

Objectifs ⇨ mettre en évidence les définitions et caractéristiques d'une transmission H.F. ;
⇨ estimer l'amplitude du signal reçu en fonction de la distance émetteur-récepteur ;

Ressources ⇨ sujets concours ;
⇨ fiches techniques Météo France.

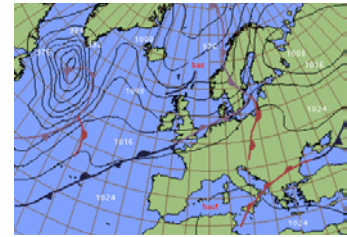
Toutes remarques ou critiques constructives, sur les solutions et les méthodes de ce corrigé sont les bienvenues via le courriel : escolanophilippe@yahoo.fr

TRANSMISSION

EMETTEUR-RECEPTEUR H.F.



(STATION METEOROLOGIQUE)



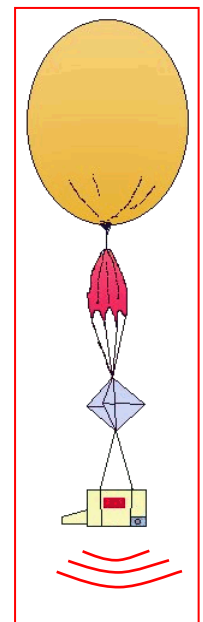
Le réseau international d'observation météorologique compte environ 800 points de mesure en altitude, par ballons sondes, répartis sur la surface terrestre. Les radiosondes, lâchées avec synchronisme, transmettent séquentiellement les paramètres (pressions, température et humidité de l'air) mesurés lors de l'élévation. Cela permet d'avoir une mesure précise des différentes couches de l'atmosphère. Ainsi la comparaison de toutes les données recueillies sur l'ensemble de la planète contribue à assurer la prévision du temps.

En France métropolitaine, il y a 7 stations de radiosondage (Brest, Trappes, Nancy, Lyon, Bordeaux, Nîmes et Ajaccio), qui poursuivent au sol la trajectoire de la radiosonde pour en déduire le vent aux différentes altitudes et qui reçoivent, sur l'antenne de leur récepteur, les informations de leur ballon sonde via une liaison H.F. Le suivi et le traitement des données transmises par la radiosonde s'effectuent en direct à l'intérieur de la station au sol et sont ensuite transmises vers le service central de Météo France à Toulouse.



Le ballon sonde est relativement léger (500 g), il est constitué :

- ⇨ du ballon : c'est une enveloppe en latex, de 1,50 m de diamètre après gonflement à l'hélium ou à l'hydrogène, qui entraîne l'élévation des autres éléments.
- ⇨ du parachute : lors de l'éclatement du ballon, vers 25 à 30km par surpression du ballon en raison de la diminution de pression atmosphérique, le parachute assure la descente de la nacelle en réduisant la vitesse à 30km/h pour limiter les dégâts. En effet, une fois partie pour l'exploration dans l'atmosphère qui dure moins de deux heures, le ballon et la radiosonde sont soumis aux grés des vents, sans que l'on connaisse à l'avance le point de chute.
- ⇨ du défecteur radar : il est obligatoire et signale la présence du ballon aux engins volants.
- ⇨ la nacelle scientifique : elle contient les appareils de mesures composées de capteurs de température, d'humidité, de pression, ainsi que de systèmes de transmission H.F (émetteur radio).



1. CAS D'UNE PROPAGATION IDEALE

L'antenne émettrice crée, à partir de l'énergie électrique qui lui est fournie, un champ électrique et un champ magnétique dans l'espace environnant.

Dans un premier temps, on considère que l'antenne est isotrope et que la propagation de l'onde électromagnétique créée est idéale, sans obstacle ni perturbation.

1.1. Donnez la définition de l'adjectif isotrope (émetteur isotrope).

- Un émetteur **isotrope** est un émetteur qui rayonne de l'énergie de la même manière dans toutes les directions.

Par exemples :

Le soleil est un émetteur de lumière isotrope.

L'antenne d'un téléphone portable est isotrope car le récepteur peut être dans n'importe quelle direction.



1.2. En considérant l'énergie rayonnée par une antenne isotrope équi-répartie sur une sphère de rayon R, exprimez la densité surfacique de puissance D_{SP} disponible à une distance R de l'émetteur en fonction de la Puissance Isotrope Rayonnée à l'Emission $P_{e(iso)}$ et du rayon R.

