

# Ecole de Chasse C6

---

## Orientation et navigation TACAN

*Version 2.0, de décembre 2015*

## Table des matières

<b>I – Introduction</b>	3
<b>II – Le TACAN (principe de fonctionnement)</b>	4
<b>III – Le F-16 et le TACAN</b>	7
- Antennes	7
- Sélection de la balise TACAN : canal et bande	8
- HSI : sélection du mode	10
<b>IV – HSI et orientation dans le plan</b>	11
<b>V – Navigation TACAN</b>	16
- placement sur une radiale	16
- suivre un arc TACAN	20
- interception de radiale à une distance déterminée	23
<b>V – TACAN Air/Air</b>	28

## I – INTRODUCTION

Dans un premier temps, on essaiera de comprendre ce qu'est un TACAN, et comment ce système fonctionne.

Dans un second temps, on verra comment utiliser les instruments du F16 afin de s'orienter dans le plan. Puis on approfondira le sujet afin de naviguer avec cet instrument.

Enfin, on abordera le sujet du TACAN Air/Air.

## II – Le TACAN : TACTical Air Navigation.

### Définition

Le TACAN est un système de navigation militaire, qui permet de se situer par rapport à une balise, en distance et en direction (relèvement).

Des signaux radio sont échangés entre l'avion (interrogation) et la balise (réponse). Ils sont émis dans la plage de fréquence 962-1215 MHz (avec un espacement de 1 MHz entre chaque canaux). La différence de fréquence, entre l'interrogation (émise par l'avion) et la réponse (donnée par la balise) est de  $\pm 63$  MHz.

La balise est généralement au sol, mais elle peut aussi être embarquée par un avion (ravitailleur par exemple) ou un bateau (porte-avions). Elle est capable de répondre à 100 interrogations simultanées.

Symbole d'une balise TACAN :



Antenne TACAN de la balise de KUNSAN (Théâtre KTO) dans Falcon BMS :

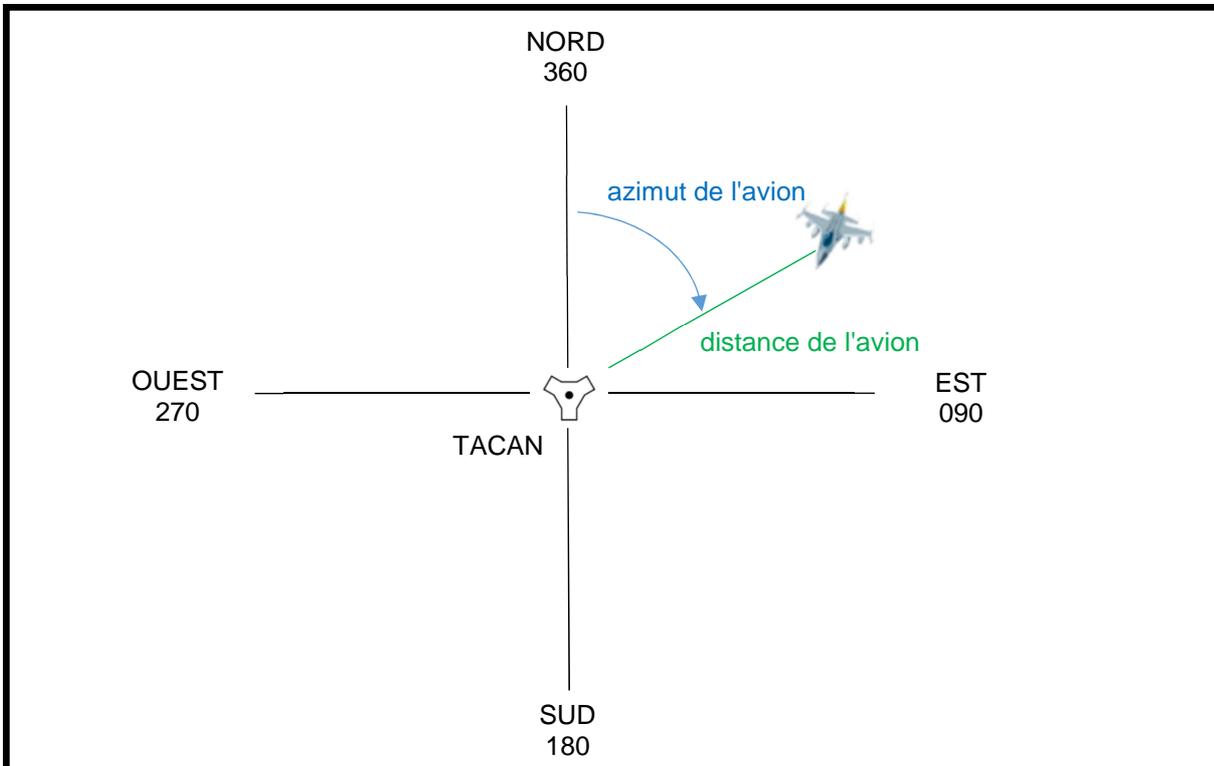


Remarques :

- Le canal 1 est composé des fréquences 962 MHz et 1025 MHz.
- Il existe 126 canaux disponibles pour le TACAN.

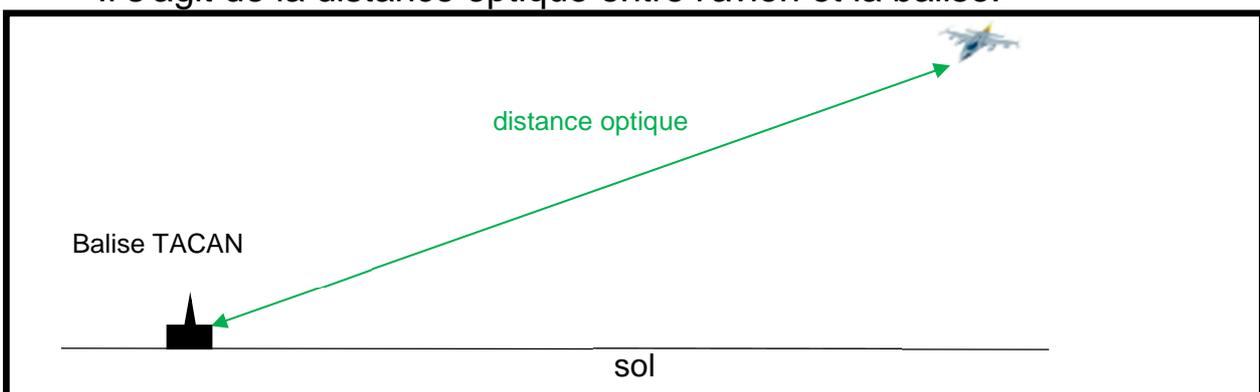
## Fonctionnement

Le TACAN permet d'avoir deux informations de positionnement relatives à la balise : une distance et un relèvement.



## Distance

Il s'agit de la distance optique entre l'avion et la balise.



### Détermination de la distance :

La distance est calculée selon le même principe que celui de l'écho radar (en connaissant la vitesse de l'onde électromagnétique, et en mesurant le temps de parcours, on en déduit une distance).

L'avion émet une interrogation, la balise TACAN reçoit ce signal et répond 50  $\mu$ s plus tard. L'avion reçoit la réponse. La vitesse du signal est d'environ

6  $\mu$ s/NM. En mesurant le temps entre l'émission et la réception, le système de l'avion calcule sa distance à la balise.

En réalité l'avion émet 2 impulsions. Le temps séparant ces 2 impulsions correspond à la bande X (12 $\mu$ s entre les deux impulsions) ou Y (32  $\mu$ s). Cela permet de doubler les stations sur le même canal.

