Un radar de surveillance maritime

Bac S 2019 Liban (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Donner la relation entre la distance d (radar – bateau détecté) et la durée Δt du trajet aller-retour de l'onde.

Pendant la durée Δt, l'onde parcourt la distance $2d$ (aller puis retour) à la célérité c : $2d = c\,\Delta t$.

$$d = \frac{c\,\Delta t}{2}$$

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : l'onde va jusqu'au bateau puis revient au radar, elle parcourt deux fois la distance cherchée.

1.2 À quel instant a été émise l'onde de fréquence 9344 MHz ?

Données utiles document 1 ; écho reçu à $t = 0{,}43$ ms

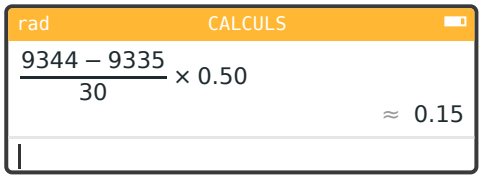
Sur le document 1, entre 0 et 0,50 ms, la fréquence émise croît de 9335 MHz à 9365 MHz. La droite passe par l'ordonnée 9344 MHz à l'abscisse 0,15 ms.

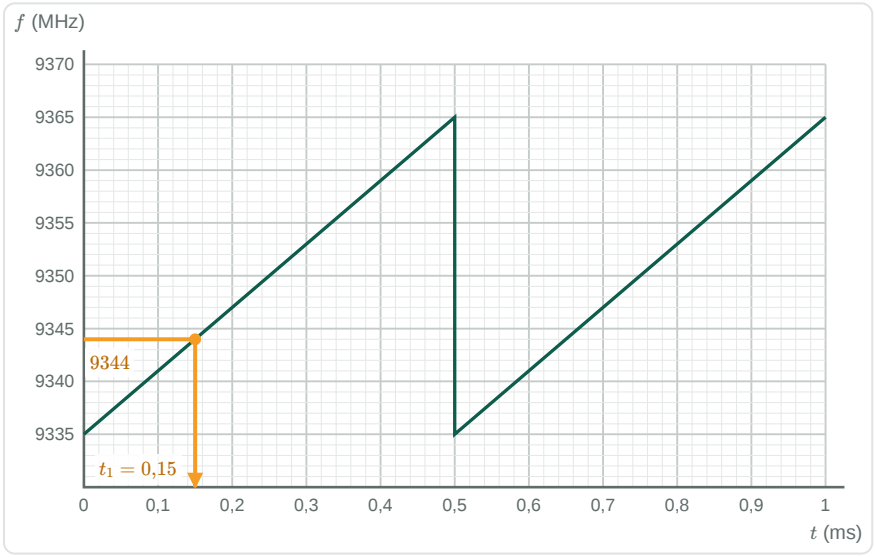
Cet instant est bien antérieur à la réception ($0{,}15$ ms $< 0{,}43$ ms).

L'onde a été émise à l'instant $t_1 = 0{,}15$ ms.

MÉTHODE
Sans lecture fine : la fréquence augmente de 30 MHz en 0,50 ms. Pour gagner $9344 - 9335 = 9$ MHz, il faut $\frac{9}{30} \times 0{,}50 = 0{,}15$ ms.

À LA CALCULATRICE





1.2 · Document 1 : lecture de l'instant d'émission de l'onde de fréquence 9344 MHz

1.3 En déduire la valeur de la distance d entre le radar et le bateau responsable de cet écho.

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; $t = 0{,}43$ ms ; $t_1 = 0{,}15$ ms (1.2)

Durée de l'aller-retour : $\Delta t = t - t_1 = 0{,}43 - 0{,}15 = 0{,}28$ ms.

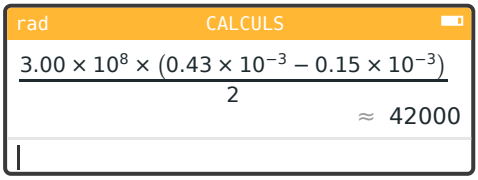
$$d = \frac{c\,(t - t_1)}{2} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 0{,}28 \times 10^{-3}}{2} = 4{,}2 \times 10^4 \text{ m}$$

$$d = 4{,}2 \times 10^4 \text{ m} = 42 \text{ km}$$

PIÈGE
Laisser les durées en millisecondes : avec c en m · s^{-1}, il faut $\Delta t = 0{,}28 \times 10^{-3}$ s.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs : les instants t et t_1 n'en ont que deux, le résultat ne peut pas être plus précis que la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



1.4 Identifier, parmi les deux bateaux, celui qui correspond à cet écho. Expliciter la démarche.

Données utiles $d = 42$ km (1.3) ; 1 mn = 1,852 km ; 9 mn entre deux cercles du document 2

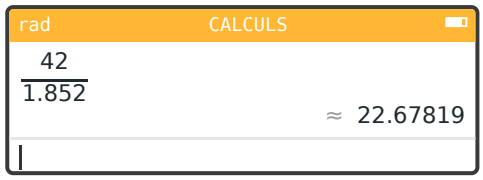
Conversion en miles nautiques : $d = \dfrac{42}{1{,}852} = 23$ mn.

