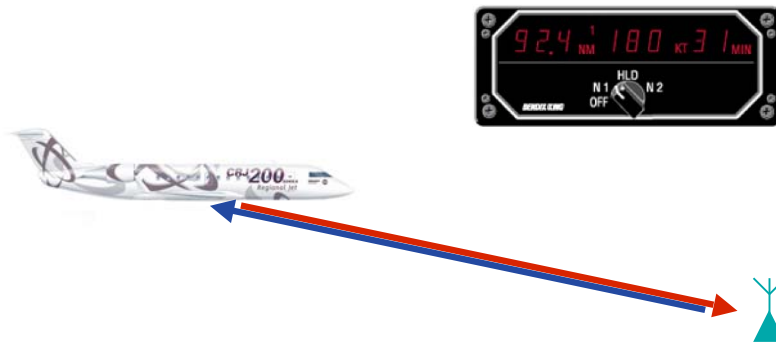


© Département d'avionique

Document à des fins de formation

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 :



Principe de fonctionnement



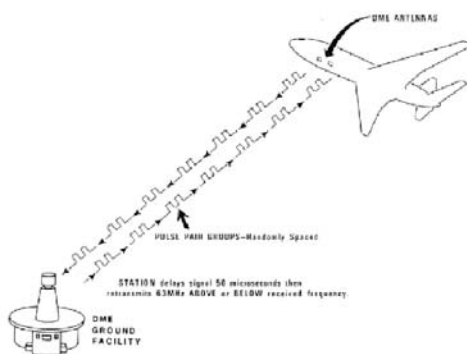
- Le calculateur du DME détermine le temps que met un signal, émis par lui, pour effectuer un aller-retour à la station au sol.
- La durée du voyage du signal est convertie en distance, car les ondes radio voyagent à une vitesse constante équivalente théoriquement à la vitesse de la lumière, soit 300 000 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.

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.

Principe de fonctionnement

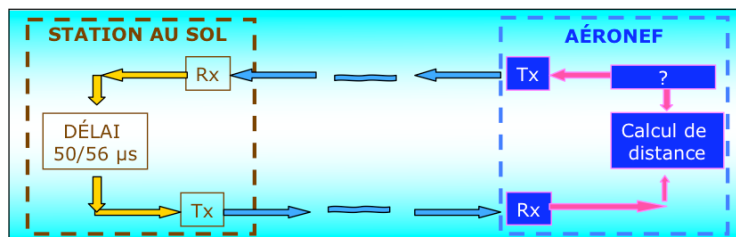


- L'équipement de bord émet des paires d'impulsions à l'intention d'une station au sol; chaque interrogation provenant d'un aéronef possède une configuration unique.
- Après un délai de 50 ou 56 μ s, la station au sol reproduit le signal reçu de l'aéronef, mais avec une fréquence de 63 MHz en dessous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

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 :

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



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.
- À 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.

Fréquences et canaux du DME

Lien entre les fréquences VHF et les canaux DME X

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 DME Y, ajouter 0,05 MHz à la fréquence

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 : <i>pas utilisés</i>
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 : <i>pas utilisés</i>
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

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 »).



© Pierre GILLARD/2008 - 15991

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.



ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD-MONTPETIT

Collège Edouard-Montpetit
École nationale d'aérotechnique


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 l'ETE

Affichage



Interrupteur « marche-arrêt »