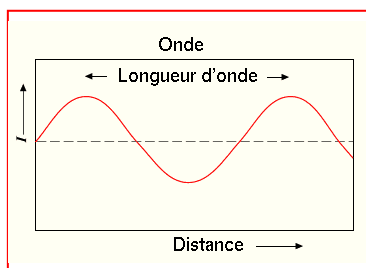
- La **surface d'une sphère** de rayon R étant égale à $S = 4\pi R^2$.

La **densité surfacique** de puissance rayonnée par une antenne isotrope s'exprime par : $D_{SP} = P_{e(iso)} / S = P_{e(iso)} / (4\pi R^2)$

Par définition, la puissance électrique $P_r(iso)$, en watts, reçue par un récepteur adapté à l'antenne de réception est égale à la densité surfacique de puissance multipliée par la surface équivalente S_{eq} de l'antenne de réception : $P_r(iso) = D_{SP} \times S_{eq}$.

Dans le cas d'une antenne de réception isotrope de longueur d'onde λ , la surface équivalente d'antenne est égale à $S_{eq} = \lambda^2 / (4\pi)$

1.3. Qu'est-ce qu'une longueur d'onde ? En anglais : *wavelength*



La **longueur d'onde** λ représente le trajet parcouru par une onde électromagnétique de fréquence f pendant une période T d'oscillation ($f = 1 / T$).

La longueur d'onde est donc la distance entre deux cycles consécutifs, elle est exprimée en mètres et est inversement proportionnelle à la fréquence du signal.

1.4. Donnez l'expression de la longueur d'onde λ en fonction de la fréquence f et de la vitesse de la lumière c (célérité).

La valeur de la célérité dans l'air est proche de celle du vide : $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

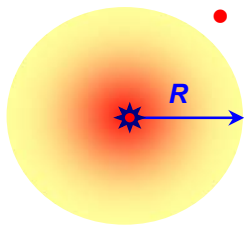
- **$\lambda = c / f$**

1.5 Justifiez le fait que les ondes électromagnétiques collectées par un récepteur travaillant dans la bande des 400 MHz soient qualifiées d'ondes décimétriques.

- $\lambda = c / f$

A 400MHz : $\lambda = (3 \cdot 10^8) / (400 \cdot 10^6) = 75 \text{ cm}$ ou 7,5 décimètre, d'où l'appellation décimétrique, la longueur de l'antenne est liée à la longueur d'onde.

1.6 Etablissez l'expression de la puissance $Pr(iso)$ restituée par une antenne isotrope en fonction de la puissance émise $Pe(iso)$ et de la longueur d'onde λ .



- $Pr(iso) = D_{SP} \times S_{\text{éq}}$
 $= [Pe(iso) / S] \times S_{\text{éq}}$
 $= [Pe(iso) / (4\pi R^2)] \times \lambda^2 / (4\pi)$
 $Pr(iso) = [\lambda^2 Pe(iso)] / (4\pi R)^2$

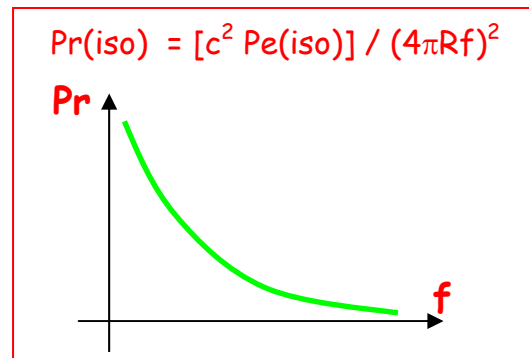
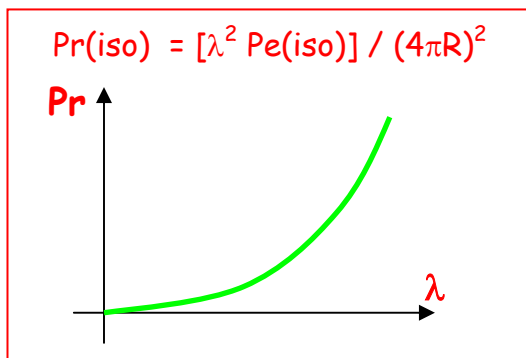
$$D_{SP} = Pe(iso) / S$$

$$S = 4\pi R^2$$

$$S_{\text{éq}} = \lambda^2 / (4\pi)$$

Caractériser l'évolution de la puissance restituée en fonction de la longueur d'onde λ .