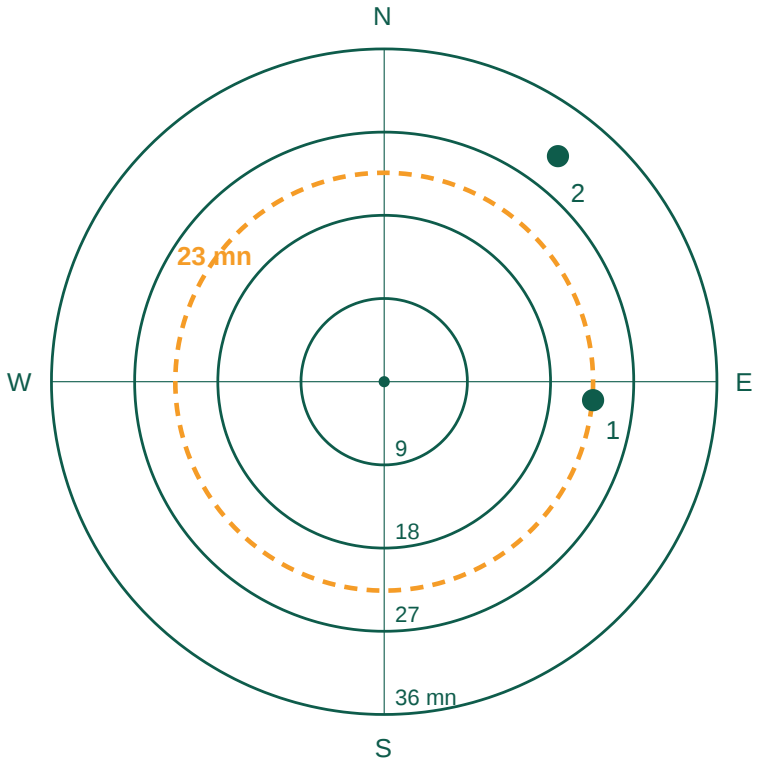
Les cercles de l'écran ont pour rayons 9, 18, 27 et 36 mn. La distance trouvée est comprise entre 18 mn et 27 mn : le bateau cherché se trouve entre le deuxième et le troisième cercle.

Le bateau 1 est dans cette couronne ; le bateau 2 est entre le troisième et le quatrième cercle (entre 27 mn et 36 mn).

L'écho de fréquence 9344 MHz est celui du **bateau 1** ($d \approx 23$ mn).

À LA CALCULATRICE





1.4 · Document 2 : le cercle de rayon 23 mn passe par le bateau 1

1.5 Déterminer la distance maximale que peut détecter ce radar et la comparer à la valeur du constructeur (36 miles nautiques).

Données utiles document 1 : période du signal $T = 0{,}50$ ms ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; 1 mn = 1,852 km

La fréquence émise reprend les mêmes valeurs tous les $T = 0{,}50$ ms. Si l'aller-retour dure plus de 0,50 ms, une fréquence reçue correspond à plusieurs instants d'émission possibles : la distance n'est plus déterminée. Donc $\Delta t_{\max} = T$.

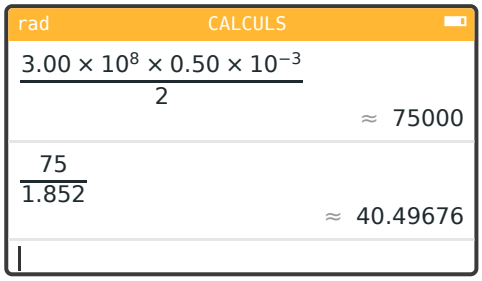
$$d_{\max} = \frac{cT}{2} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 0{,}50 \times 10^{-3}}{2} = 7{,}5 \times 10^4 \text{ m} = 75 \text{ km}$$

En miles nautiques : $d_{\max} = \dfrac{75}{1{,}852} = 40$ mn.

$d_{\max} = 75$ km ≈ 40 mn : même ordre de grandeur que les 36 mn du constructeur, qui annonce une portée un peu plus faible (écart d'environ 10 %).

COMPRENDRE
La valeur du constructeur est inférieure à cette limite théorique : il garde une marge, car l'écho doit aussi rester assez puissant pour être détecté (partie 3).

À LA CALCULATRICE



2.1 Donner, en justifiant, la valeur de l'angle θ pour lequel le décalage Doppler Δf_D est toujours nul.

$\Delta f_D = \dfrac{2v}{c} f_0 |\cos\theta|$ est nul quelle que soit la vitesse relative v si $\cos\theta = 0$.

$\theta = 90^\circ$

COMPRENDRE
À 90°, la cible est exactement par le travers du navire : sa vitesse relative n'a aucune composante le long de la droite radar – cible, la distance entre les deux ne varie pas à cet instant.