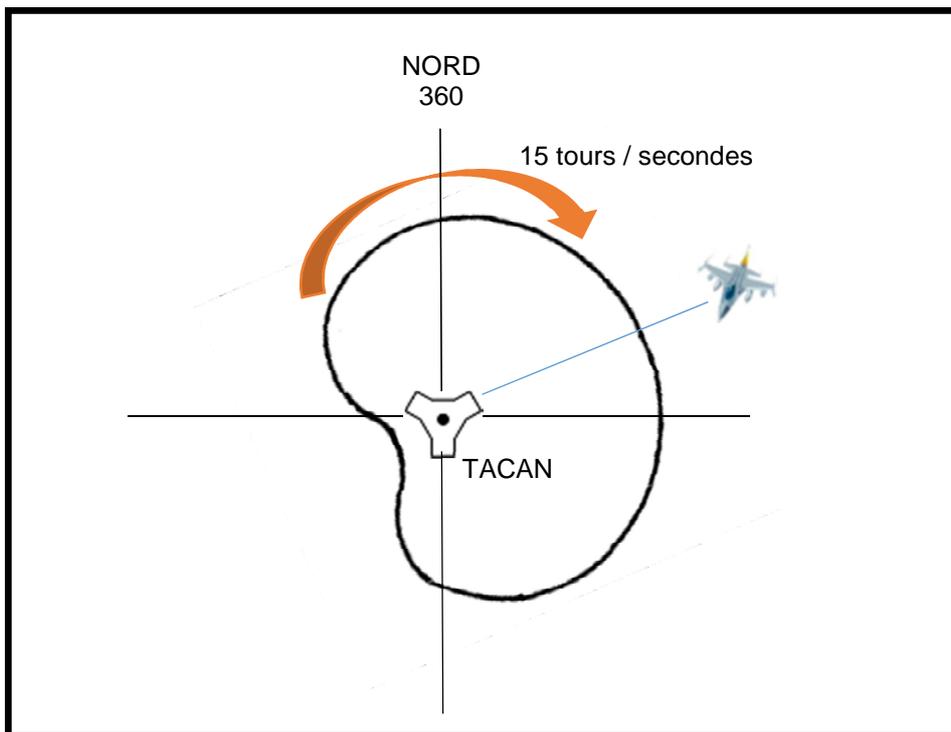
## L'azimut

Il s'agit de l'azimut de l'avion par rapport à la balise, ou en d'autres termes, la valeur de l'angle entre le nord de la balise, la balise et l'avion.

### Détermination de l'azimut :

Le calcul de l'azimut est obtenu par une subtilité du signal discuté précédemment.

Ce signal a une amplitude modulaire (c'est-à-dire que "la puissance" du signal est variable). L'amplitude du signal se fait suivant une conchoïde (c'est le nom de la courbe en forme de haricot du schéma ci-dessous). Cette modulation tourne à 15 Hz.



A l'instant représenté ci-dessus, un avion au nord de la balise reçoit un signal d'amplitude plus forte qu'un avion à l'ouest de la balise.

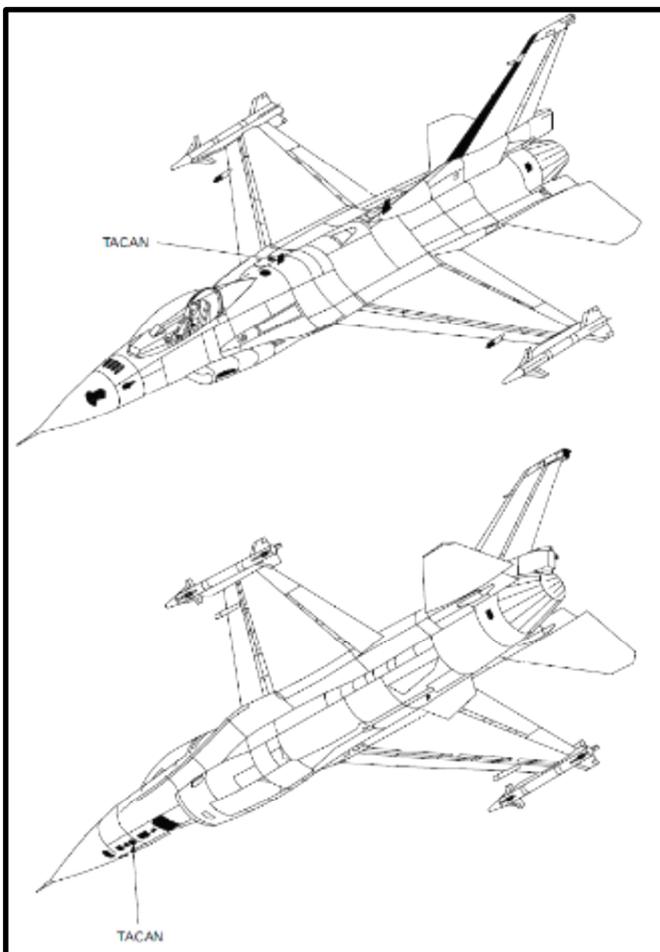
Lorsque l'axe de la conchoïde passe par le nord, des impulsions particulières sont émises. En mesurant le déphasage entre ces impulsions, et le moment où l'axe de la conchoïde arrive sur l'avion, on peut calculer l'azimut de l'avion.

### III – le F-16 et le TACAN

Le TACAN est un signal radio, il convient donc de configurer l'avion afin de pouvoir interroger et recevoir la réponse sur la fréquence qui nous intéresse.

#### Les antennes

Le F16 possède 2 antennes TACAN, une supérieure, sur le dos de l'avion à l'arrière du cockpit, une inférieure, sous le nez de l'avion. Elles permettent une couverture du signal dans toutes les directions, quelle que soit l'attitude de l'avion.



## Sélection de la balise TACAN : canal / bande

Le F16 offre 2 manières de sélectionner la balise TACAN que l'on souhaite interroger : une méthode normale avec l'UFC (Up Front Control), et un moyen de secours via le panneau AUX COMM.

### Up Front Control

La sélection est réalisée via l'ICP / DED (le CNI doit être sur UFC).



La page TACAN/ILS est affichée via le bouton [1 T-ILS] de l'ICP.

Le mode d'interrogation T/R ou A/A peut être modifié via un DCS SEQ (interrupteur RTN/SEQ poussé vers la droite).

La page possède une zone de saisie désignée par le *scratchpad* (entre les astérisques). Le canal est choisi par la validation d'un nombre de 1 à 3 chiffres dans la zone de saisie. Le canal sélectionné est affiché dans le champ CHAN.

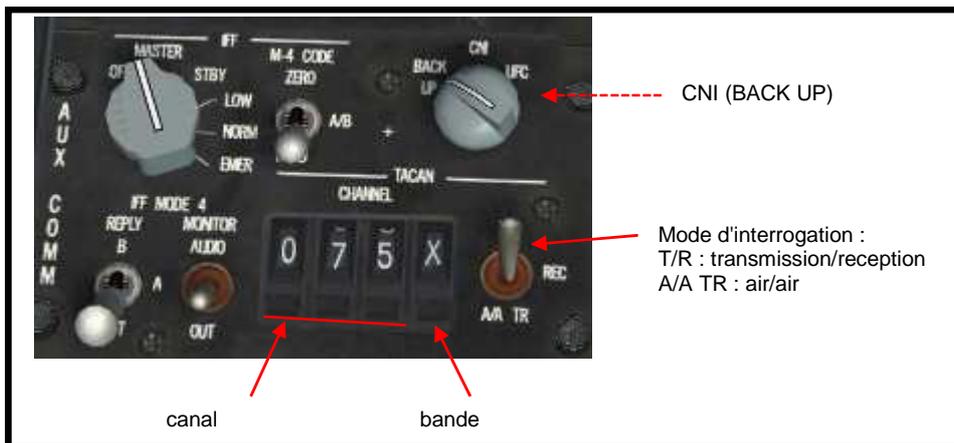
La bande, X ou Y, est modifiée en validant l'entrée d'un 0 dans la zone de saisie.

