

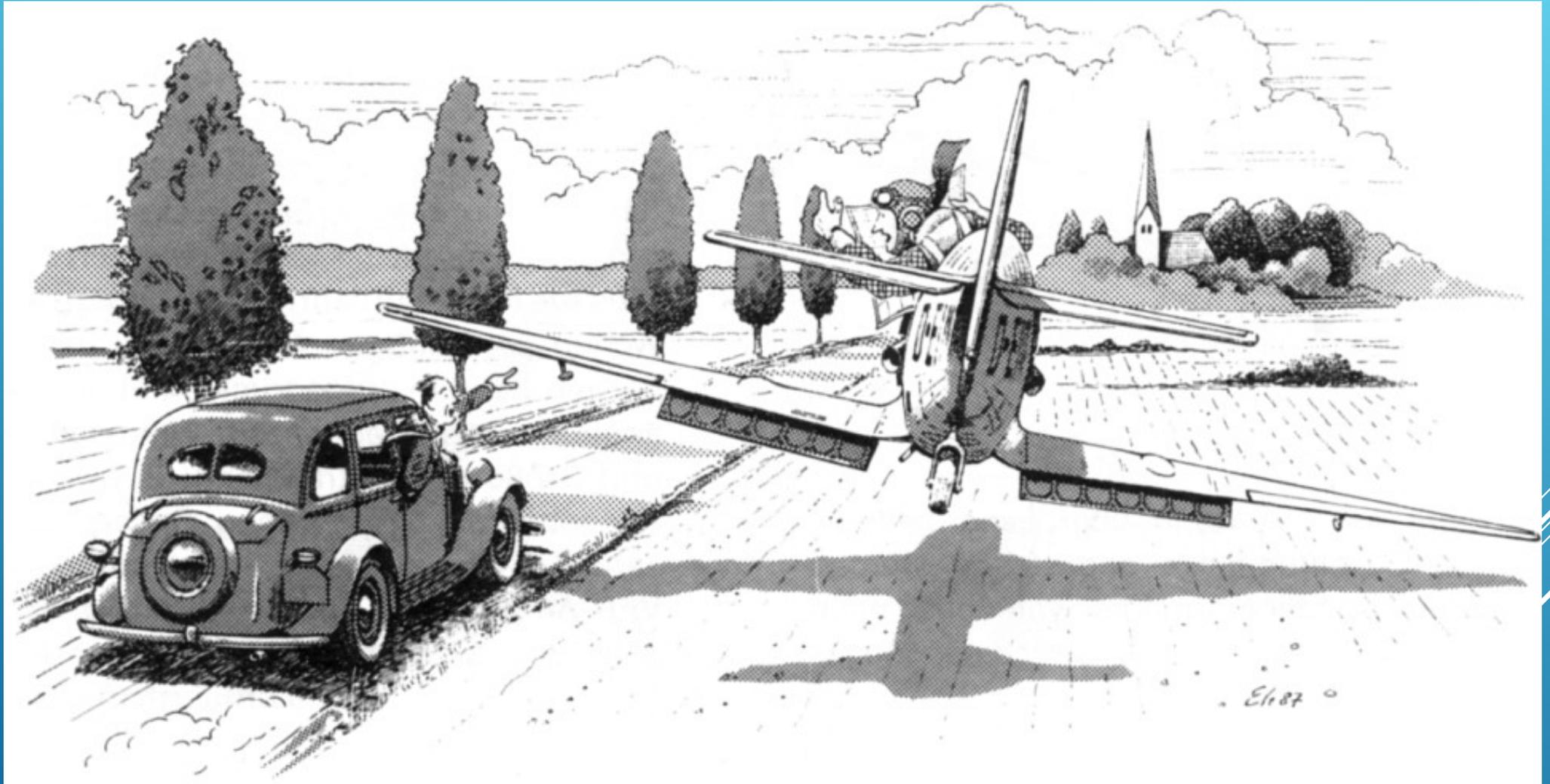
EQUIPEMENTS RADIO EN AVIATION

VHF Omnidirectional Range ou **VOR**

Rappels

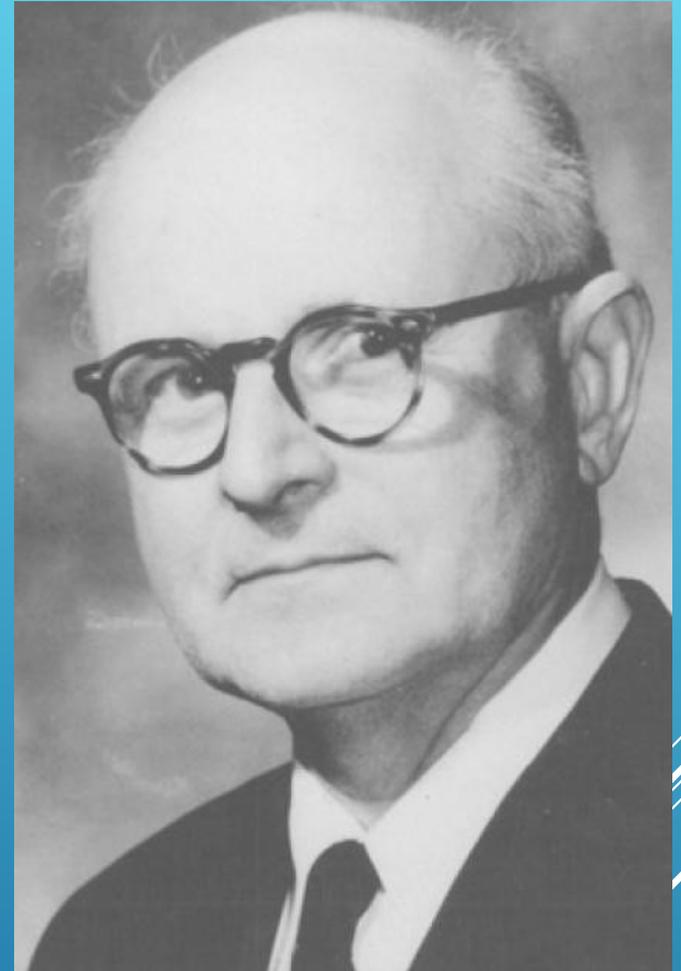
- Zeppelin : ≈ 1890 ... les Frères Wright 1903 ... la traversée de la Manche par Louis Blériot 1909 ... puis WW1 et puis WW2 ...
- La triode par Lee de Forest 1906 ... Postes de réception radiodiffusion à lampes ≈ 1930 ... le transistor 1949 ...
- L'antenne Yagi inventée Shintaro **Uda** , et présentée au monde scientifique par **Yagi** Hidetsugu ... mais le nom est resté « antenne YAGI », c'était en 1926
- VHF : le « Very » ... cela dépend de l'avancement technologique. Pour les VOR, la fréquence va de 108 à 118 Mc/s (*)
et donc $\lambda = 2,65$ m
(*) en 1950 on parlait en **méga cycles par seconde** !
- Portée radio : d (km) $\approx 4,1 \sqrt{h_1$ (m) + $\sqrt{h_2$ (m)
- En aviation d (nm) $\approx 1,2 \sqrt{h}$ (pieds)

La question : Comment trouver l'aérodrome ?

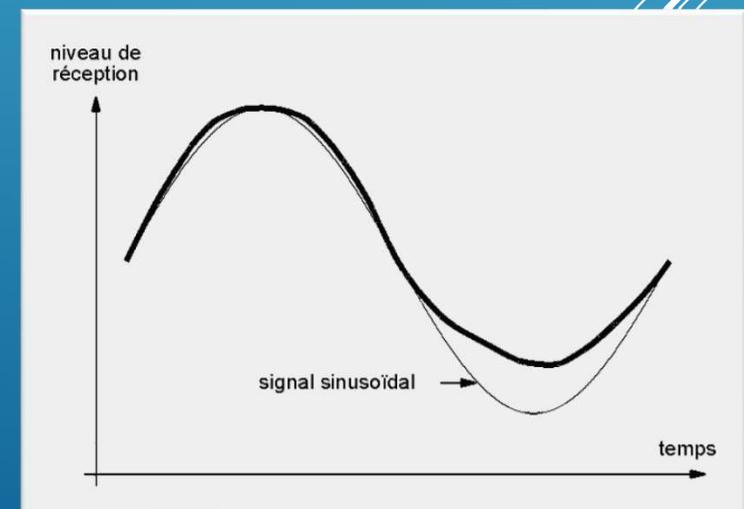
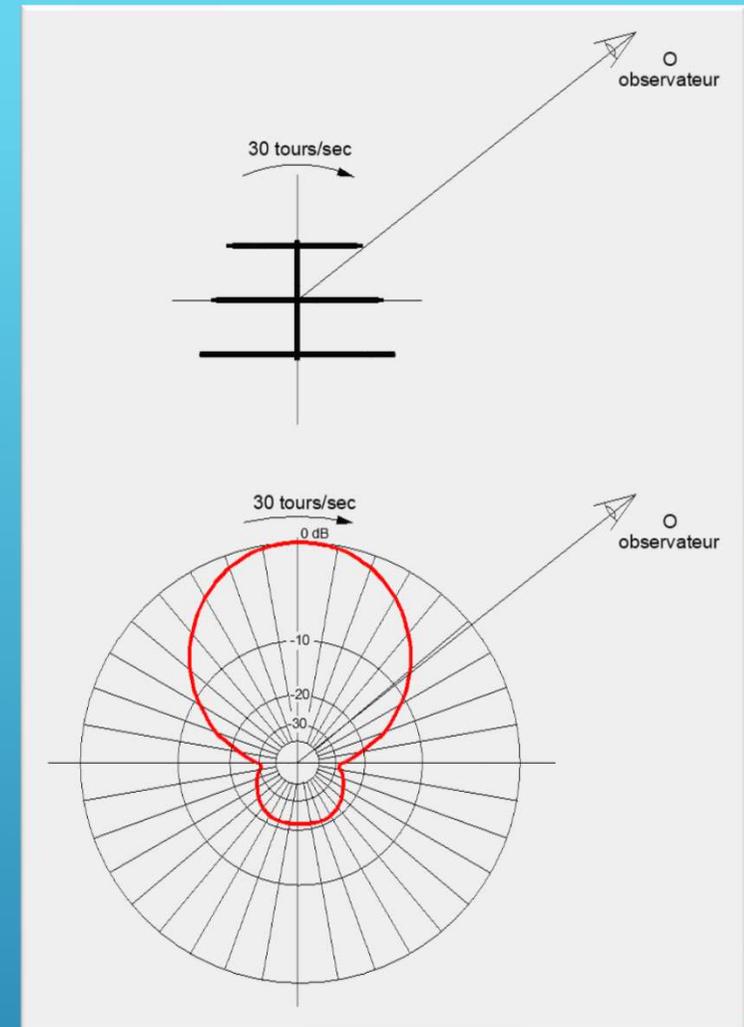


non ... ceci n'est pas une bonne solution ...