Sélecteur de fréquences

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD-MONTPETIT

Collège Edouard-Montpetit
École nationale d'aérotechnique

Équipement de bord

Dans le cockpit

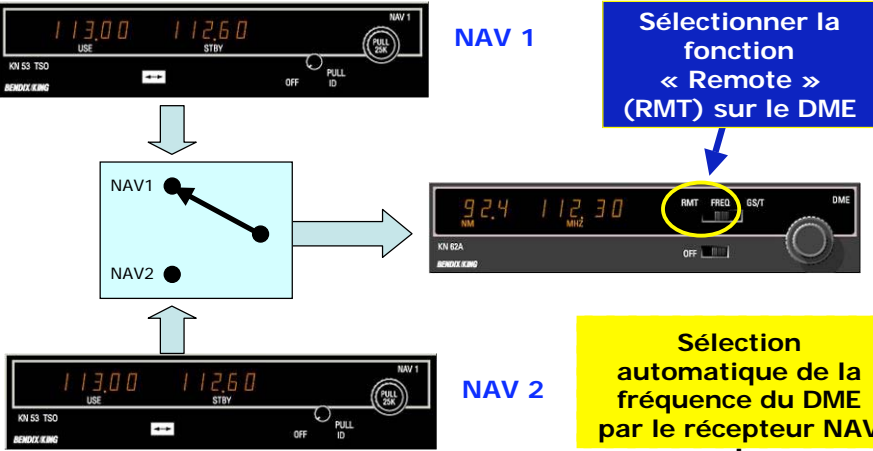
- Système simple pour aviation générale :

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

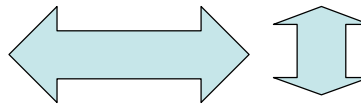
Dans le cockpit

- 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



Bendix King

Équipement de bord

Dans le cockpit

- Système pour aviation commerciale ou d'affaires :



FMS



EFIS



FD
AFCS

Équipement de bord

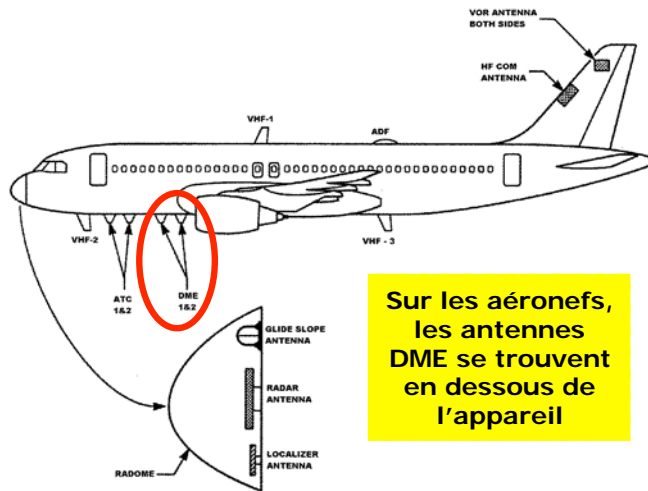
Les antennes



Comant Industries
Antenne pour avions rapides



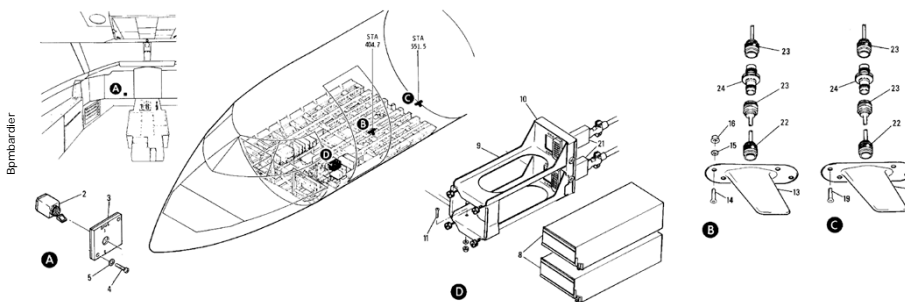
Antenne pour aviation générale



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

Équipement de bord

Exemple d'installation DME



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 ?

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.