Sur la figure ci-dessus, on a donc saisi le TACAN : 75X (canal 75, bande X).

## Panneau AUX COMM

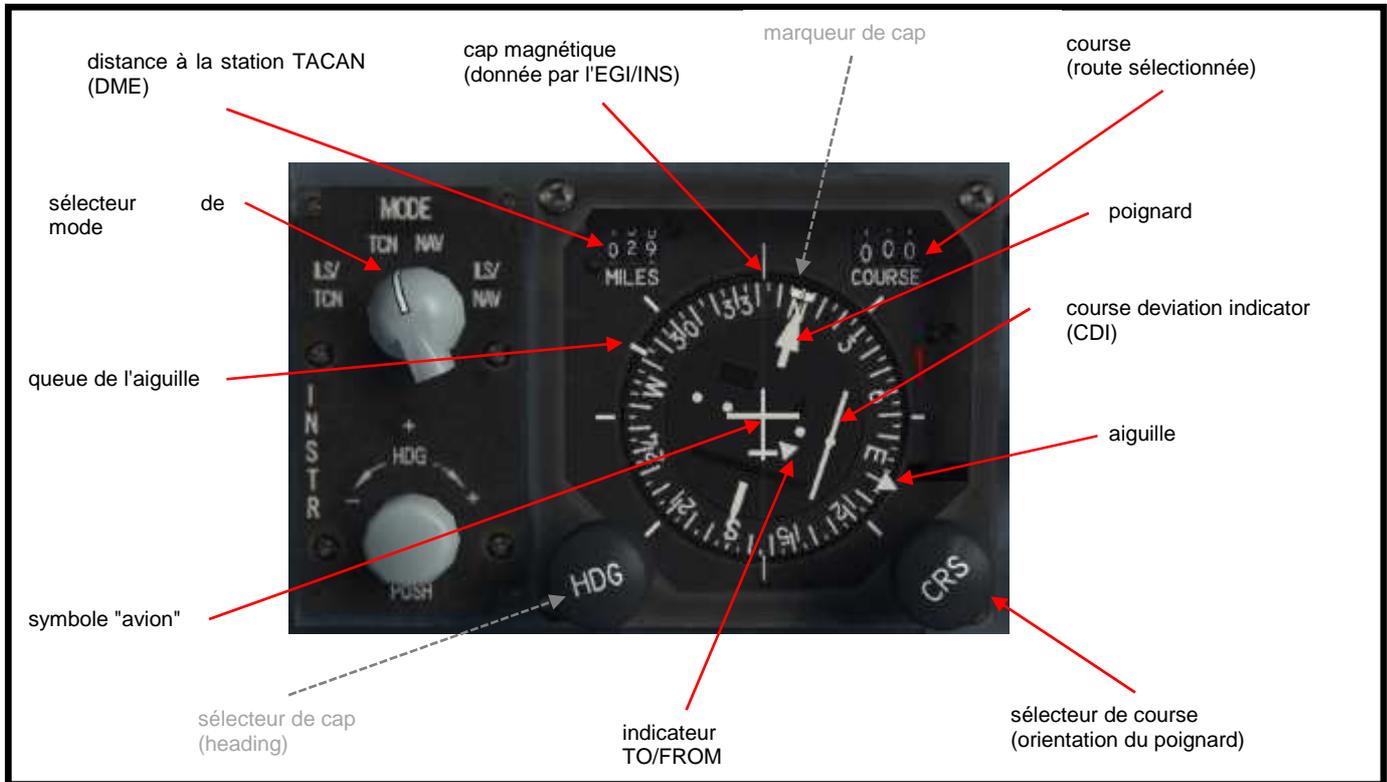
Dans le cas où l'UFC est indisponible, la sélection peut se faire via le panneau AUX COMM ---TACAN --- , situé sur la banquette gauche, en arrière de la manette des gaz.

Remarque : le commutateur rotatif CNI doit être sur la position BACK UP.



## Horizontal Situation Indicator (HSI) : sélection du mode

Les informations du TACAN sont affichées sur le HSI, instrument de navigation placé entre les jambes du pilote.



### Sélecteur de mode :

Le sélecteur de mode permet de définir quelle est la référence pointée par l'aiguille :

- en mode TCN ou ILS/TCN, l'aiguille pointe vers la station TACAN.
- en mode NAV ou ILS/NAV, l'aiguille pointe vers le point de navigation sélectionné (les informations de distance et d'azimut sont alors données par la centrale EGI/INS).

### Remarques :

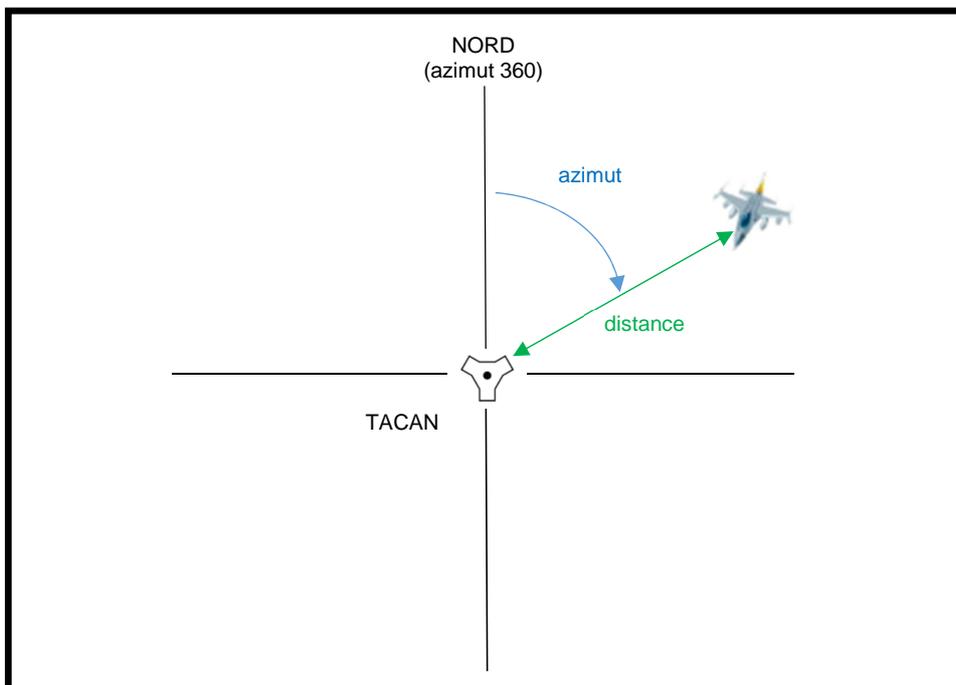
- l'utilisation du poignard ne sera pas développée car c'est seulement un outil de précision. Les indicateurs CDI, et TO/FROM ne seront pas abordés.
- l'utilisation du sélecteur de cap (rotateur HDG) et du marqueur de cap (qui permettent l'utilisation du pilotage automatique dans un mode particulier) ne sera pas traitée ici.

