Radar Doppler météorologique et aviation

Bac S 2016 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 À quelle distance du radar se trouve le début de la zone de précipitations ?

Données utiles retard de l'écho (figure 4) : $\tau_R = 5{,}0\ \mu s$; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (à connaître)

Le début de l'écho revient au radar avec un retard τ_R sur le début de l'impulsion émise. Pendant cette durée, l'onde fait un aller-retour entre le radar et le début de la zone de précipitations, située à la distance D : elle parcourt $2D$ à la célérité c.

$$2D = c\,\tau_R \quad \text{donc} \quad D = \frac{c\,\tau_R}{2}$$

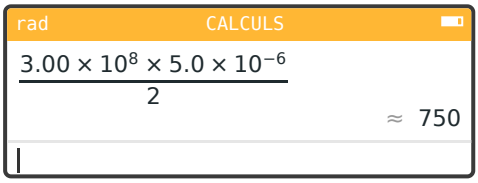
$$D = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 5{,}0 \times 10^{-6}}{2} = 7{,}5 \times 10^2\ \text{m}$$

$D = 7{,}5 \times 10^2$ m, soit 0,75 km.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : l'onde va jusqu'aux précipitations puis en revient. Sans lui, on annonce 1,5 km, le double de la distance réelle.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $\tau_R = 5{,}0\ \mu s$, la donnée la moins précise. Le sujet ne donne pas c : sa valeur dans le vide est à connaître.

À LA CALCULATRICE



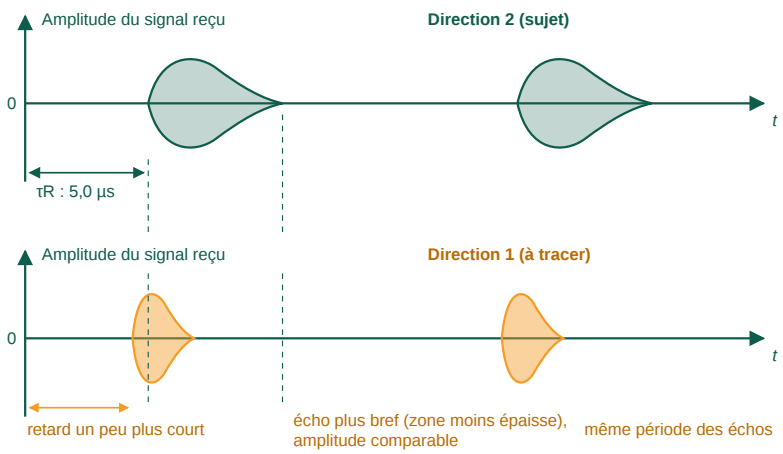
1.2 Représenter, sans souci d'échelle, sur la figure A de l'annexe, l'allure du signal reçu lorsque le radar émet dans la direction 1 de la figure 3.

On compare, sur la figure 3, ce que traverse le faisceau dans les directions 1 et 2.

- **Retard** : dans la direction 1, le début de la zone de précipitations est un peu plus proche du radar ; l'écho commence donc un peu plus tôt (τ'_R légèrement inférieur à $5{,}0\ \mu s$).
- **Durée** : la zone traversée est nettement moins épaisse ; l'écho est donc plus bref.
- **Amplitude** : la zone traversée est aussi foncée que dans la direction 2, donc l'intensité des précipitations est comparable ; l'amplitude est à peu près la même.
- **Répétition** : l'intervalle entre deux échos reste celui qui sépare deux impulsions émises ; il ne dépend que du radar.

Dans la direction 1 : échos de même amplitude, plus brefs, arrivant légèrement plus tôt, avec la même période de répétition (figure A complétée).

MÉTHODE
Un écho radar se lit en trois temps : le retard donne la distance, la durée donne l'épaisseur de la zone, l'amplitude donne l'intensité des précipitations. Chaque caractéristique du tracé doit être justifiée par une lecture de la figure 3.



1.2 · Annexe, figure A complétée : signal reçu dans la direction 1 (en orange)

2.1 Estimer l'intensité des précipitations en bord de piste.

Données utiles $R_{\text{dBZ}} = 10\log\dfrac{Z}{Z_0}$; réflectivité maximale $Z = 10^5 \times Z_0$; échelle de correspondance entre R_{dBZ} et l'intensité

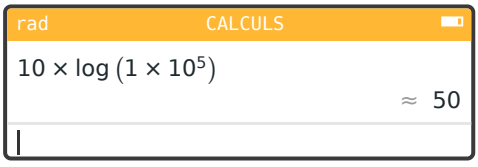
$$R_{\text{dBZ}} = 10\log\frac{Z}{Z_0} = 10\log\frac{10^5 \times Z_0}{Z_0} = 10\log\left(10^5\right) = 10 \times 5 = 50 \text{ dBZ}$$

Sur l'échelle du sujet, la graduation 50 dBZ est en face de la graduation $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

L'intensité des précipitations est d'environ $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

COMPRENDRE
$\log$ est le logarithme décimal : $\log(10^n) = n$. Une échelle en décibels resserre des grandeurs très étalées : multiplier Z par 10 ajoute seulement 10 dBZ. Le niveau d'intensité sonore suit le même principe.