2.2 Pour $\theta = 0^\circ$, déterminer la vitesse relative maximale entre les deux bateaux pour ne pas introduire d'erreur de positionnement.

Données utiles $\Delta f_{D,\max} = 1{,}5$ kHz ; $f_0 = 9350$ MHz ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1}

Il faut $\Delta f_D \leqslant 1{,}5$ kHz. Avec $\theta = 0^\circ$, $|\cos\theta| = 1$, donc $\Delta f_D = \dfrac{2v}{c} f_0$ et

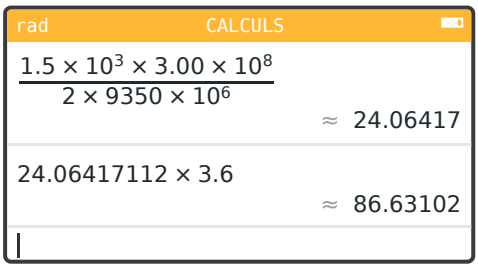
$$v_{\max} = \frac{c\,\Delta f_{D,\max}}{2 f_0} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 1{,}5 \times 10^3}{2 \times 9350 \times 10^6} = 24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v_{\max} = 24$ m · s^{-1} (environ 87 km · h^{-1})

PIÈGE
Mélanger kHz et MHz : les deux fréquences doivent être en hertz, $1{,}5 \times 10^3$ Hz et 9350×10^6 Hz.

COMPRENDRE
Aucun bateau n'atteint une telle vitesse relative : l'effet Doppler ne fausse pas le positionnement en pratique.

À LA CALCULATRICE



3.1 Quel type de propagation (libre ou guidée) utilisent les systèmes radar ?

L'onde émise par le radar se propage dans l'air, dans toutes les directions accessibles, sans câble ni fibre pour la conduire jusqu'à la cible.

La propagation est **libre**.

COMPRENDRE
La distinction entre propagation libre et propagation guidée (câble, fibre optique) appartenait à l'ancien programme de Terminale S ; elle ne figure plus au programme actuel de spécialité.

3.2 Calculer la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique émis par le radar.

Données utiles $f_0 = 9350$ MHz ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1}

$$\lambda = \frac{c}{f_0} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{9350 \times 10^6} = 3{,}21 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$\lambda = 3{,}21 \times 10^{-2}$ m $= 3{,}21$ cm

COMPRENDRE
Cette valeur désigne la courbe à utiliser dans le document 3 : celle repérée par $\lambda = 3{,}2$ cm.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3.00 \times 10^8}{9350 \times 10^6}$ ≈ 0.03208556

3.3 La puissance reçue par le radar, pour une masse d'eau de 4 g par m³ d'air, est-elle détectable ?

Données utiles $P_{\text{émise}} = 165$ mW ; $P_{\min} = 1 \times 10^{-11}$ mW ; distance maximale 36 mn ; $\lambda = 3{,}2$ cm (3.2) ; document 3

Hypothèses : la cible est à la distance maximale de détection (cas le plus défavorable) ; l'onde est atténuée à l'aller et au retour, donc $L = 2 \times 36 = 72$ mn ; seule l'atténuation dans l'air est prise en compte (la réflexion sur la cible est supposée sans perte).

Lecture du document 3 : sur la droite $\lambda = 3{,}2$ cm, à l'ordonnée 4 g, on lit $\alpha \approx 0{,}95$ dB · mn^{-1}.

De $\alpha = \frac{10}{L} \log\left(\frac{P_{\text{émise}}}{P_{\text{reçue}}}\right)$ on tire $\frac{P_{\text{émise}}}{P_{\text{reçue}}} = 10^{\alpha L/10}$, soit

$$P_{\text{reçue}} = P_{\text{émise}} \times 10^{-\alpha L/10} = 165 \times 10^{-0{,}95 \times 72/10} = 2{,}4 \times 10^{-5} \text{ mW}$$

Or $2{,}4 \times 10^{-5}$ mW $> 1 \times 10^{-11}$ mW.

$P_{\text{reçue}} \approx 2{,}4 \times 10^{-5}$ mW, très supérieure au minimum détectable : le signal est **détectable**, même à 36 mn.

PIÈGE
Prendre $L = 36$ mn : le signal est atténué sur l'aller et sur le retour. Et α étant en dB par mile nautique, L reste en miles nautiques, sans conversion.

COMPRENDRE
Les axes du document 3 sont logarithmiques, la lecture est approximative. Avec $\alpha = 1{,}0$ dB · mn^{-1} on trouve $1{,}0 \times 10^{-5}$ mW : la conclusion ne change pas, la marge est d'un facteur un million.

COMPRENDRE
Le coefficient d'atténuation linéique relève de l'ancien programme de Terminale S ; il n'est plus au programme actuel de spécialité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.95 \times 72}{10}$ ≈ 6.84

$165 \times 10^{-6.84}$ ≈ 2.384976×10^{-5}