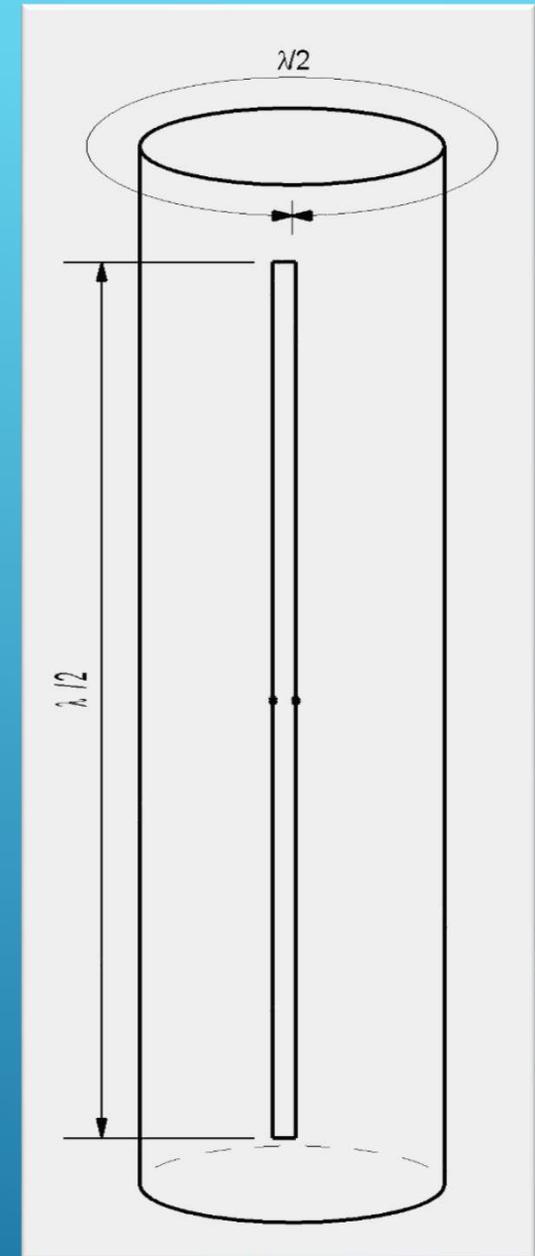
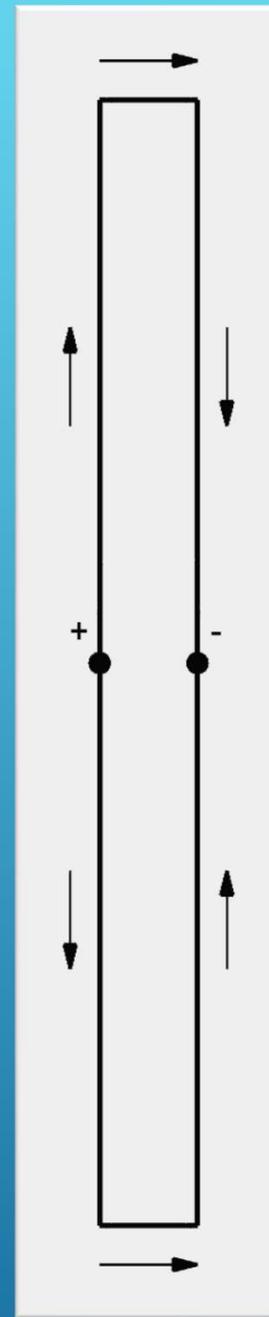
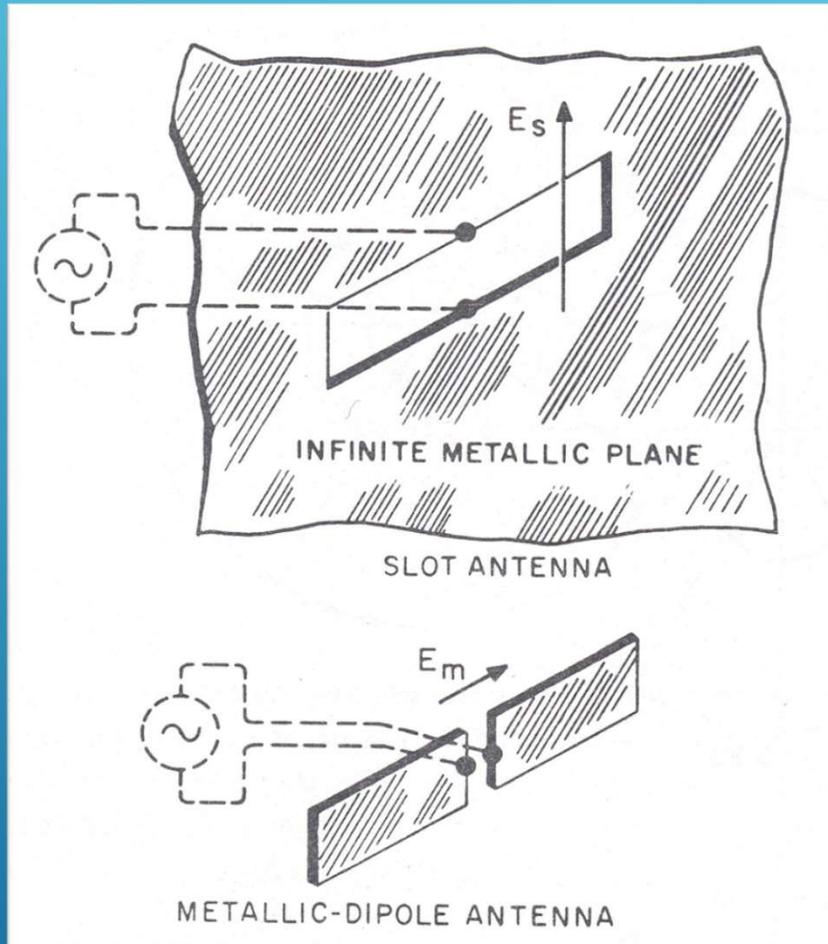
- Or ... il existait déjà une méthode de détermination de l'angle (la radiale) pour les bateaux
- Andrew Alford (1904-1992) « un inventeur fou ... » en a déduit une version « radio », qui sera appelé **VOR** en ≈ 1937
- mais l'idée ne sera mise en pratique qu'après la WW2 et surtout entre 1950 et 1960.
- à cette époque, on est à la technologie des tubes et la bande **VHF** est technologiquement parlant « abordable »
- à cette époque (1950-1960) la radiodiffusion FM apparaît aussi dans la bande 87,5 à 100 Mc/s



- Le principe : la **modulation d'espace** →
- Polarisation verticale à rejeter car réflexion par le sol → **polarisation horizontale**.
- Réalisation pratique : on peut imaginer une antenne à polarisation ($\lambda \approx 2,65$ m) horizontale qui tourne à 30 tours/sec (1800 tours/min)
- C'est réalisable : cf la Firme WILCOX (1955) qui fabrique de telles antennes tournantes à 1800 tours/min !
- Mais une autre solution : l'antenne à fente(s), c-à-d produite un diagramme de rayonnement qui tourne , mais ... sans moteur !

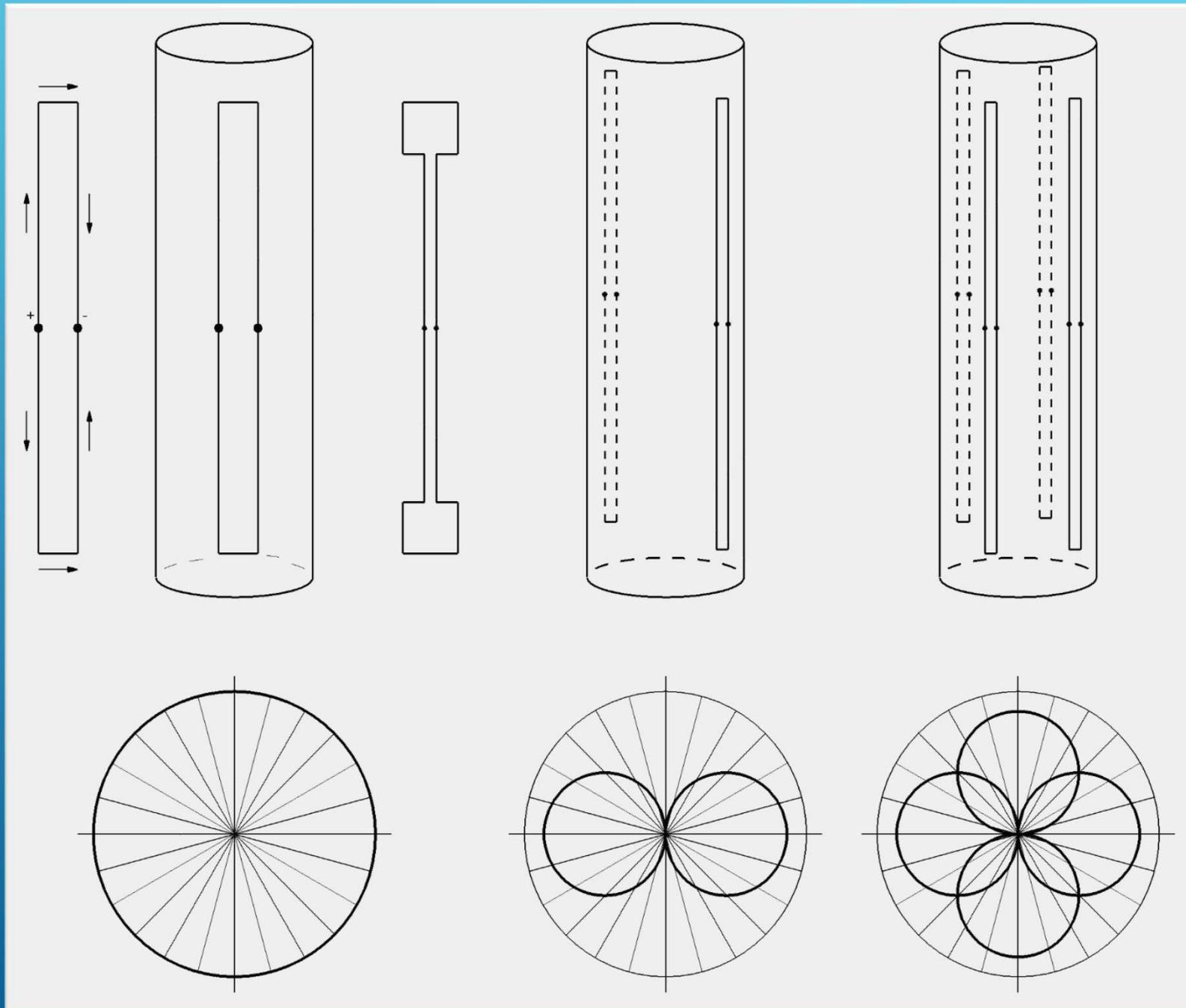


L'antenne à fente(s)