Fonctionnement du DME

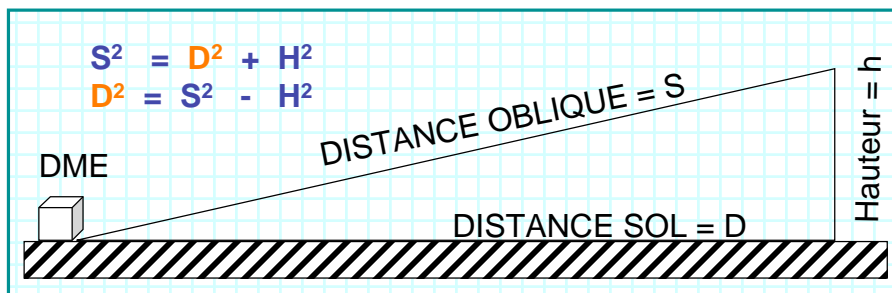
- Une fois qu'il aura identifié ses paires d'impulsions à lui, le DME pourra déterminer la distance et, après un certain nombre de mesures, extrapoler la vitesse et les paramètres de temps.
- En phase de recherche, le DME envoie de 120 à 150 interrogations par seconde (*PRF, Pulse Recurrence Frequency*).
- 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.

Propriétés du DME

- Le DME est une aide à la navigation très précise (0,25 NM).
- Trois mesures de distances (ρ, ρ, ρ) 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 réfraction 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).

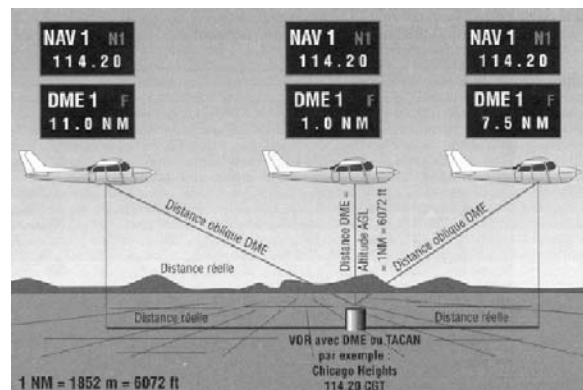
Propriétés du DME

- 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 systèmes de gestion de la navigation (FMS) effectueront la correction car ils peuvent déterminer la hauteur (h) à l'aide d'autres capteurs.



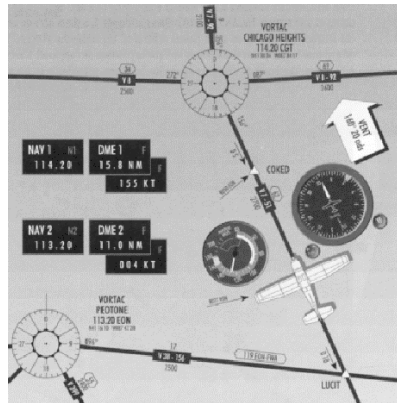
Propriétés du DME

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



Utilisation du DME

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



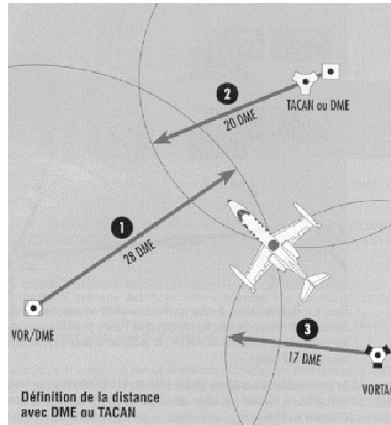
Utilisation du DME

- 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'ancêtre des FMS :