## IV – HSI & orientation dans le plan

Maintenant que nous avons vu comment fonctionne la balise TACAN, et vu comment configurer l'avion pour recevoir et afficher ces informations, on va s'intéresser à notre position, dans le plan, par rapport à la balise.

### Coordonnées polaires et simplification

On va donc travailler en "coordonnées polaires" par rapport à la balise. C'est-à-dire que la position de notre avion par rapport à la balise est définie par notre position angulaire par rapport au nord, d'une part, et notre distance à la balise, d'autre part.



*Pour simplifier, dans la suite du document, on va raisonner dans le plan, comme si la distance lue était la projection sur le sol de notre distance à la balise. C'est une grosse simplification puisque la distance est optique, et que notre altitude est rarement négligeable.*

*En ce qui concerne la navigation abordée aux paragraphes suivants, il faut être conscient que notre raisonnement sera juste dans le cas où : notre altitude ne varie pas ET notre distance à la balise reste constante. Si notre altitude varie, si on s'approche ou l'on s'éloigne de la balise, on ajoute cette erreur aux manœuvres qu'on réalise. Plus on est haut et proche de la balise, et plus cette erreur est grande.*

## Définitions

On va commencer par définir quelques termes qui vont nous permettre de décrire notre position dans le plan, par rapport à la balise.

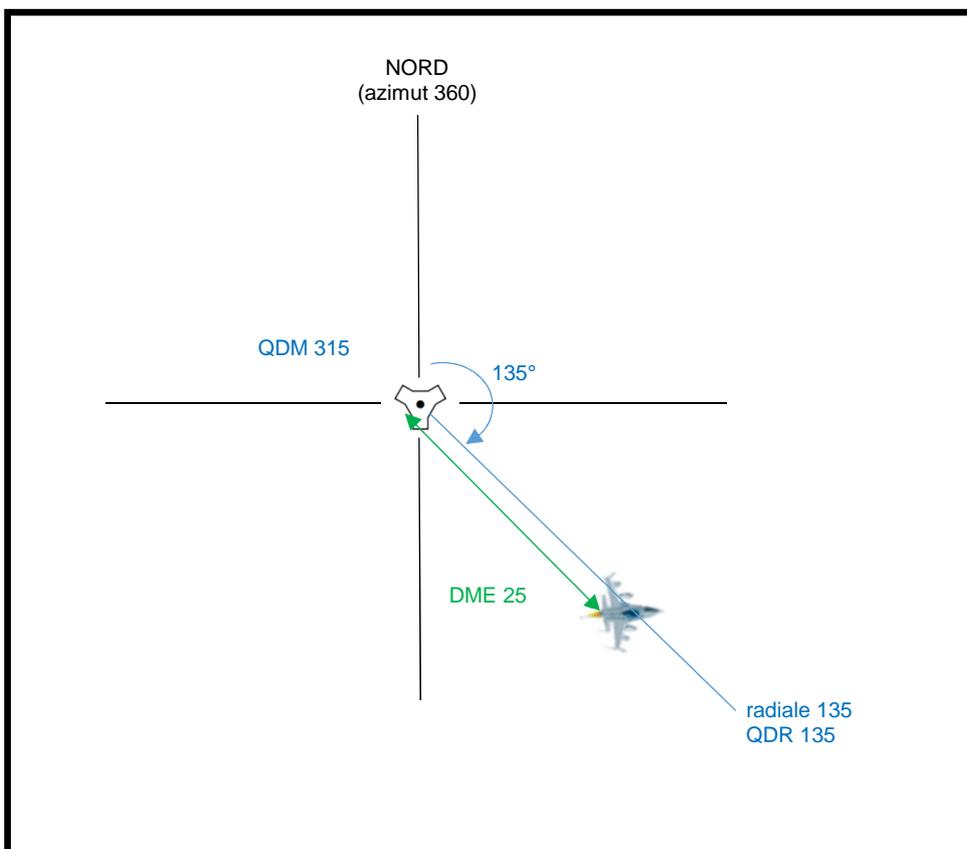
DME : distance entre l'avion et la balise (en NM).

QDR : azimuth de l'avion par rapport à la balise (en ° par rapport au nord).

Radiale : c'est une demi-droite qui a la balise pour origine. On la désigne par la valeur de son angle par rapport au nord (égal au QDR).

QDM : azimuth de la balise par rapport à l'avion (en ° par rapport au nord).

$QDM = QDR \pm 180$



On peut dire que l'avion est

- au DME 25
- au QDR 135
- sur la radiale 135
- au QDM 315

Et encore :

- au sud de la radiale 090
- à l'est de la radiale 180

Remarque :

Moyen mnémotechnique pour ne pas confondre QDM et QDR, pensez M=Maison=azimut vers la balise 😊.

## Où est la balise (par rapport à l'avion) ?

Pour savoir où est la balise par rapport à nous, on va devoir lire deux informations sur le HSI : le DME et le QDM.



Le DME se lit directement en haut à gauche de l'instrument.

Le QDM se lit avec la flèche de l'aiguille.

L'instrument est gradué tous les 5°, et les azimuts sont indiqués en dizaine de degrés.

La balise est donc au relèvement 315, à 25 NM de nous.

Si on veut rejoindre la balise, qui est derrière notre épaule gauche, il faudra donc virer à gauche du cap actuel 085 jusqu'à atteindre le cap 315 (vers la balise).

On peut se représenter la position de la balise par rapport à l'avion en imaginant que la balise est la flèche de l'aiguille (et l'avion à la place du symbole avion au centre du HSI).

## Où est l'avion (par rapport à la balise) ?

La plupart du temps, c'est plutôt la réponse à cette question qui nous intéresse. Non pas car on est perdu (quoique ^^), mais plutôt car c'est cette représentation qui va nous permettre d'anticiper les questions suivantes : "où je veux aller" et "comment j'y vais".

Pour connaître notre position par rapport à la balise (ou au point de référence sélectionné), on a encore besoin de deux informations (un angle et une distance) : le QDR et le DME.



Le DME se lit (encore) en haut à gauche.  
Le QDR se lit avec la queue de l'aiguille.

On est donc sur la radiale 135, à 25 NM de la station.

Si on veut compléter cette position pour avoir l'orientation de l'avion dans le plan, il faut également lire notre cap, soit 085.

On peut alors se représenter mentalement les deux points dans l'espace ainsi que notre cap et avoir une représentation de la position de notre avion dans le plan par rapport à la balise et notre direction de val par rapport à celle-ci.