Pour une puissance d'émission Pe et une distance R fixe, la puissance restituée est proportionnelle au carré de la longueur d'onde.



Pour des conditions similaires, la réception (liée à la puissance) est de meilleure qualité pour des fréquences de porteuses plus basses.

1.7 Calculez la puissance que restituerait une antenne isotrope en réception, qui est à une distance de 30 kilomètres d'un émetteur de 200mW, avec une porteuse de fréquence $F_e = 403\text{MHz}$.

$$Pr(iso) = [Pe(iso) / S] \times S_{\text{éq}}$$

$$= [\lambda^2 Pe(iso)] / (4\pi R)^2$$

$$Pr(iso) = 0,8\text{pW}$$

$$\lambda = c / f = 3 \cdot 10^8 / 403 \cdot 10^6 = 0,74 \text{ m}$$

$$D_{SP} = Pe(iso) / S$$

$$S = 4\pi (30\,000)^2 = 1,1 \cdot 10^{10} \text{ m}^2$$

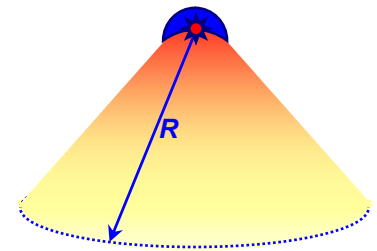
$$S_{\text{éq}} = \lambda^2 / (4\pi) = 0,044 \text{ m}^2$$

1.8 En déduire l'atténuation (en dB), de la transmission de puissance.

- $G = 10 \text{ Log } [Pr / Pe] = 10 \text{ Log } [0,8 \cdot 10^{-12} / 200 \cdot 10^{-3}] = -114\text{dB}$

2. CAS D'UNE PROPAGATION REELLE

Contrairement à une antenne isotrope, la plupart des antennes rayonnent de façon privilégiée dans certaines directions, en effet il faut que l'énergie émise favorise certaines directions au détriment des autres inutiles. La puissance émise est donc concentrée dans une direction donnée appelée direction de propagation.



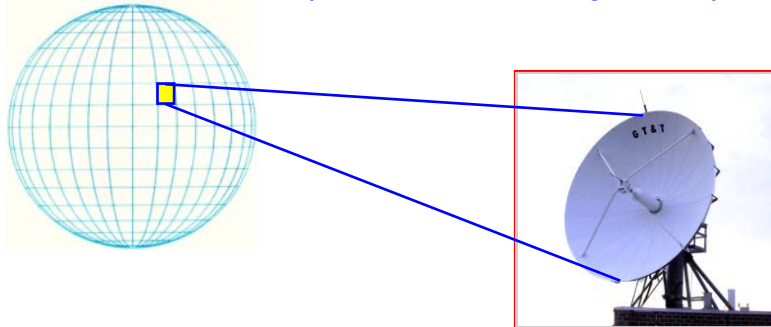
Durant la suite de l'étude, on continue de noter R la distance existant entre l'émetteur et le récepteur.

2.1 Que devient alors la densité surfacique de puissance D_{SP} à une distance R de l'antenne émettrice, si on note A_e l'amplification de l'antenne d'émission réelle dans sa direction de propagation et P_e la puissance d'émission ?

- Privilégier une direction, en créant des lobes de rayonnement, revient à diminuer la surface "éclairée" et donc à augmenter d'autant la densité de puissance :

$$D_{SP} = A_e * P_e / S = A_e * P_e / (4\pi R^2)$$

Un même type d'antenne peut-être utilisé en réception. Cette antenne de réception, de surface équivalente S_R , restitue à sa sortie la puissance P_R . Il s'agit de la puissance fournie à l'entrée du récepteur.



2.2 En tenant compte des indications fournies précédemment, exprimez la puissance P_R du signal reçu à la bride d'antenne en fonction de A_e , P_e , S_R et R .