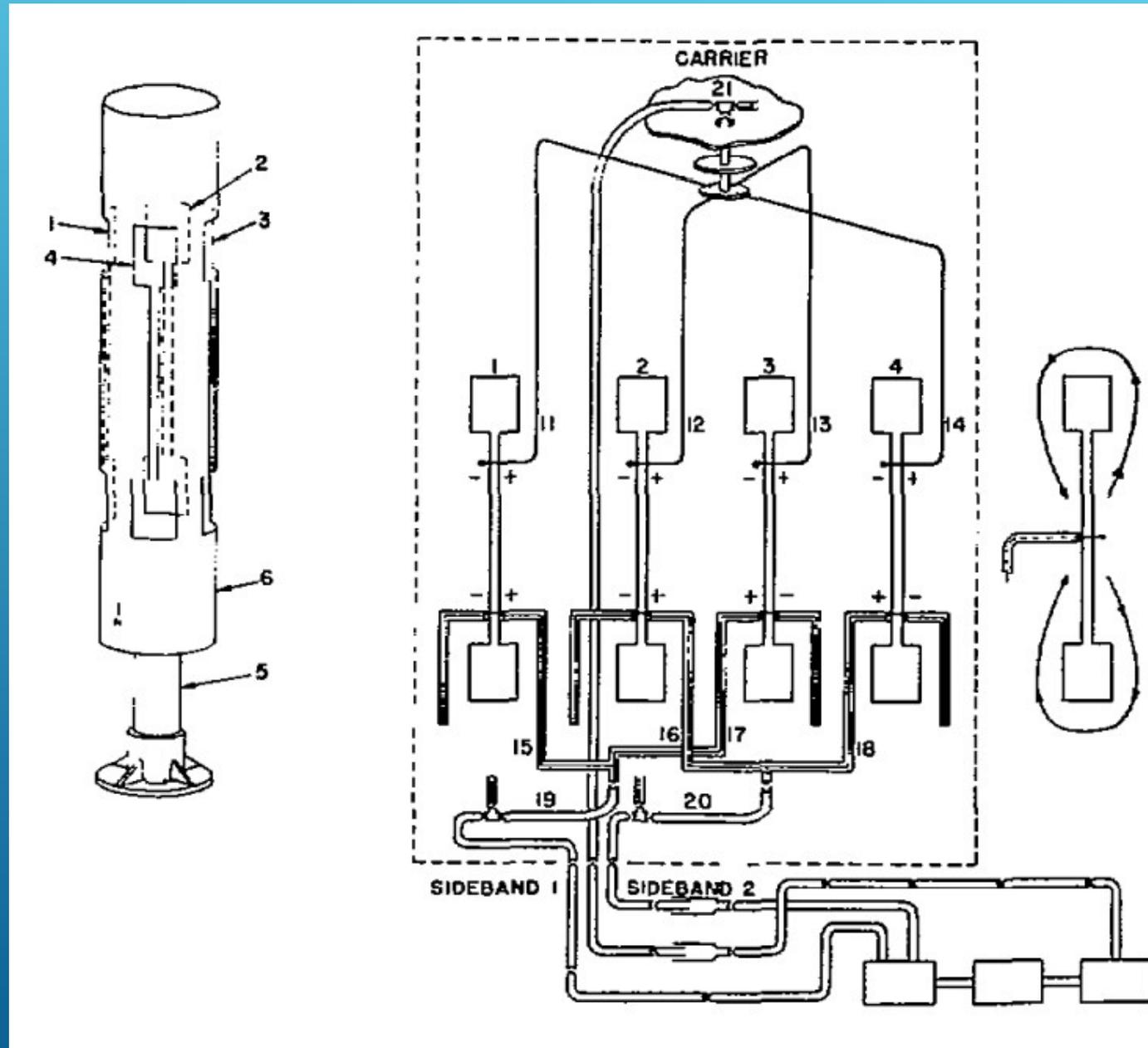


aussi utilisée par les radioamateurs pour l' ATV depuis 435 MHz jusqu'aux μ ondes ... cf G3JVL

Diagrammes de rayonnement pour 1 , 2 et 4 fentes ...

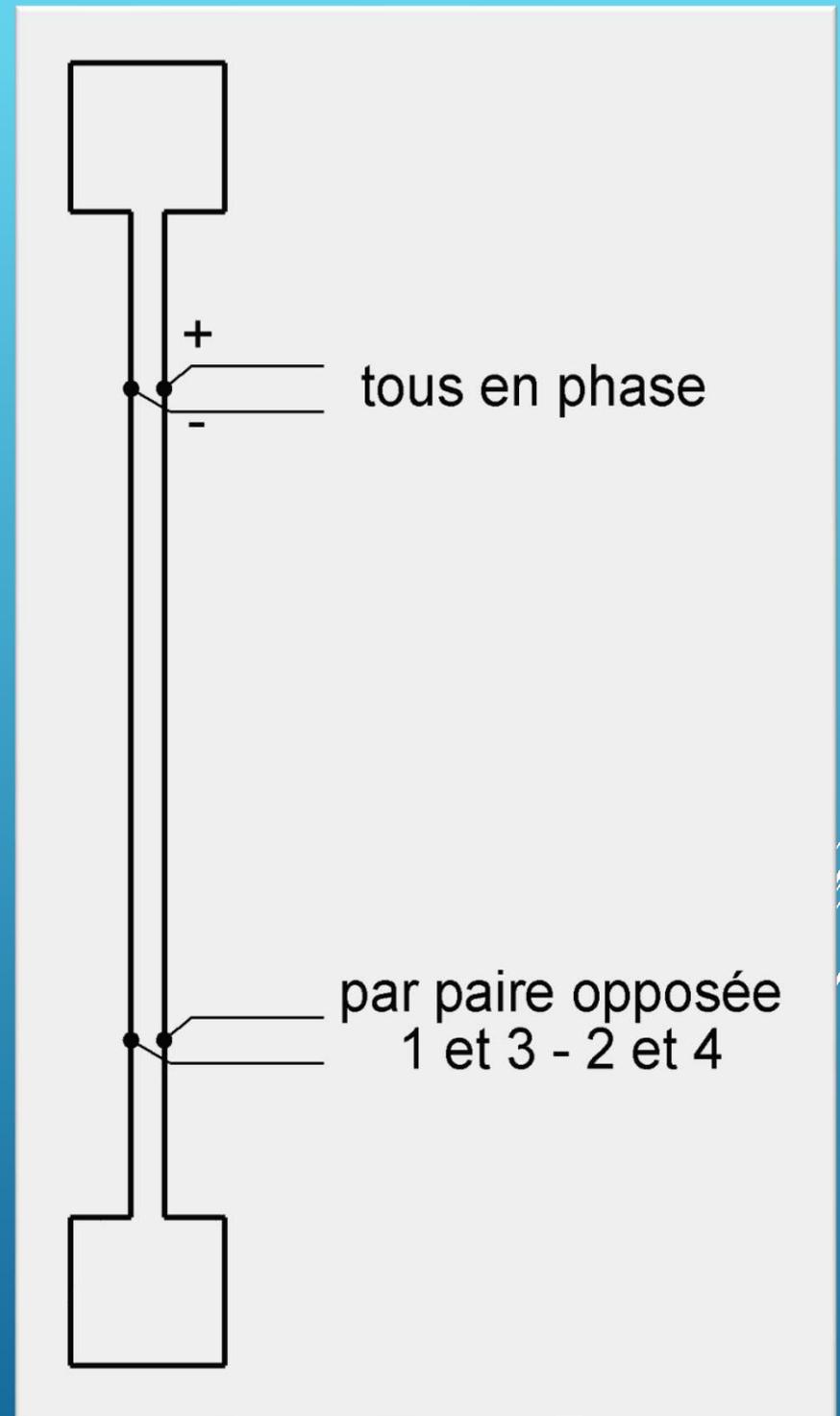


Dans la pratique c'est un peu plus compliqué ...
dans l'antenne Alford, on a 4 slots qui sont alimentés par 3 feeders...

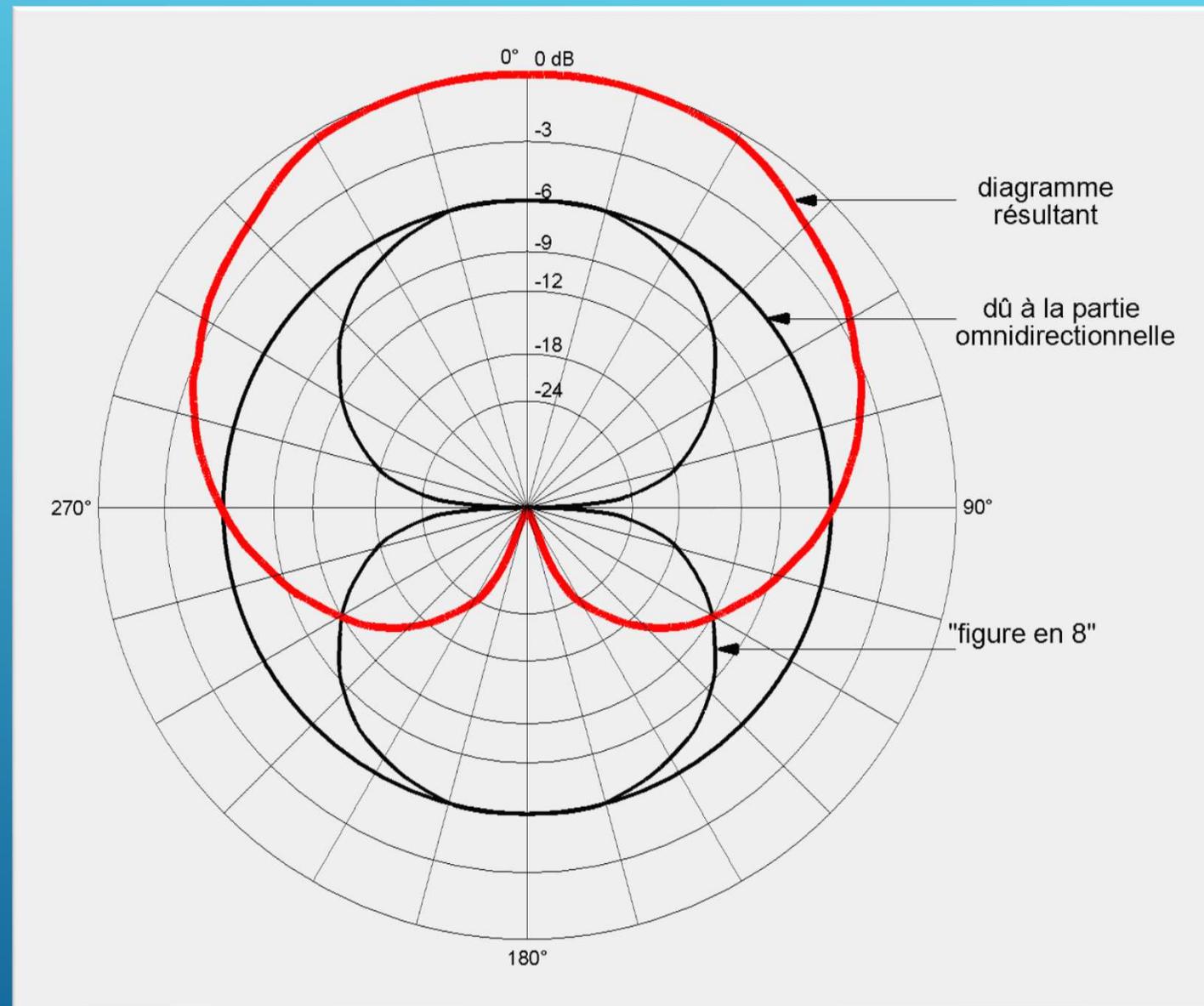


Dans l'antenne Alford, on a 4 slots qui sont alimentés par 3 feeders...

- ?????
- Un feeder attaque les slots 1 et 3
- Un autre feeder attaque les slots 2 et 4
- Ces 2 feeders fournissent des signaux en opposition de phase
- Il en résulte un double diagramme d'antenne en forme de 2 « 8 ».
- Et le 3^{ème} feeder attaque les 4 slots ...