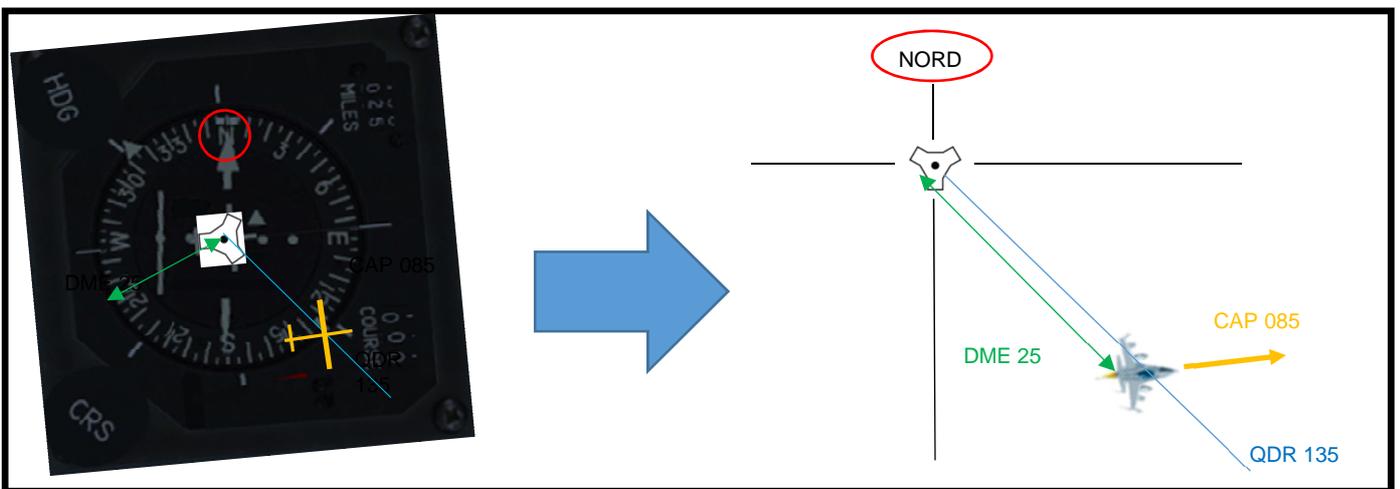
Pour faciliter cette représentation mentale, et passer du HSI à notre position dans le plan, il y a une méthode visuelle.

Pour cela, on se représente le HSI tel que :



- la balise est au centre du HSI (à la place de l'avion qui nous représente habituellement).
- notre avion est à la place de la queue de l'aiguille TACAN.
- le rayon du HSI est égal au DME.

En imaginant une rotation de la figure pour retrouver le nord en haut (comme pour lire une carte), on retrouve la situation présentée au début du paragraphe.



## V – Navigation TACAN

### Placement sur une radiale

Maintenant que l'on sait où est la balise par rapport à nous, et que l'on sait où l'on est par rapport à la balise, il est intéressant de savoir rejoindre une radiale déterminée. Par exemple, afin de rejoindre l'axe de la piste quand la balise sélectionnée est située à proximité du terrain.

Pour cela, on va suivre les étapes suivantes :

- déterminer où est l'avion par rapport à la balise (voir le § précédent).
- déterminer où est la radiale qui nous intéresse.
- manœuvrer pour rejoindre cette radiale.
- intercepter cette radiale (en direction de la balise par exemple) ; c'est-à-dire se placer dessus.

### Exemple :

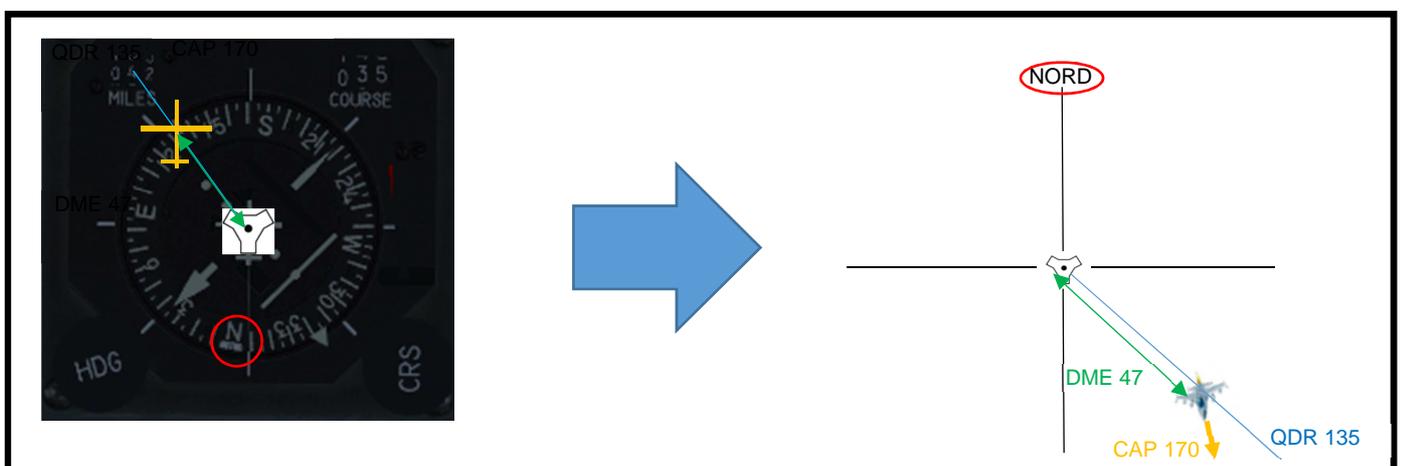


On est à 47 NM de la balise de KUNSAN, sur la radiale 135, établi au cap 170.

Notre objectif est de rejoindre le QDM 360 et de prendre un cap 360 (pour se poser sur la piste 36 par exemple).

Il faut donc rejoindre le sud de la balise, et une fois sur la radiale 180 (QDM 360 – 180 = QDR 180), prendre un cap au nord (cap au 360) vers la balise.

Si nécessaire, on se représente la situation dans le plan :



On doit donc repérer la radiale 180, voir sa position par rapport à nous et manœuvrer pour la rejoindre.



On choisit ici de virer par la droite jusqu'au cap 270 (ouest).



Au fur et à mesure que l'on se dirige vers l'ouest, notre QDR augmente (et on peut voir la queue de l'aiguille "remonter") :  
On a atteint la radiale 160... puis 170...



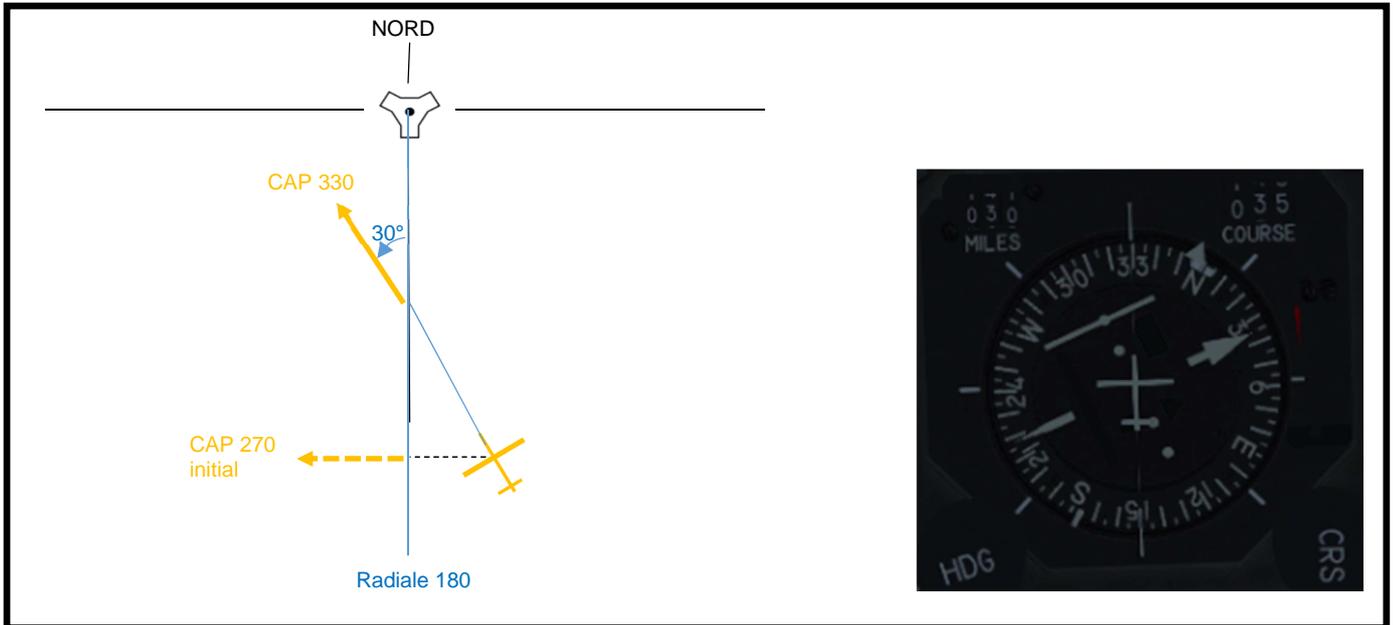
Si on imagine à nouveau notre avion à la place de la queue de l'aiguille, et la balise au centre du HSI, on voit bien que notre avion remonte les radiales au fur et à mesure qu'on se dirige au cap 270.