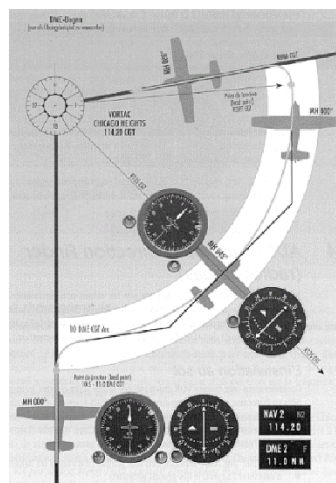
Utilisation du DME

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



Utilisation du DME

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



Tests fonctionnels des systèmes DME

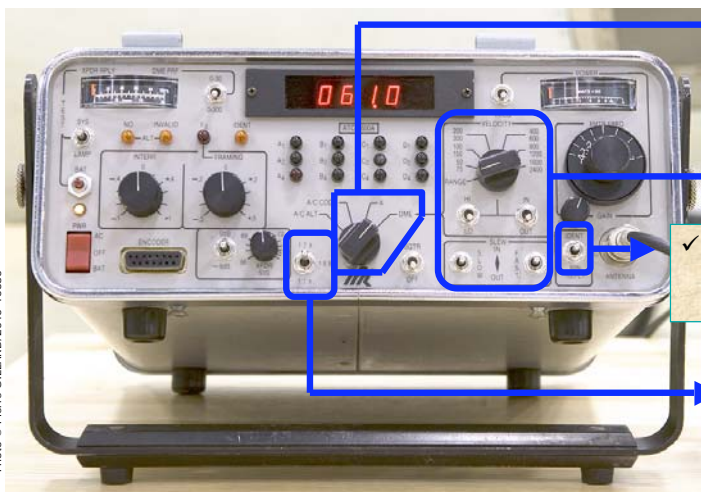
- Un test en piste (*Ramp Test*) peut être effectué pour vérifier et certifier les systèmes DME.
- Le technicien utilisera un banc de tests portable; il s'agira, en général du même appareil qui sert à tester les systèmes transpondeurs.



Aeroflex

Tests fonctionnels des systèmes DME

IFR ATC-600A



✓ Fonction test du DME.

✓ Sélection vitesses/distances.

✓ Vérification du code d'identification.

✓ Sélection de canal.

Photo © Pierre GILLARD/2010-15380

Tests fonctionnels des systèmes DME

Distance entre les antennes



Photo © Pierre GILLARD/2010-15386

Le TACAN

Présentation



U.S.A.F./AFCA

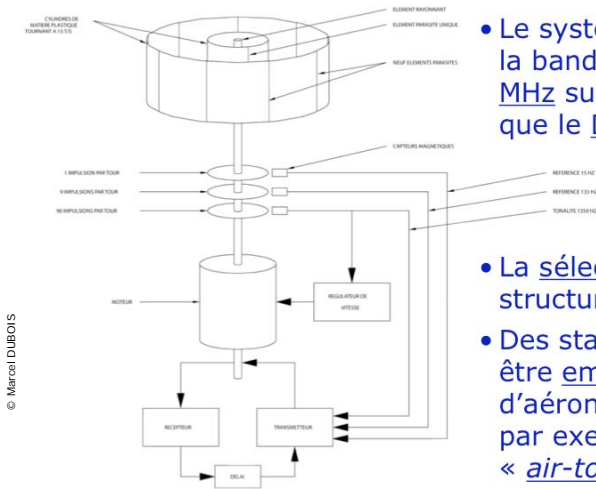


U.S.A.F./AFCA

- Le système TACAN est composé d'un DME ainsi que d'un dispositif rotatif permettant à l'utilisateur d'effectuer un relèvement.
- 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 relèvement.
- Il existe souvent des balises au sol combinées VORTAC.

Le TACAN

Présentation



• Le système TACAN opère dans la bande de 960 MHz à 1215 MHz sur les mêmes fréquences que le DME.

- La sélection des fréquences est structurées en canaux.
- Des stations TACAN peuvent être embarquées à bord d'aéronefs (AWACS, Tankers, par exemple) et donc être « air-to-air ».

Le TACAN

TACAN embarqué



© Pierre GILLARD/2009-04579



185th Reservoir Dogs VFS

TACAN STATION SELECTOR

MODE SWITCH

MILES FROM SELECTED TACAN STATION



185th Reservoir Dogs VFS

RED ARROW POINTING IN DIRECTION OF THE SELECTED TACAN STATION

CNI SWITCH

TACAN FUNCTION KNOB

Le TACAN

Station TACAN embarquée à bord d'un avion avitailleur



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

Conclusions



© Pierre GILLARD/2012-219730

- 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.



© Pierre GILLARD/2014-319886

Merci de votre attention