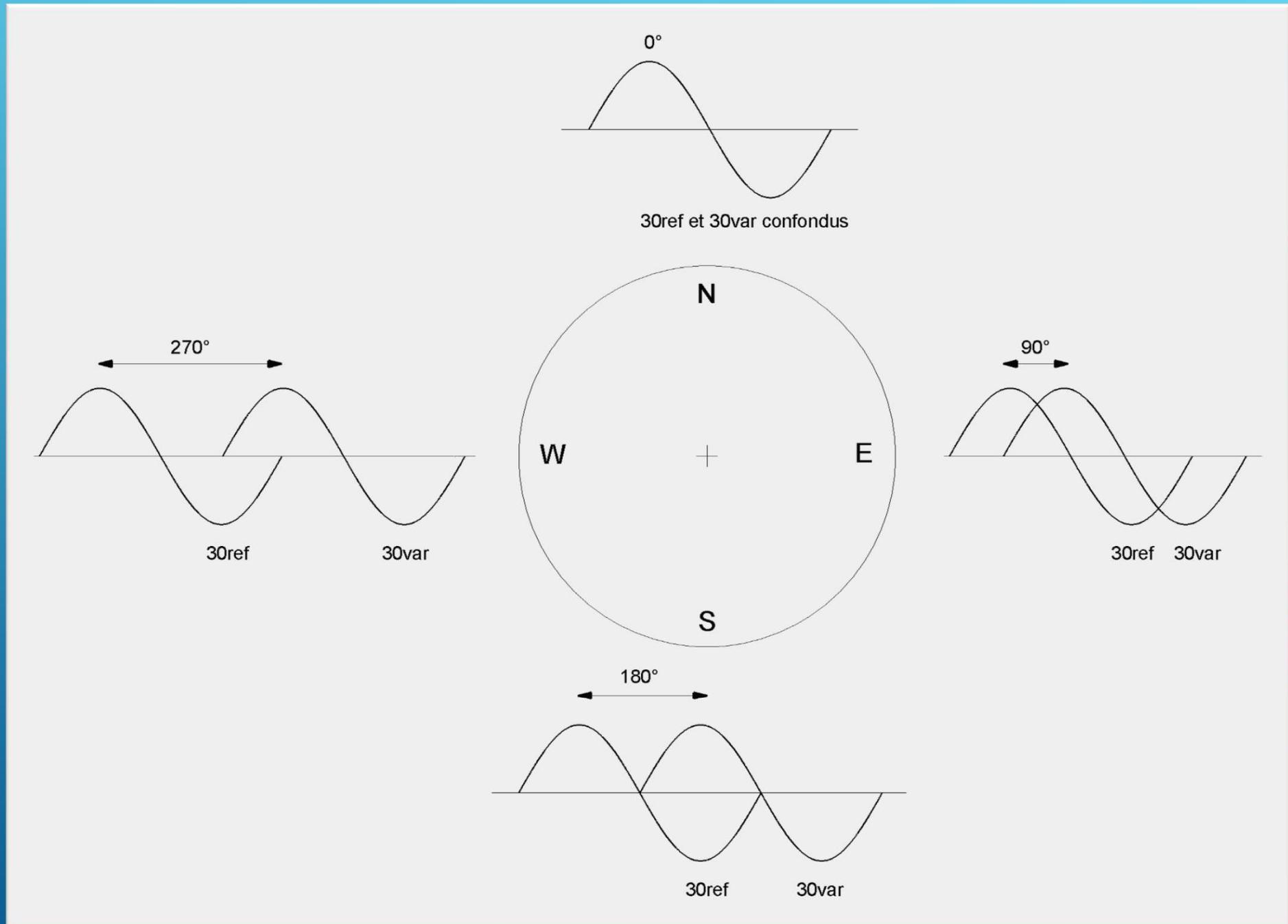
La combinaison d'un diagramme omni et d'un diagramme en 8 donne ... diagramme cardioïde ou « en limaçon ... »



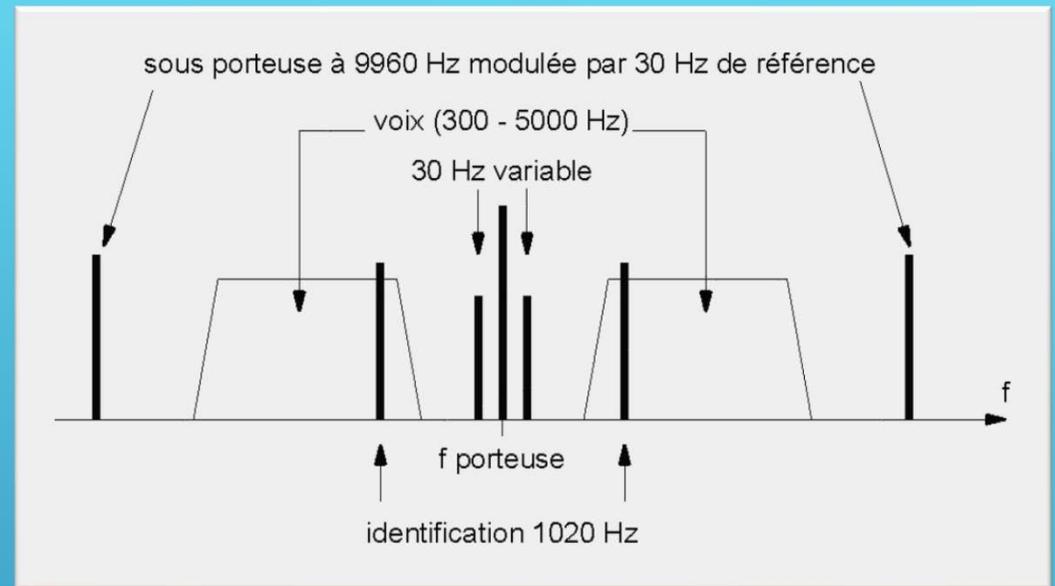
et ce diagramme tourne à 30 tours/seconde soit 30 Hz



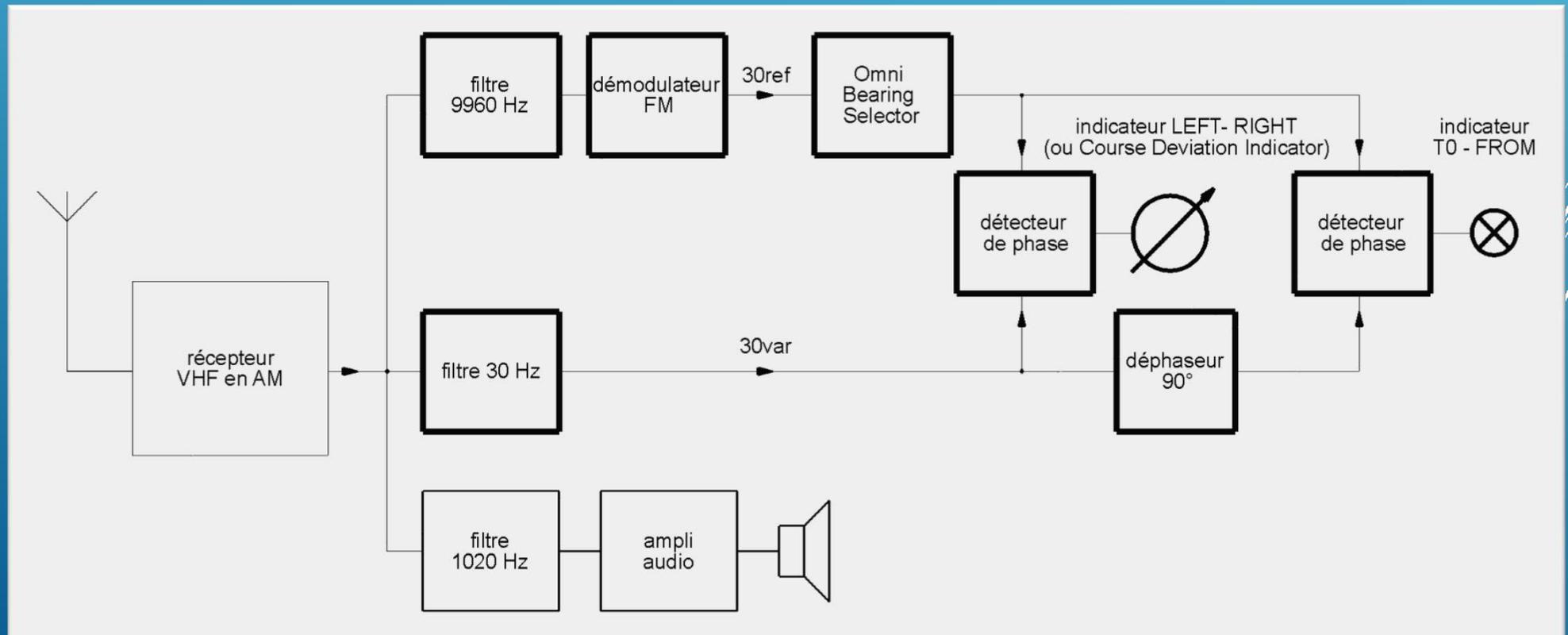
Différence de phase entre 30_{ref} et 30_{var} en fonction de l'angle (« » radiale »)



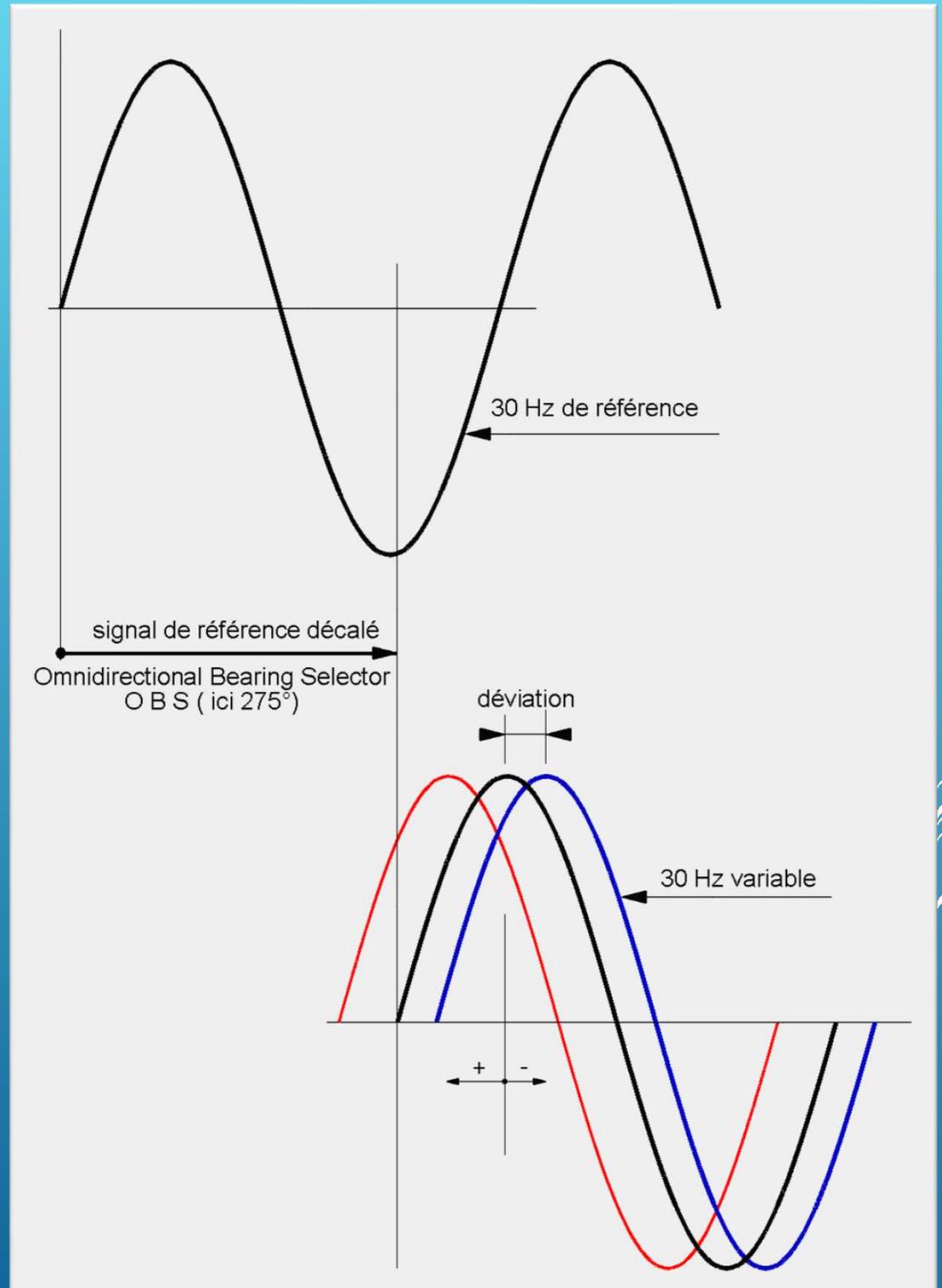
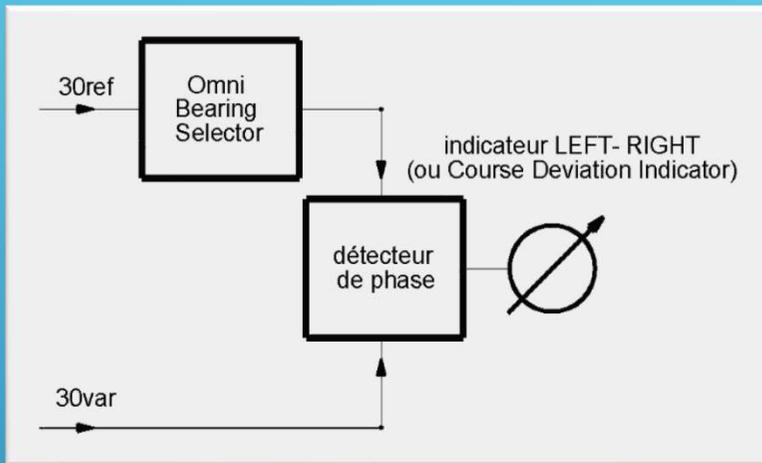
Le spectre ... (bande de base)