Il faut maintenant virer au nord pour s'établir sur le QDM 360.

Si on était capable de virer instantanément sur place, on continuerait au cap 270, jusqu'à ce qu'on atteigne le QDR 180. C'est-à-dire qu'on soit exactement sur la radiale 180 ou, en d'autres termes, que la queue de l'aiguille soit exactement sur la graduation du S (Sud).

Encore une fois, on peut imaginer que notre avion est à la place de la queue de l'aiguille et la balise au centre du HSI : si la queue de l'aiguille est sur le S, notre avion est bien au Sud de la balise ☺.

Mais nous avons un rayon de virage non négligeable, donc pour éviter de faire un virage trop important, on va réduire cet angle afin d'intercepter la radiale sous 30°.



On veut s'établir sur le QDM 360, on est au cap 270, on va donc virer vers la droite. On va donc enlever 30° au QDM pour s'établir sur un cap d'interception à 30°. On prend donc un cap 330. On termine alors la manœuvre par un virage à droite jusqu'au cap 360.



Une fois établi au cap 360, on est bien sur la radiale 180, en route vers la balise.

Remarque :

- On peut utiliser le même principe pour s'éloigner de la balise sur une radiale donnée. Il faudra alors virer vers la queue de l'aiguille.
- On peut choisir d'intercepter sous 45° au lieu de 30°. La méthode reste la même, seul le cap à prendre avant d'arriver sur la radiale sera différent (dans l'exemple précédent, on aurait pris un cap 315). Le virage d'alignement sur la radiale devra être légèrement plus anticipé.
- Si on est trop près de la balise, on risque de passer "de l'autre côté" de la balise et d'intercepter la radiale opposée à celle recherchée.

**Poignard et CDI (Course Deviation Indicator)**

Afin de se placer de manière très précise sur une radiale (par exemple pour réaliser une finale ILS), on peut utiliser le poignard, au centre du HSI. Cet outil est une aide intéressante mais *n'est absolument pas indispensable à la navigation TACAN*. Il s'agit simplement d'un outil « d'affinement ».

Le poignard pointe sur la radiale (course) sélectionnée, et la barre du CDI bouge pour donner l'écart en degrés avec la radiale, dans la limite de 2,5° (chaque point valant 0,5°). Si la barre du CDI est au centre, il n'y a aucun écart : l'avion est précisément sur la radiale pointée par le poignard.

Voici les différents HSI lors des manœuvres de l'exemple précédent.

On a donc réglé la course au 360 (affichage 000), avec le commutateur rotatif « CRS » en base à droite du HSI. Une fois établi sur le QDM, on a l'aiguille TACAN parfaitement alignée avec le poignard.

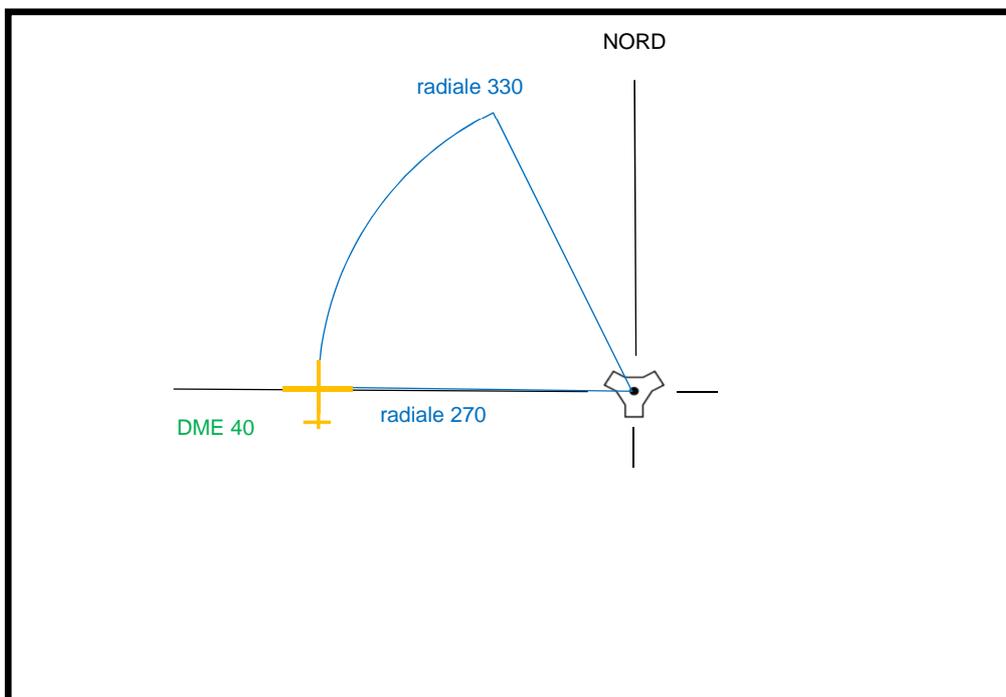


## Suivre un arc TACAN

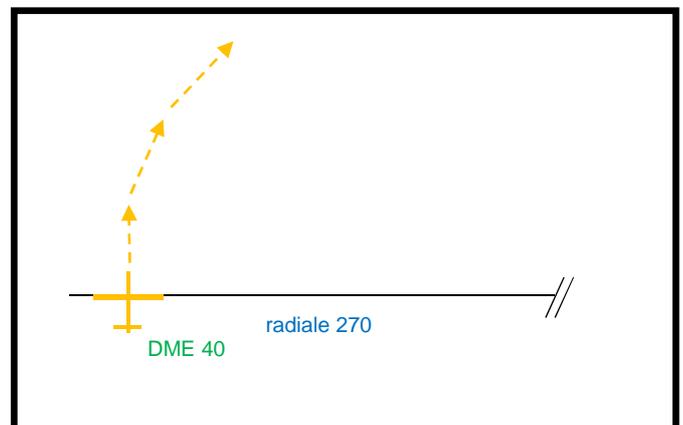
L'arc TACAN est défini par le rayon du cercle correspondant à la trajectoire de l'avion, le sens de rotation de l'avion autour de la balise, la radiale de début et la radiale de fin.

Il s'agit tout simplement de « tourner » autour de la balise, en restant à la même distance.

Dans l'exemple développé ci-dessous, on va réaliser un arc, à 40 NM de la balise, de la radiale 270 à la radiale 330, dans le sens horaire. On va débuter d'une situation où l'on a déjà manœuvré pour mettre la balise dans les 3h de l'avion.