- La bride d'antenne correspond à la sortie de l'antenne. En supposant que le câble de liaison de l'antenne au récepteur et le récepteur sont adaptés, on peut prendre la relation : $P_R = D_{SP} \times S_{\text{équivalent}}$
- La puissance reçue par une antenne réelle de surface S_R peut donc s'exprimer ainsi :

$$P_R = D_{SP} \times S_R = [A_e \times P_e / (4\pi R^2)] \times S_R$$

Pour une antenne de réception d'amplification en puissance A_R , on peut définir la surface équivalente de réception S_R comme : $S_R = A_R \times \lambda^2 / (4\pi)$.

Tout ce passe comme si l'antenne de réception captait toute l'énergie présente sur la surface équivalente de réception.

2.3 Que devient alors la puissance P_R du signal reçu.

- $P_R = [A_e \times P_e / (4\pi R^2)] \times S_R = [A_e \times P_e / (4\pi R^2)] \times [A_R \times \lambda^2 / (4\pi)]$

$$P_R = (A_e A_R P_e \lambda^2) / (4\pi R)^2$$

2.4 Calculez la puissance que restituerait cette antenne réceptrice ayant une amplification A_R de 2, distante de 30 kilomètres d'un émetteur de 200mW ayant une amplification A_e de 1,6 avec une porteuse de fréquence $F_e = 403\text{MHz}$.

- $P_R = (1,6 \times 2 \times 200 \cdot 10^{-3} \times 0,74^2) / (4\pi \cdot 30 \cdot 10^3)^2 = 2,5\text{pW}$

2.5 En déduire l'atténuation (en dB), de la transmission de puissance.

- $G = 10 \text{ Log } [P_r / P_e] = 10 \text{ Log } [2,6 \cdot 10^{-12} / 200 \cdot 10^{-3}] = -109\text{dB}$

Remarque :

On peut aussi déterminer l'atténuation en passant par les **dBm** :

Le **dBm** est une unité très utilisée en télécommunications et dans les mesures radiofréquences. Le dBm donne la valeur de la puissance du signal utile, par rapport à une puissance de 1mW qui sert de référence.

L'intérêt de cette écriture est de faire tous les calculs successifs (amplification, atténuation) par de simples additions ou soustractions.

- Ici, on calcule donc les 2 puissances par rapport à une référence de 1mW et on fait la différence :

⇒ "gain" émis : $G_e = 10 \text{ Log}(P_e/1\text{mW}) = 10 \text{ Log}(200\text{mW}/1\text{mW}) = 23\text{dBm}$

⇒ "gain" reçu : $G_r = 10 \text{ Log}(P_r/1\text{mW}) = 10 \text{ Log}(2,6\text{pW}/1\text{mW}) = -86\text{dBm}$

⇒ différence entre le gain reçu et le gain émis :

$$G = -86 - 23 = -109\text{dBm} = -109\text{dB}$$

2.6 Calculez la tension disponible aux bornes de la résistance de charge R_o , de valeur 50Ω , de l'antenne réceptrice parfaitement adaptée.

- $P_R = U_R^2 / R_o \Rightarrow$

$$U_R = \sqrt{P_R R_o} = \sqrt{2,5 \cdot 10^{-12} \cdot 50} = 11\mu\text{V}$$

Le constructeur indique dans la documentation technique, que le récepteur H.F. a une sensibilité de $3\mu\text{V}$ à 20dB SINAD .

2.7 Que signifie SINAD ?

- Le sigle **SINAD** signifie **S**ignal **N**oise **A**nd **D**istorsion.
- Le SINAD correspond au rapport entre la puissance utile du signal et la puissance due aux défauts du récepteur (bruit thermique et distorsion). Cette indication SINAD concerne la sortie du récepteur.

2.8 A quoi correspond une sensibilité de $3\mu\text{V}$ à 20dB SINAD ?

- Cela signifie que si la f.e.m. fournie par l'antenne, sur l'entrée du récepteur, est égale à $3\mu\text{V}_{\text{eff}}$, alors sur la sortie du récepteur, le rapport entre la puissance du signal utile (S) et la puissance liée aux bruits (X) propre au récepteur uniquement est supérieure à 100 : car $20\text{dB} = 10\text{Log}(S/X) = 10\text{Log}(100)$.
- Cependant, si le signal reçu par l'antenne est déjà bruité, le rapport signal utile sur le bruit total sera plus petit encore.