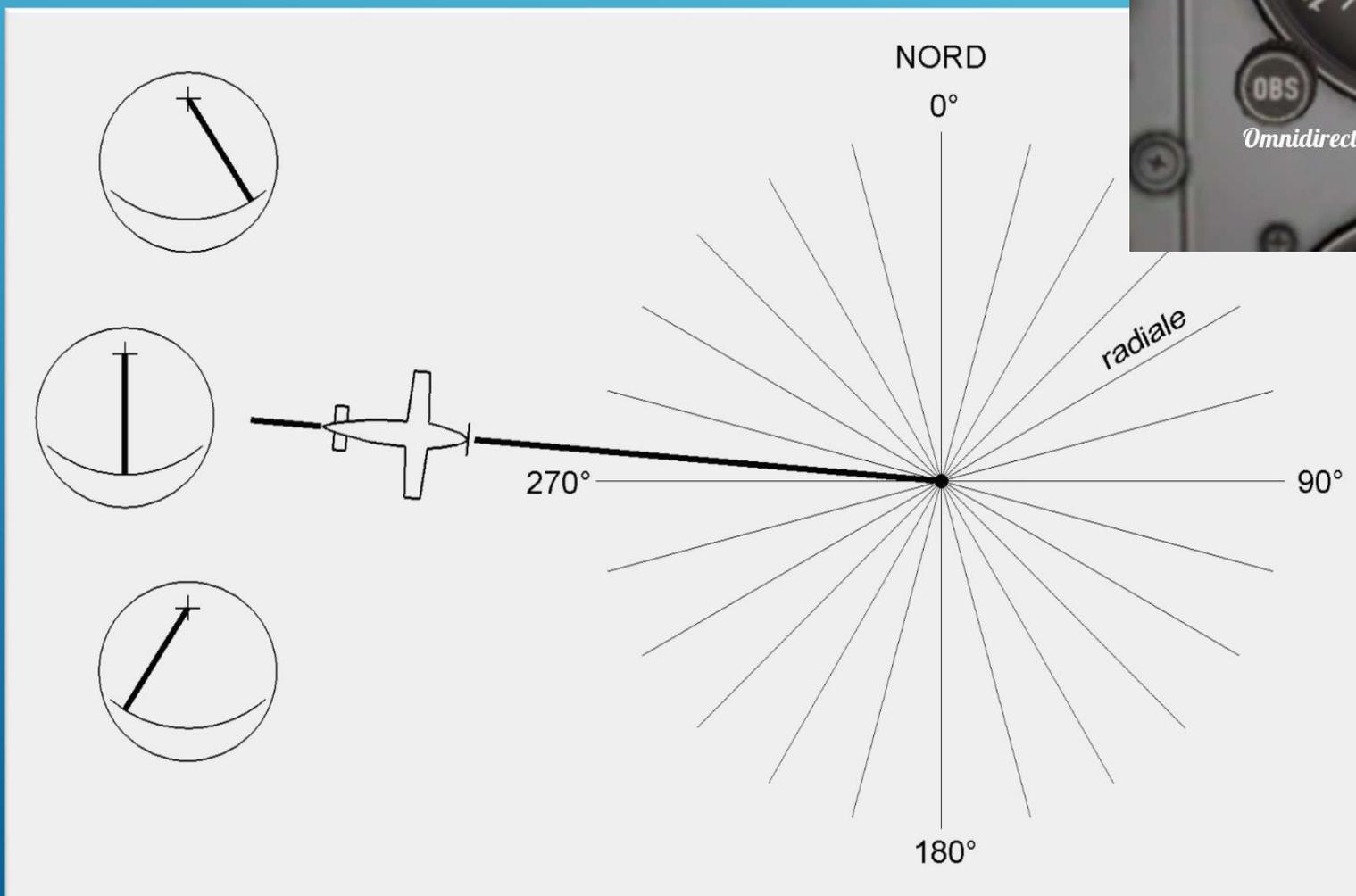
Le récepteur VOR



Pratiquement



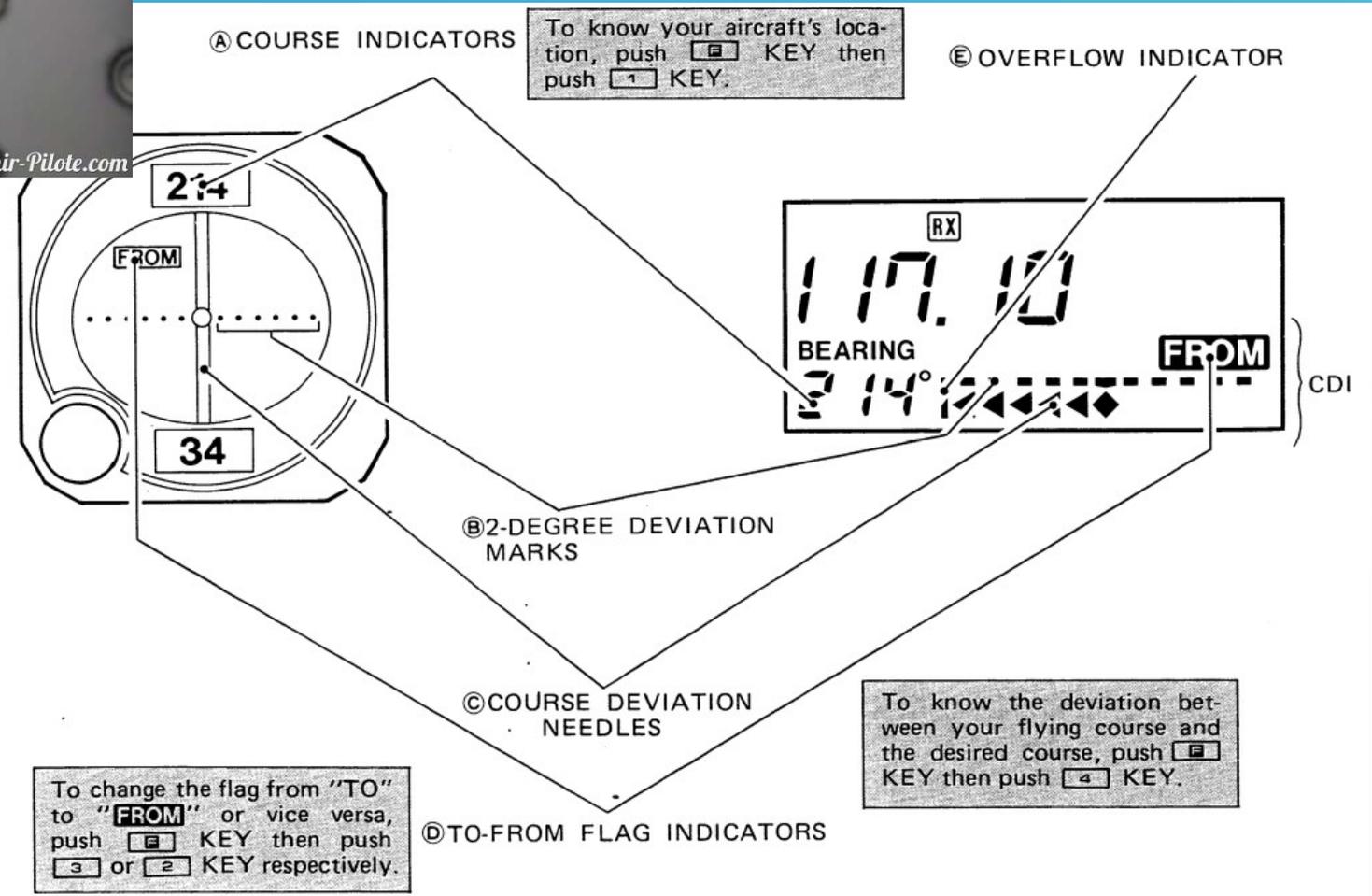
Pratiquement ...



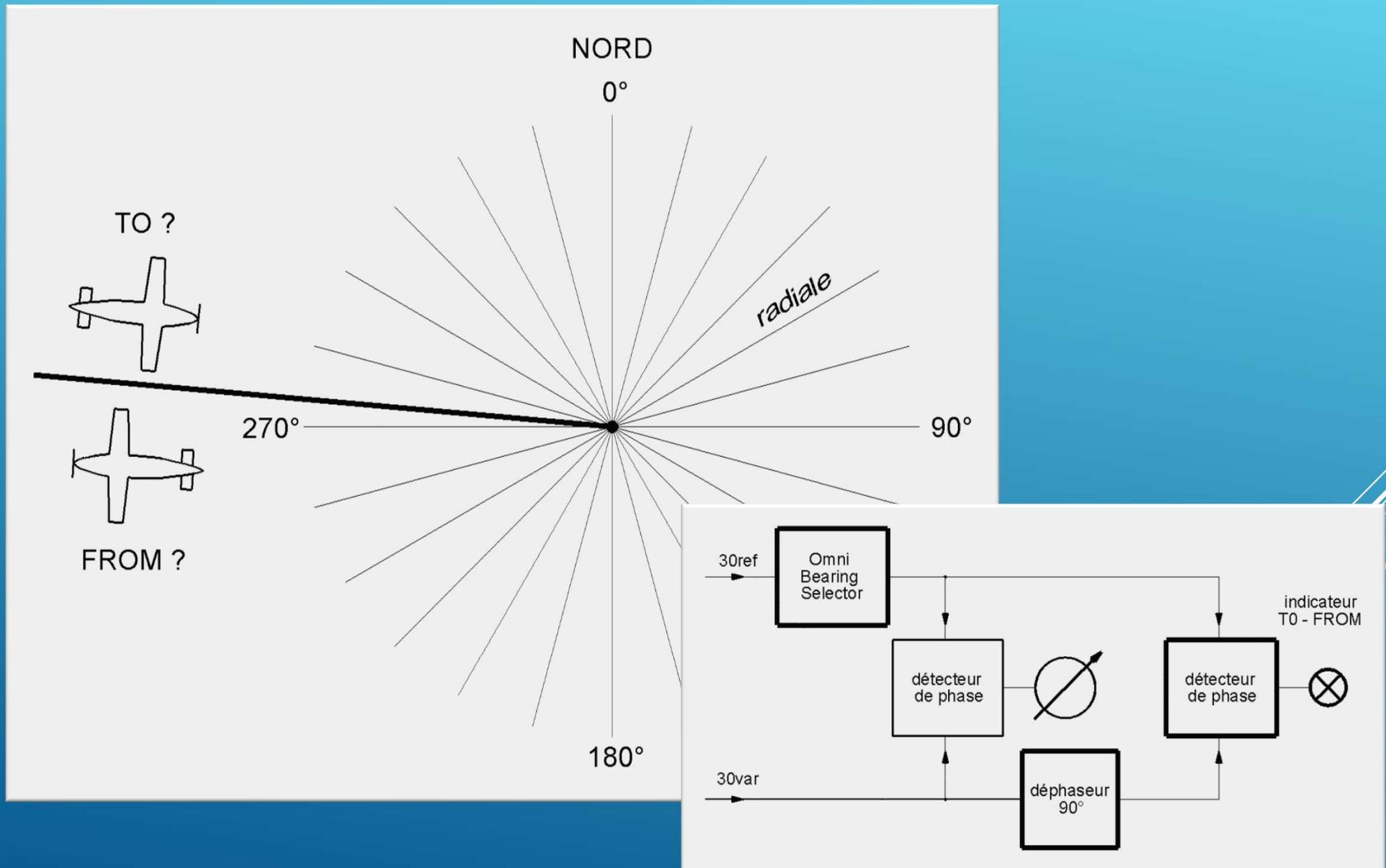


Le VOR est aussi implémenté dans les TCVR portable modernes tel que l' ICOM IC-A20