Le premier point d'importance est que l'on ne va pas suivre une trajectoire tout à fait circulaire. On va se "contenter" de piloter l'avion suivant des cordes ; des segments si l'on veut, du cercle. Cela permet d'avoir une discontinuité entre les manœuvres, et ainsi de séquencer le pilotage sur l'arc. On pourra donc facilement réaliser d'autres actions en parallèle, et ne pas devoir se concentrer constamment sur la tenue d'un arc « parfait ».



Le deuxième point est qu'on va monitorer le HSI pour contrôler notre position par rapport à la balise. On gardera donc en tête le schéma présenté précédemment : imaginer la balise au centre du HSI, imaginer l'avion à la queue de l'aiguille, avec le rayon HSI qui correspond au rayon de l'arc.



Voici le HSI dans la situation initiale.

On va continuer au cap 360 et laisser l'avion "remonter les radiales". La queue de l'aiguille remonte donc progressivement pendant que l'on va vers le nord. On est établi sur la première corde de l'arc.



On va rester au cap jusqu'à ce que l'on ait changé de 5° de radiale.

Dès que l'on est sur la radiale 275 (voir ci-contre), on va refermer le virage vers la balise pour se placer sur la corde suivante.



On vire à droite jusqu'à ce que la flèche de l'aiguille soit 5° au-dessus de la marque des 3h puis on rétablit, ailes à plat.

Distance à la balise : 40 NM - Radiale : 280



On continue en ligne droite. L'avion monte donc les radiales progressivement (la queue de l'aiguille monte, la valeur du QDR augmente).

La flèche de l'aiguille descend donc progressivement. La balise passe à nos 3h.

On attend que la flèche soit 5° en dessous de la marque des 3h.



On referme alors la trajectoire en virant de nouveau à droite, jusqu'à ce que la flèche soit 5° au-dessus de la marque des 3h, puis on rétablit.

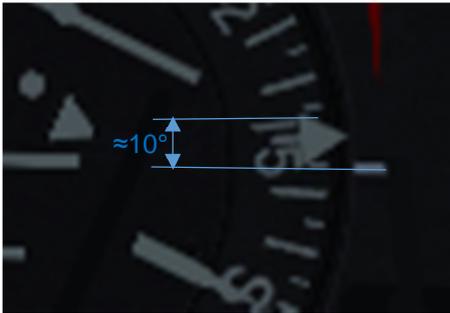
Distance à la balise : 40 NM - Radiale : 290

On continue à enchaîner ce cycle de manœuvre jusqu'à atteindre la radiale prévue.



### Remarques :

- On notera que la queue de l'aiguille tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour du centre du HSI. Notre DME ne varie pas, donc nous sommes bien établis sur le cercle.



- La base de la flèche de l'aiguille TACAN fait environ  $10^\circ$  de largeur (donc la moitié de la base de la flèche correspond à  $5^\circ$ ). Ce repère visuel permet de déclencher les virages successifs et les rétablissements sans lire expressément la valeur de la radiale. Il faut donc déclencher les manœuvres au moment où le haut (ou le bas) de la base de la flèche est sur le repère des 3 (ou 9) heures.

- pendant le suivi de l'arc TACAN ou lors de la mise sur le cercle, il est possible que l'on soit un peu trop proche de la balise ( $DME < \text{rayon souhaité}$ ). Pour augmenter le rayon du cercle il faut s'éloigner avant de refermer le virage (par exemple attendre que l'aiguille soit  $8^\circ$  ou  $10^\circ$  sous le repère des 3/9 h). En augmentant la longueur de la corde, on va passer sur un cercle plus grand.

- à l'inverse, si on est trop loin de la balise ( $DME > \text{rayon souhaitée}$ ), il faut au contraire refermer plus tôt : virer dès que l'aiguille TACAN atteint le repère des 3/9h. En réduisant la longueur de la corde, on va passer sur un cercle plus petit.

## **Interception de radiale à une distance déterminée**

### **Interception de radiale à égale distance**

On est sur une radiale, à une distance déterminée de la balise. On va tenter de répondre au problème suivant : quel cap prendre pour rejoindre une autre radiale de cette même balise, à la même distance ?

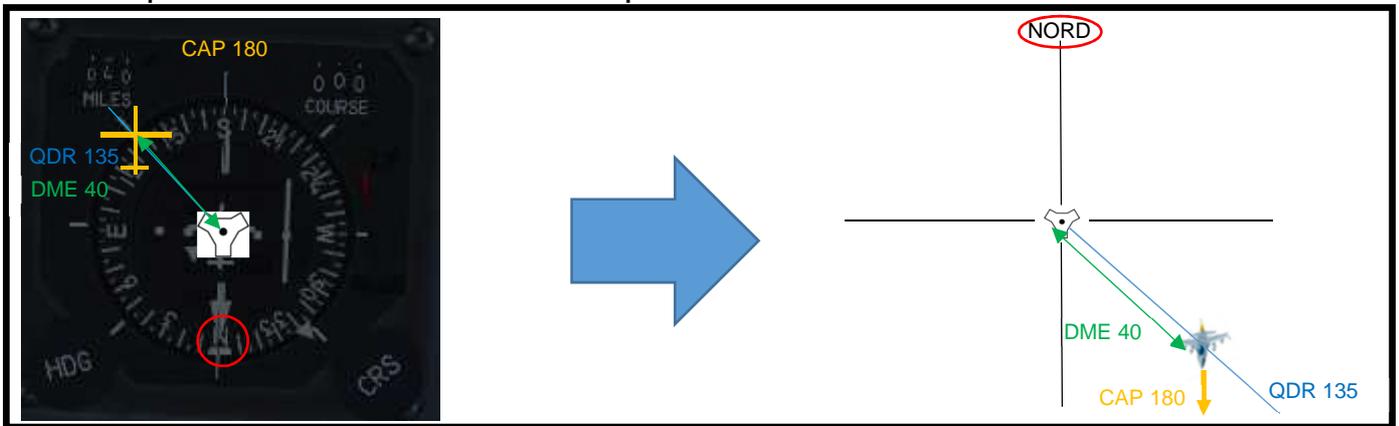
Bien entendu, pour rejoindre notre destination, on pourrait faire un cercle autour de la balise comme discuté au paragraphe précédent, mais on va ici déterminer le trajet direct pour se rendre en ligne droite de notre position à cette destination.

*Le problème peut être résolu facilement par de simples calculs géométriques en raisonnant dans le triangle isocèle, mais ce qui nous intéresse est de trouver une méthode visuelle, facilement et rapidement applicable dans le cockpit, sans calculs ☺.*