À LA CALCULATRICE



2.2 Calculer le diamètre des grêlons.

Données utiles $\Delta f = \dfrac{2v\cos\theta}{c} \times f_{\text{émise}}$; $\Delta f = +200$ Hz ; $\theta = 60^\circ$; $f_{\text{émise}} = 3{,}0 \times 10^9$ Hz ; $v = \sqrt{k \times \dfrac{d}{2}}$; $k = 3{,}8 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Vitesse de chute des grêlons, à partir du décalage Doppler :

$$v = \frac{c\,\Delta f}{2\,f_{\text{émise}}\cos\theta} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 200}{2 \times 3{,}0 \times 10^9 \times \cos 60^\circ} = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Diamètre : $v = \sqrt{k \times \dfrac{d}{2}}$ donne $v^2 = \dfrac{k\,d}{2}$, donc

$$d = \frac{2v^2}{k} = \frac{2 \times 20^2}{3{,}8 \times 10^4} = 2{,}1 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$d = 2{,}1 \times 10^{-2} \text{ m} = 2{,}1 \text{ cm}$

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\cos 60$ ne vaut plus $0{,}5$ et tout le calcul est faux. Autre erreur fréquente : oublier d'élever v au carré en isolant d.

MÉTHODE
Deux relations, deux étapes : calculer d'abord la grandeur intermédiaire v, la contrôler (20 m/s, soit 72 km/h, plausible pour un grêlon), puis seulement en déduire d.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$$\frac{3.00 \times 10^8 \times 200}{2 \times 3.0 \times 10^9 \times \cos(60°)} \approx 20$$

$$\frac{2 \times 20^2}{3.8 \times 10^4} \approx 0.02105263$$

2.3 Représenter sur la figure B de l'annexe, sans souci d'échelle, la direction et le sens du vent aux positions n°1 et n°2. Justifier.

Données utiles décalage Doppler positif à la position n°1 (début de piste), négatif à la position n°2 (bout de piste)

Direction : en un point, le vecteur vitesse du vent est tangent à la ligne de champ qui passe par ce point.

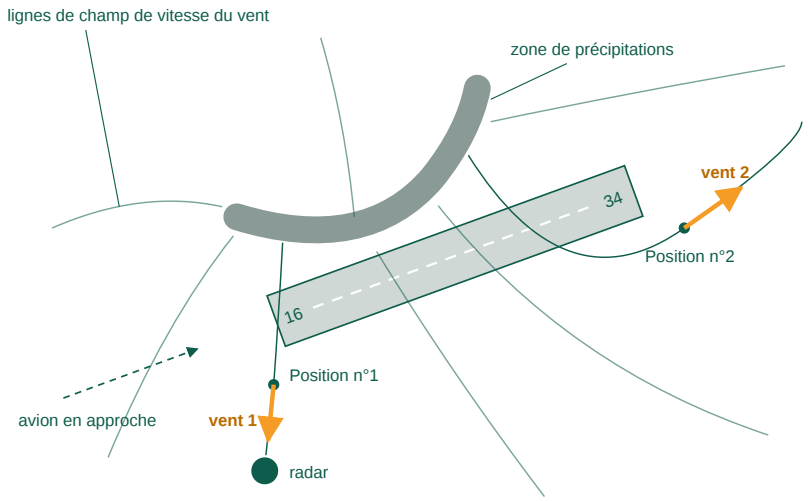
Sens : il est donné par le signe du décalage Doppler.

- Position n°1 : $\Delta f > 0$, donc $f_{\text{reçue}} > f_{\text{émise}}$. Les gouttes ou grêlons portés par le vent se rapprochent du radar : le vent souffle vers le radar.
- Position n°2 : $\Delta f < 0$, donc $f_{\text{reçue}} < f_{\text{émise}}$. Le vent s'éloigne du radar.

En n°1 : vecteur tangent à la ligne de champ, dirigé vers le radar.
En n°2 : vecteur tangent à la ligne de champ, dirigé à l'opposé du radar (figure B complétée).

PIÈGE
Tracer le vecteur le long de la droite radar-point. Le Doppler ne donne que le sens (rapprochement ou éloignement) ; la direction est celle de la tangente à la ligne de champ.

COMPRENDRE
Les deux vecteurs s'éloignent de la zone de précipitations : c'est la signature d'une rafale descendante, dont l'air s'étale dans toutes les directions en arrivant au sol.



2.3 · Annexe, figure B complétée (schéma simplifié) : vecteurs vitesse du vent en orange

2.4 Faire un bilan des conditions météorologiques des trois questions précédentes, puis indiquer en le justifiant si l'avion peut atterrir en toute sécurité ou si un déroutement est nécessaire.

Données utiles intensité $50\ \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (2.1) ; $d = 2{,}1$ cm (2.2) ; sens du vent (2.3) ; seuils du sujet : fort orage au-delà de $50\ \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, grêlons dangereux au-delà de 4 cm

- **Précipitations** : environ $50\ \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, soit exactement le seuil au-delà duquel le sujet parle de fort orage. La situation est à la limite.
- **Grêle** : grêlons de 2,1 cm, inférieurs aux 4 cm à partir desquels la carlingue et les réacteurs sont menacés. Pas de danger majeur de ce côté.
- **Vent** : les sens sont très différents aux deux extrémités de la piste, ce qui révèle une rafale descendante. L'avion, qui se pose de l'extrémité 16 vers l'extrémité 34, aurait un vent plutôt de face en début de piste, puis un vent arrière en bout de piste, d'où un risque de perte de portance.

Le critère d'alerte du sujet (vents très différents entre les deux extrémités de la piste) est rempli, avec des précipitations au seuil du fort orage.

L'avion ne peut pas atterrir en toute sécurité : un déroutement est nécessaire.

MÉTHODE

Pour une synthèse : reprendre chaque résultat chiffré, le comparer au seuil donné dans les documents, puis conclure par une décision nette. Une conclusion sans comparaison aux seuils ne rapporte pas les points.