Devenir-Pilote.com

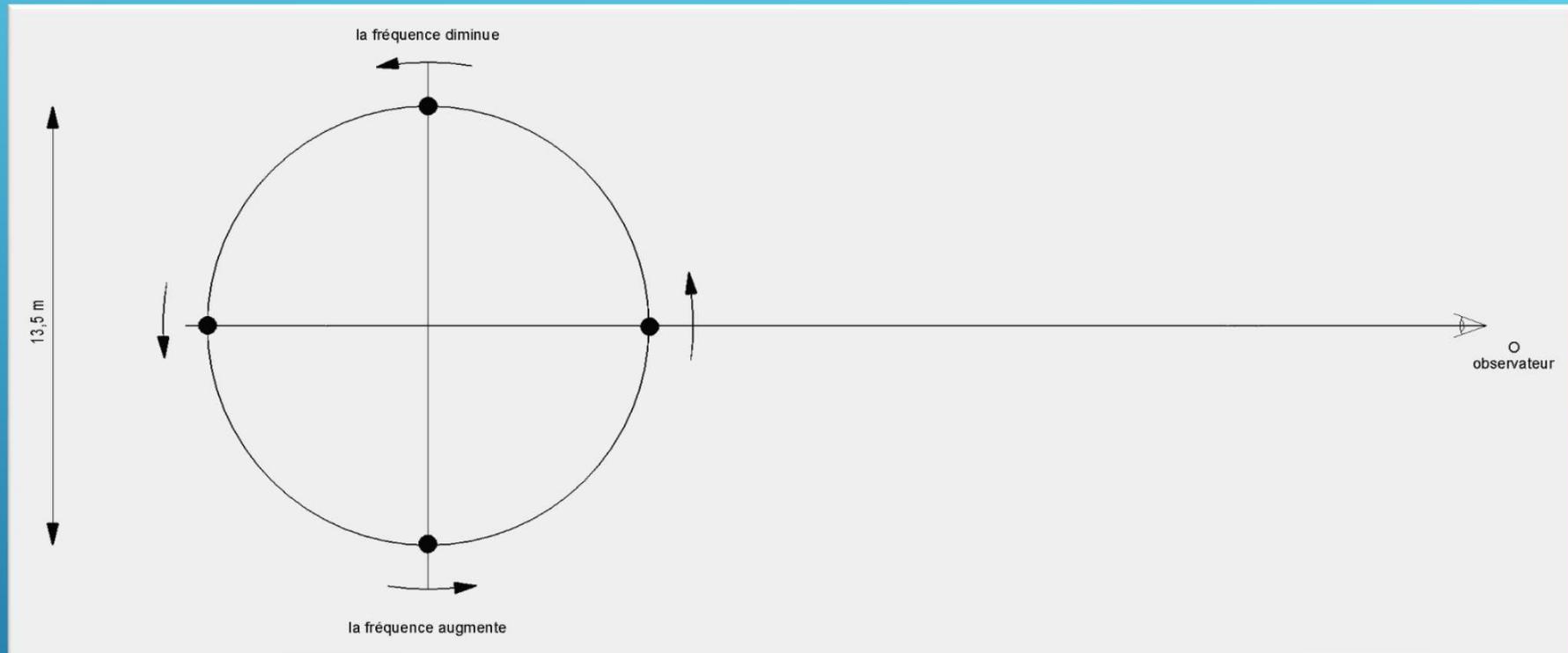


- ▶ Est-ce que je vais vers ? Ou est ce que je m'en éloigne ?
L'indicateur **TO or FROM** ?

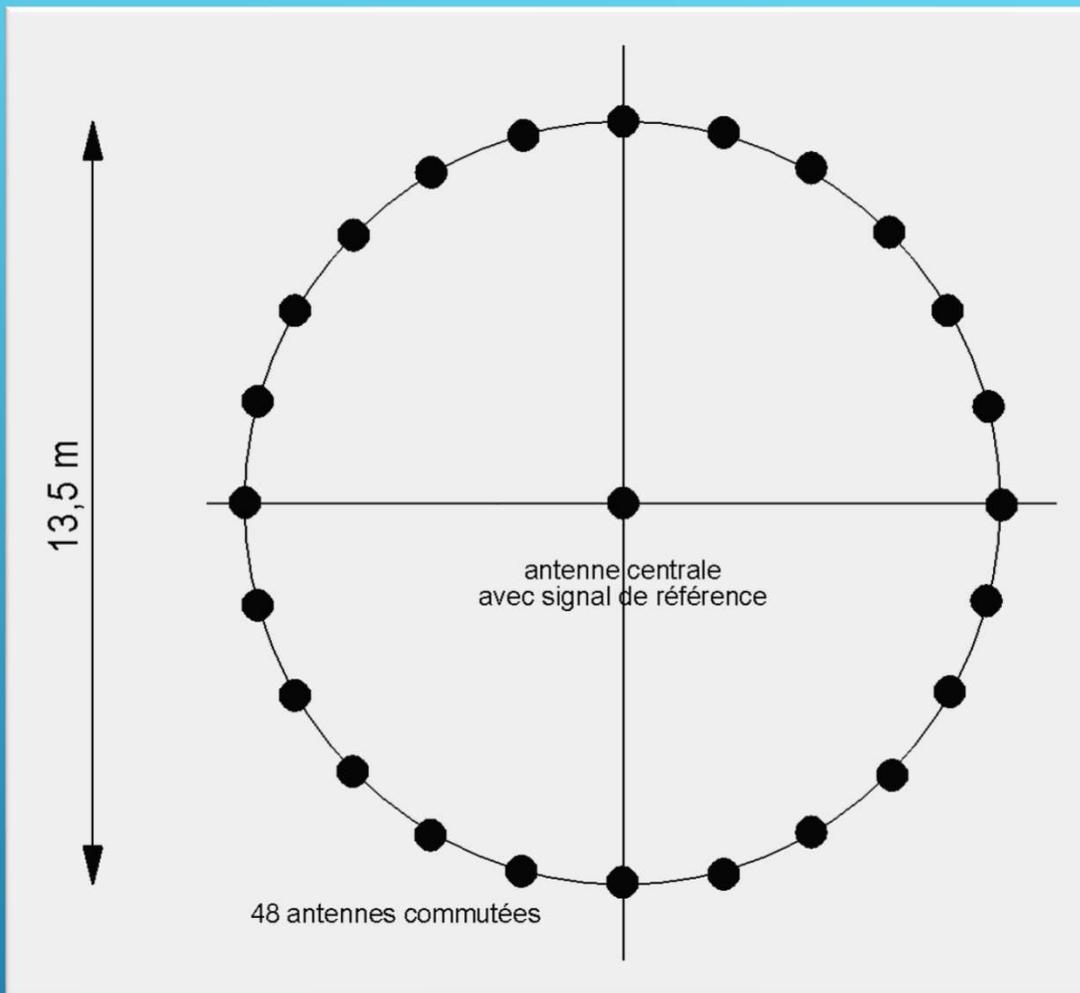


- ▶ Ceci était le **VOR conventionnel**, inventé par Andrew Alford
 - ▶ donc en VHF : 108 à 118 MHz
 - ▶ polarisation horizontale obligatoire
 - ▶ inconvénient : les erreurs dues au trajets multiples (« multipath »).
-
- ▶ Une autre idée : le **VOR doppler**
- 

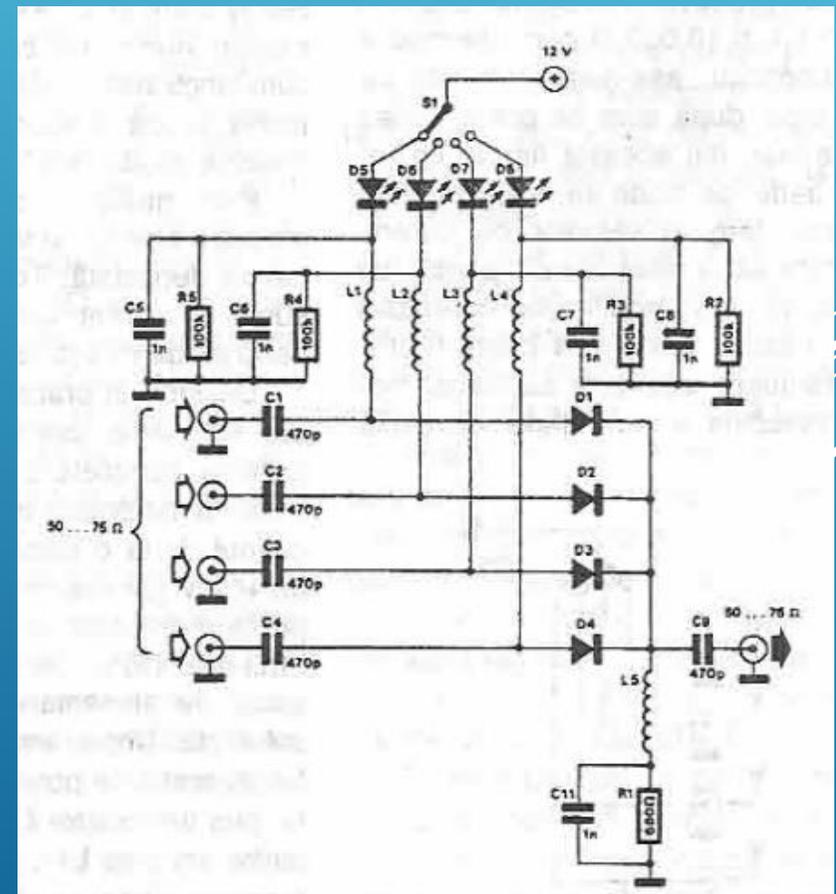
- ▶ L'effet Doppler : imaginons une antenne qui tourne sur un cercle de 13,5 m de diamètre à raison de 30 tours/sec (30 Hz) :



- ▶ On peut calculer la fréquence Doppler
 - ▶ $f_{\text{Doppler}} = \text{vitesse radiale} / \lambda$
 - ▶ vitesse radiale = $\pi \times \text{Diamètre} \times \text{nombre de révolution/s}$ soit 1271 m/s
 - ▶ $\lambda = 300/113 = 2,65 \text{ m}$
 - ▶ $f = 1271 / 2,65 = 479 \text{ Hz} \rightarrow$ on dira 480 Hz