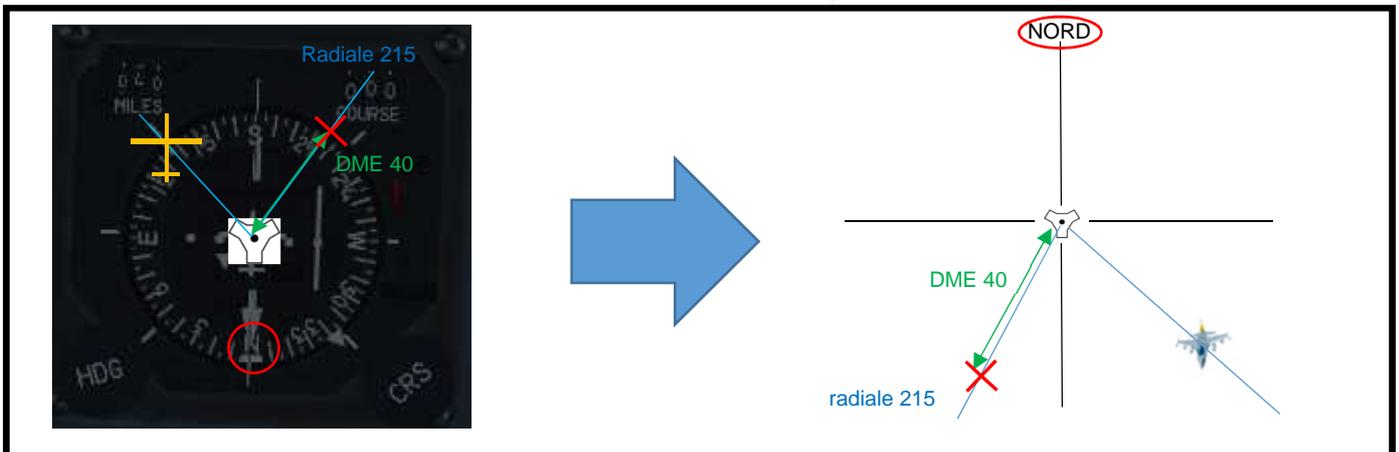


Prenons l'exemple suivant : notre position est QDR 135, DME 40.  
On veut aller sur la radiale 215 à 40 NM.

On se représente la situation dans le plan.

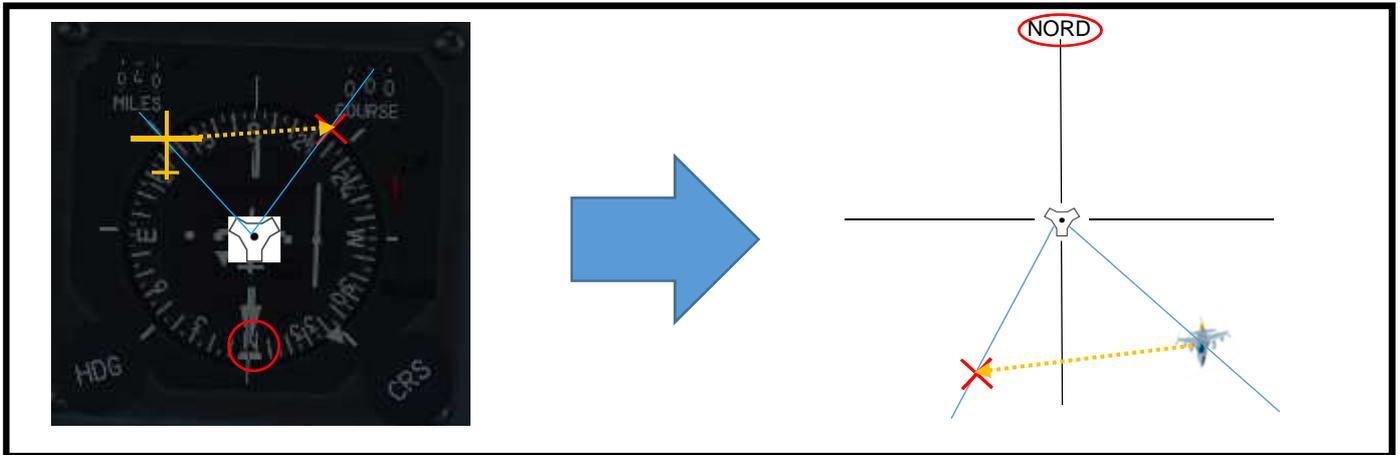


Puis on se représente notre destination (croix rouge).



*Pour rappel, le HSI est un instrument circulaire, tous les points du cercle sont à la même distance du centre. Ici on imagine que le cercle fait 40 NM.*

On trace mentalement la route que l'on veut suivre : soit le vecteur depuis le point radiale 135, DME 40 (donc depuis la queue de l'aiguille) jusqu'au point radiale 215, DME 40 (donc la graduation 215 du HSI).



Le cap de ce vecteur représente le cap que l'on doit prendre pour rejoindre notre objectif. On translate donc ce vecteur au centre du HSI pour lire son orientation sur la rose des vents, soit le cap 265.



### Remarques :

- avec l'habitude, on réalise cette translation mentalement, mais au début, on peut placer ses doigts sur HSI pour "translater" le vecteur et lire son orientation.
- on n'a pas besoin d'une précision au degré près 😊. Dans ce genre de manipulation on ne recherche pas une grande précision à la destination.

Une fois établi au cap 265, on devrait couper la radiale 215 à 40 NM comme prévu... La distance à la balise diminue, jusqu'à ce que la balise passe nos 3h et se retrouve derrière nous. La distance croît ensuite...



Et enfin on arrive sur la radiale 215, et on est bien au DME 40 : destination atteinte !



### Interception de radiale à ½ distance

On peut réaliser une manipulation similaire pour rejoindre un point situé à la moitié de notre distance d'origine, par exemple, depuis la même situation initiale (radiale 135, DME 40), rejoindre la radiale 215 au DME 20. Il faut alors placer notre point "destination" à la moitié du rayon du HSI, se représenter le vecteur, le translater et lire son orientation.



Pour se rendre sur la radiale 215, au DME 20, il faudrait donc virer à droite jusqu'au cap 285.

### Interception de radiale à double distance

De la même manière, on applique la même méthode pour rejoindre un point situé au double de notre distance d'origine. Par exemple rejoindre la radiale 215 au DME 80 depuis la radiale 135, DME 40. Il faut alors placer notre point "destination" au double du rayon du HSI, se représenter le vecteur, le translater et lire son orientation.



Pour se rendre sur la radiale 215, au DME 80, il faudrait virer à droite jusqu'au cap 245.

## VI – TACAN Air/Air

Le TACAN peut être utilisé entre 2 avions pour lire la distance séparant les deux appareils (l'information d'azimut ne sera pas disponible, sauf dans le cas particulier où un appareil dispose d'une balise, par exemple, le tanker KC-10).

On choisira les fréquences du même canal (en ajoutant ou soustrayant 63). Par exemple, un appareil affiche 1X et l'autre 64X ou encore 22Y et 85Y.



On peut lire la distance sur le HSI en mode TCN, et aussi sur la dernière ligne de la page principale du DED :



Si plusieurs appareils affichent la même fréquence, seul le signal de plus grande puissance sera pris en compte (ce sera systématiquement le plus proche dans BMS).

Par exemple, FALCON11 affiche 1Y et son ailier FALCON12 affiche 64Y. Le leader et l'ailier lisent leur distance de séparation. Imaginons que VIPER11 affiche également 64Y. FALCON12 et VIPER11 liront toujours leur distance de séparation par rapport à FALCON11. En revanche, FALCON11 lira seulement sa distance avec le plus proche de lui.

### Utilisation en patrouille de 4 avions

Habituellement, on répartit les canaux de la manière suivante :

- même canal pour #1 et #4
- canal+63 pour #2 et #3)
- même bande pour #1 et #3
- l'autre bande pour #2 et #4

Par exemple :

#1 1 Y  
#2 64 X  
#3 64 Y  
#4 1 X

- le #1 et le #3 peuvent lire la distance séparant les patrouilles légères.
- les ailiers lisent également la distance séparant les patrouilles légères (si la patrouille est en formation).
- chacun peut lire, en basculant (un court instant) la bande, sa distance avec l'autre membre de sa demi-patrouille (sous réserve d'avoir la plus courte distance, comme discuté plus haut☺).

Remarque :

Les IA utilisent *toujours* les codes suivants :

Pour le vol 1 : 12Y ; 22Y ; 75Y ; 85Y

Pour le vol 2 : 13Y ; 23Y ; 76Y ; 86Y