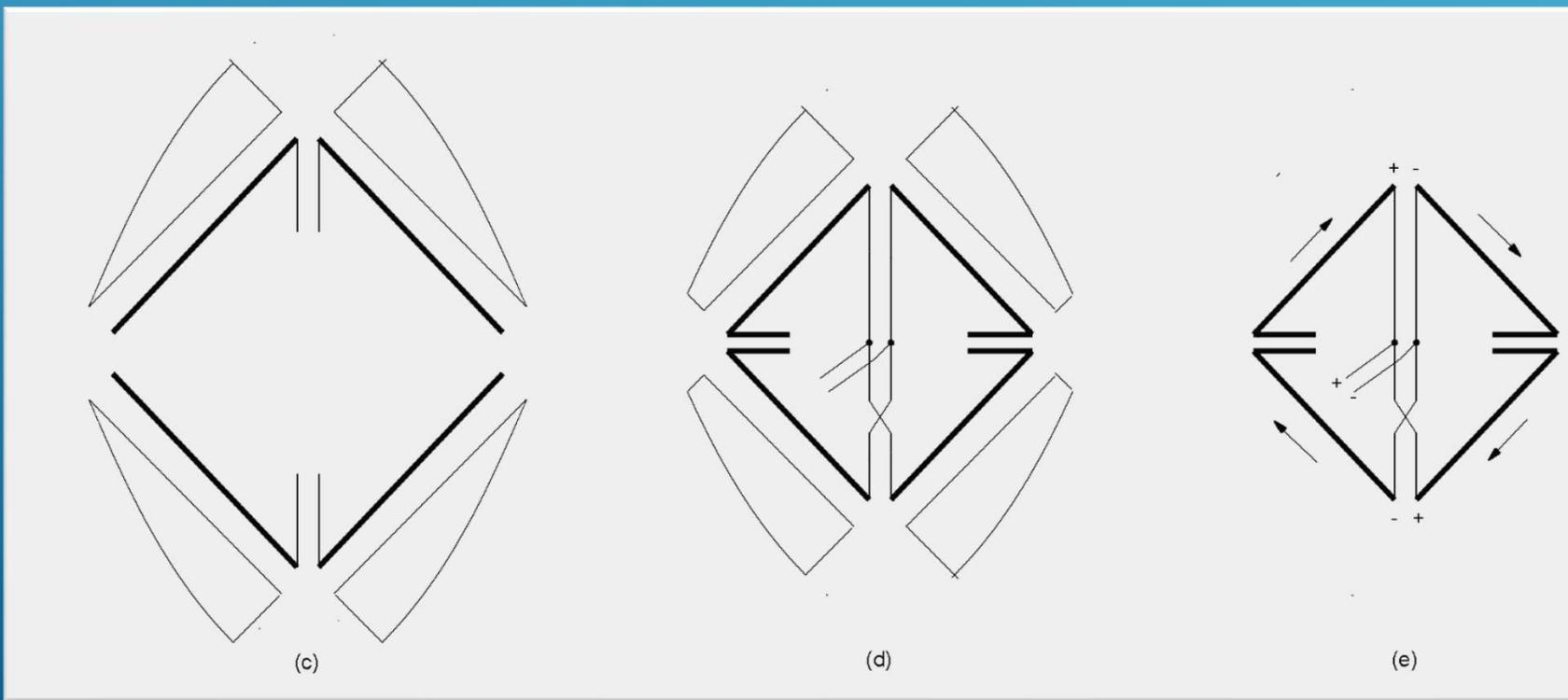
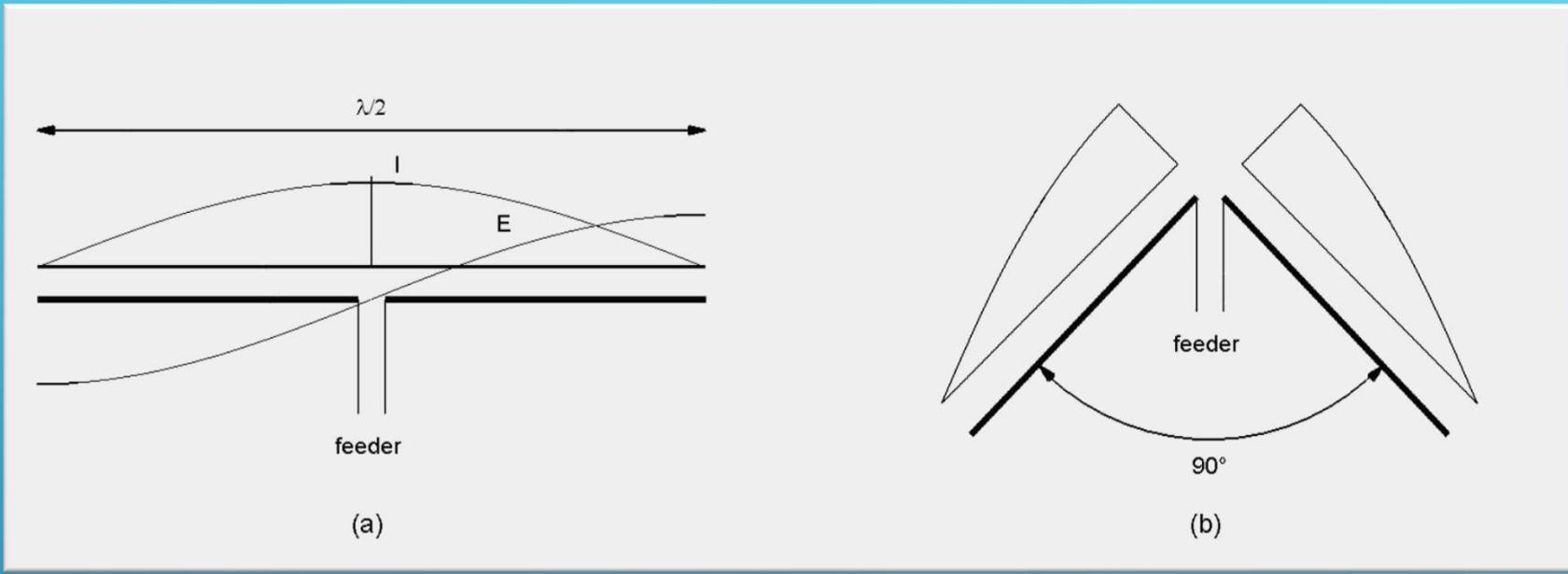
Commutation des antennes



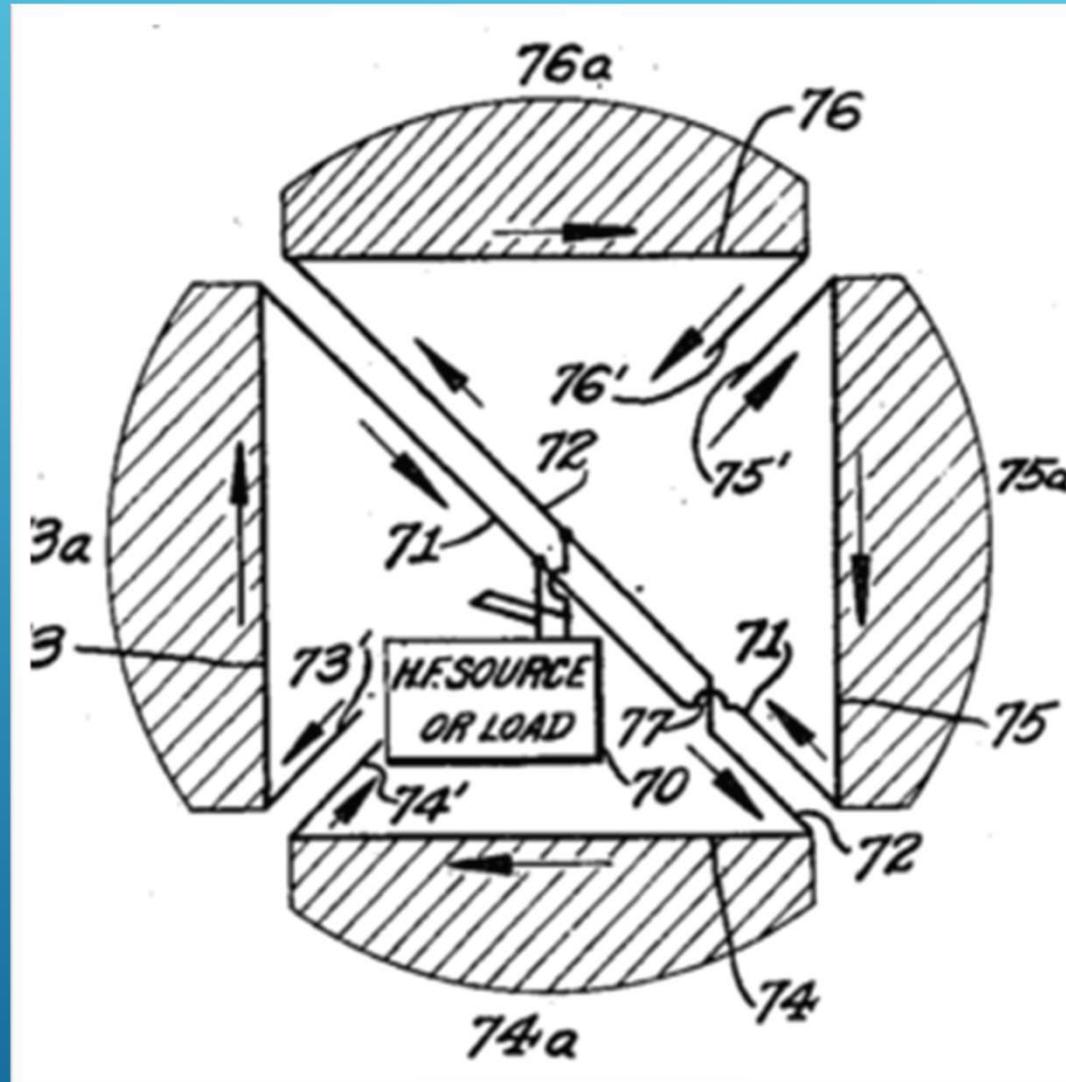
- ▶ On souhaite garder notre signal à 30 Hz
- ▶ On doit retenir la polarisation horizontale
- ▶ On doit retenir la bande de fréquences 108 à 118 MHz
- ▶ Si on a 48 antennes sur un cercle de 13,5m, elles sont espacées de ± 88 cm ... or $\lambda \approx 2,6$ m . Comment faire ?
- ▶ La solution vient encore une fois d' Andrew Alford :



Antenne omnidirectionnelle à polarisation horizontale d' Alford



Le dessin original d'Alford :

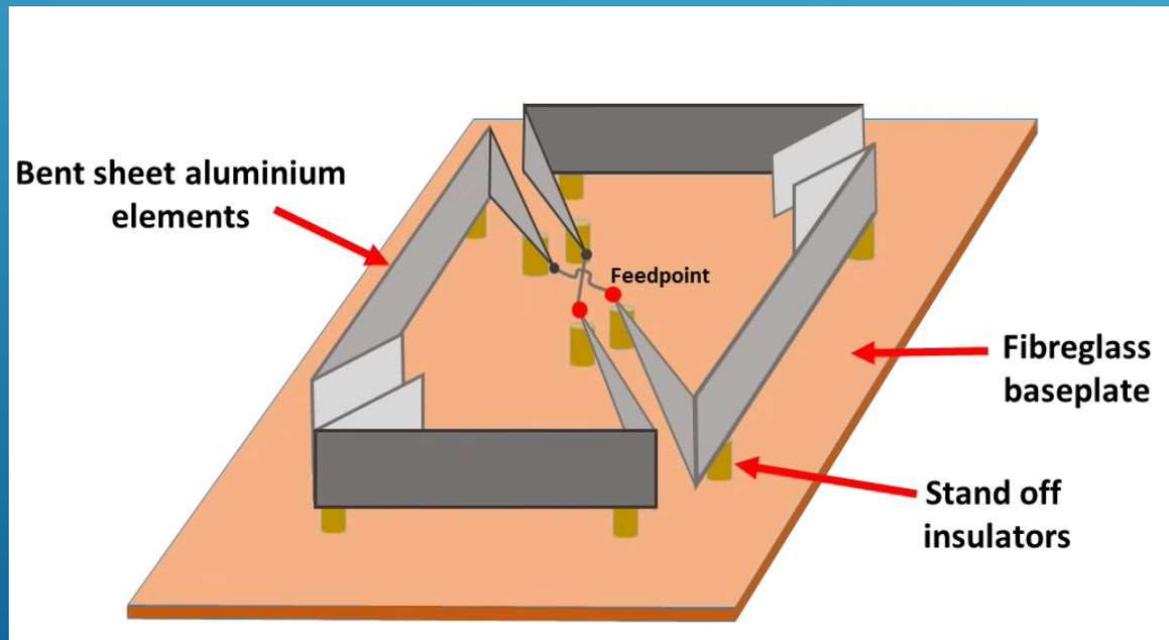




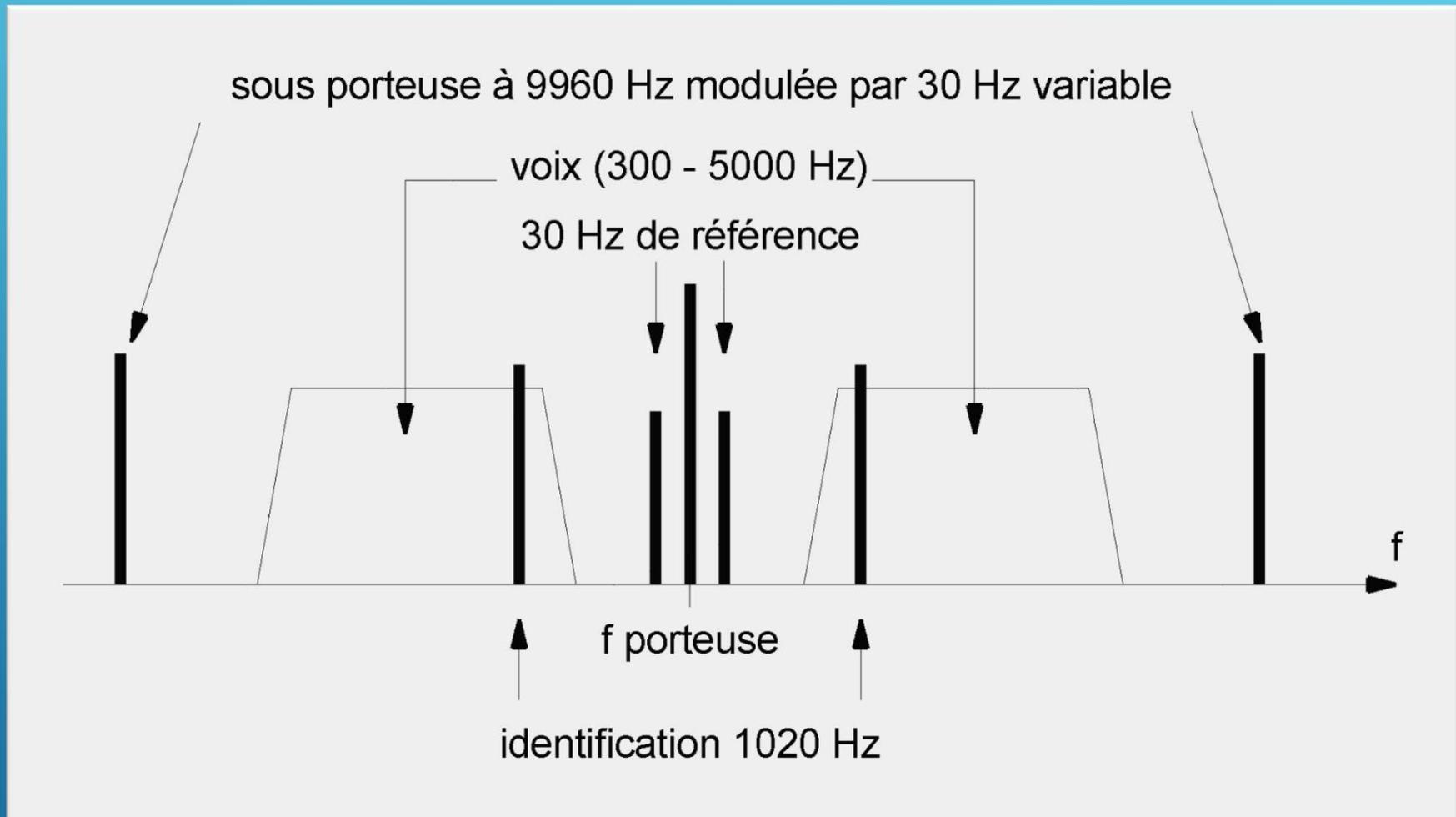
- Les 48 antennes produisent le 30 Hz « variable »
- une antenne centrale fournit le 30 Hz de référence et les autres signaux



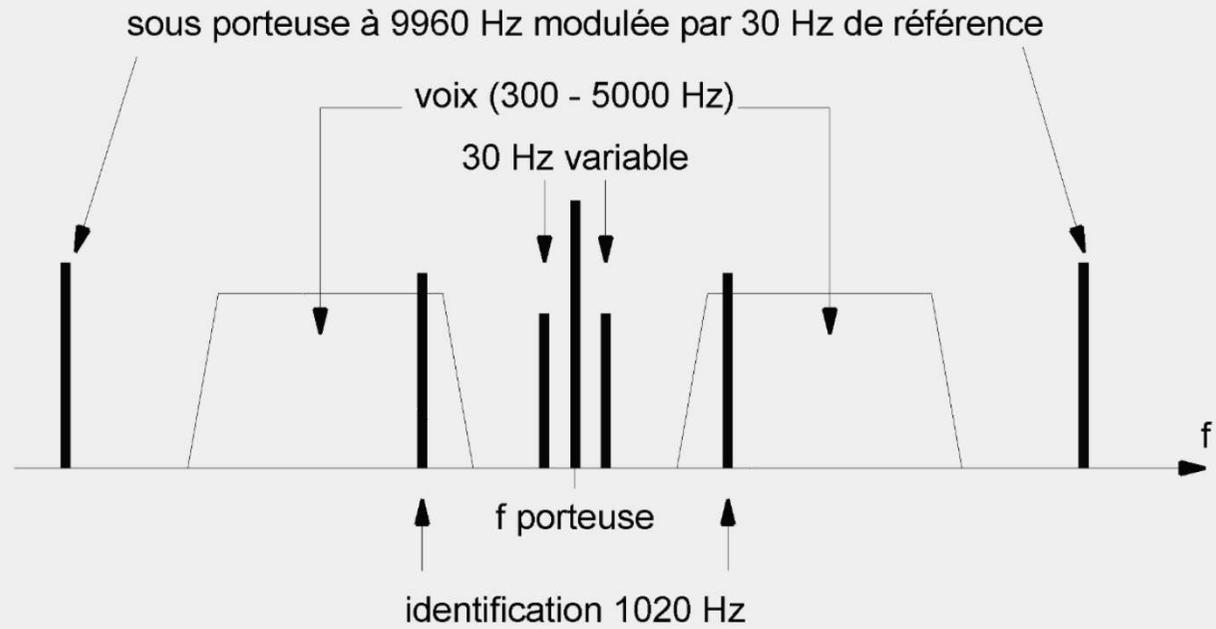
Détails d'une antenne VOR Doppler



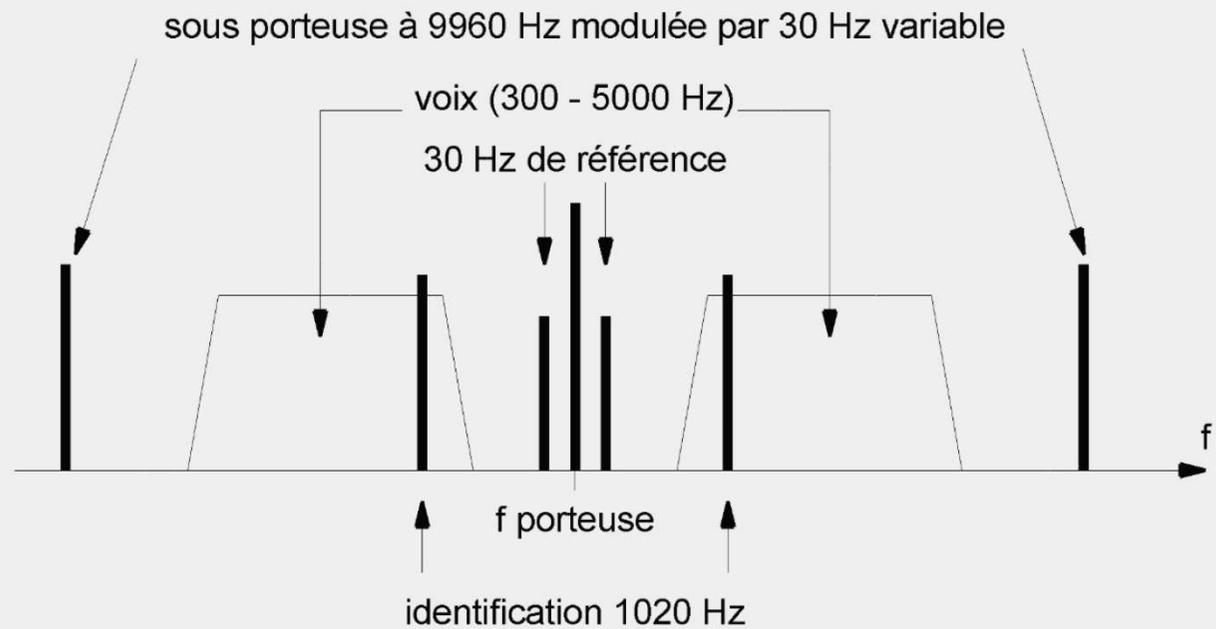
Le spectre ... (bande de base)



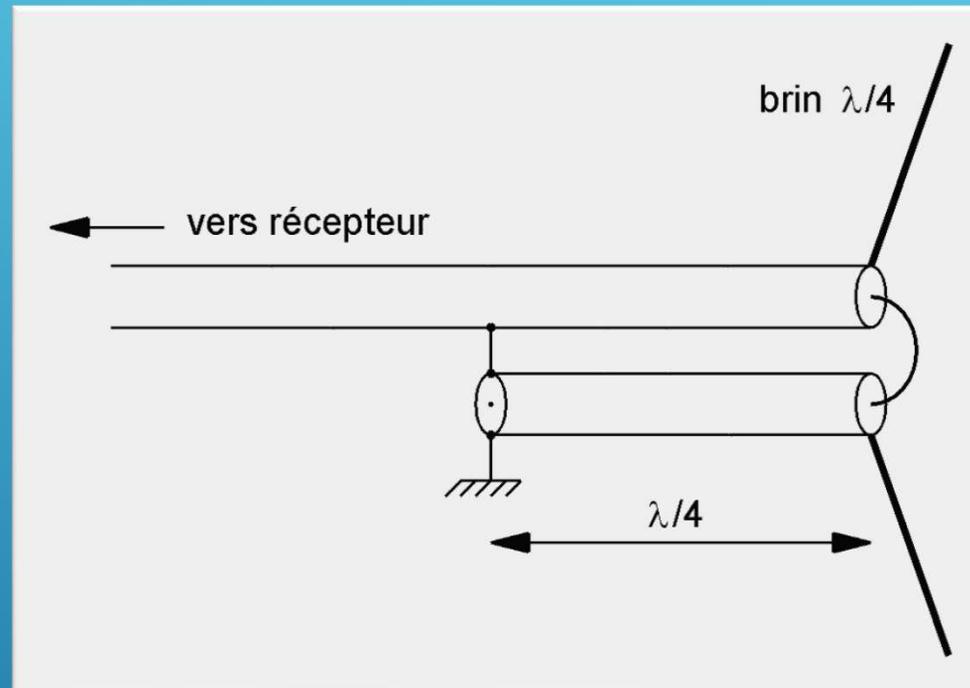
VOR conventionnel



VOR Doppler



Antenne tout à la masse sur l'avion



Il y a aussi l' **ILS** : l' Instrument Landing System
et le radar secondaire ...

... mais ce sera pour une prochaine fois.