Radar météorologique - Définition et Explications

Types de données

Réflectivité

Calcul en décibel (dBZ)

L'écho de retour réfléchi par les cibles est également analysé pour son intensité afin d'établir le taux de précipitation dans le volume sondé. On utilise une longueur d'onde radar entre 1 et 10 cm afin que le retour agisse selon la loi de Rayleigh, c'est-à-dire que l'intensité de retour est proportionnelle à une puissance du diamètre des cibles en autant que celles-ci (pluie, flocons, etc.) soient beaucoup plus petites que la longueur d'onde du faisceau radar. C'est ce qu'on nomme la réflectivité (Z). Cette intensité varie en fait comme la 6e puissance du diamètre des cibles de diamètre D (le sixième moment) multiplié par la distribution des gouttes de pluie (N[D] de *Marshall-Palmer*) ce qui donne une fonction Gamma tronquée :

$$Z = \int_0^{Dmax} N_0 e^{-\Lambda D} D^6 dD$$

Ce Z est en mm^6m^{-3}, ce qui donne des unités plutôt inhabituelles. De plus, cette formule ne tient pas compte de la nature de la cible. Pour obtenir la réflectivité équivalente (Z_e) que voit le radar, on doit normaliser et multiplier par le carré de la constante diélectrique (K) de la cible pour tenir compte de son efficacité à réfléchir.

$$Z_e = |K|^2 \left(\frac{Z}{Z_0}\right) = \left(\frac{|K|^2}{Z_0}\right)\left(\int_0^{Dmax} N_0 e^{-\Lambda D} D^6 dD\right)$$

$$\begin{cases} Z_0 = 1mm^6m^{-3} soit\ le\ retour\ équivalent\ d'un\ volume\ rempli\ de\ gouttelett \\ |K|^2 = 0,93\ pour\ l'eau\ et\ 0,24\ pour\ la\ neige \end{cases}$$

- La variation de diamètre et la constante diélectrique entre les différents types de précipitations (pluie, neige, bruine, grêle, etc.) est très grande et la réflectivité équivalente est donc exprimée en dBZ (10 fois le logarithme du rapport ou décibel Z)

- L'antenne tourne sur son axe à un angle d'élévation donné mais émet un grand nombre d'impulsions dans chaque angle de visée. La réflectivité équivalente revenant de chaque impulsion pour chacun des volumes de cibles est donc notée pour calculer une intensité moyenne de sondage pour ce volume.

Transformation en taux de précipitations

Comme ce qu'on obtient au sol est une quantité de précipitations, on veut trouver la relation entre la réflectivité équivalente et ce qu'on mesure. Le taux de précipitation (R) est égal au nombre de particules, leur volume et leur vitesse de chute (v[D]):

$$R = \int_0^{Dmax} N_0 e^{-\Lambda D} (\pi D^3/6) v(D) dD$$

On voit donc que Z_e et R ont une formulation similaire et en résolvant les équations on arrive à une relation, dite Z-R, du type:

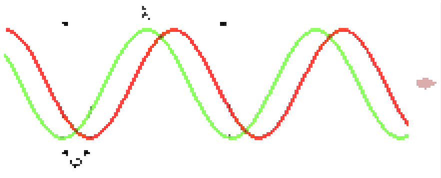
$Z_e = aR^b$ {Où a et b dépendent du type de précipitations (pluie,neige, convective ou stratiforme) qui ont des Λ, K, N_0 et v différents

La plus connu de celle-ci est la *relation Z-R de Marshall-Palmer* qui donne a=200 et b=1,6. Elle est encore l'une des plus utilisée car elle est valide pour de la pluie synoptique dans les latitudes moyennes, un cas très fréquent. D'autres relations ont été trouvées pour des situations de neige, de pluie sous orage, pluie tropicale, etc.

Vitesse Doppler

Radar pulsé

À proprement parler, la différence de fréquence générée, selon l'effet Doppler traditionnel, par le déplacement des gouttes de pluie ou les flocons de neige est trop petite pour être notée par l'instrumentation électronique actuelle. En effet, les fréquences utilisées sont de l'ordre de 10^9 Hz (longueurs d'onde 5 à 10 cm) et les vitesses des cibles de 0 à 70 m/s ce qui donne un changement de fréquence de seulement 10^{-5}%. On utilise donc à la place la différence de phase entre deux impulsions successives revenant d'un même volume sondée (paire d'ondes pulsées). Entre chaque impulsion, les cibles se déplacent légèrement créant cette différence de phase. L'intensité d'une impulsion après un aller-retour est donnée par :



Différence de phase entre deux ondes revenant d'une cible ayant bougé.

$$I = I_0 sin\left(\frac{4\pi x_0}{\lambda}\right) = I_0 sin\left(\phi_0\right)$$

$$Où : \quad \begin{cases} x = distance\ radar - cible \\ \lambda = longueur\ d'onde \\ \Delta t = temps\ entre\ deux\ impulsions \end{cases} .$$

L'intensité d'une impulsion subséquente revenant du même volume sondé mais où les cibles ont légèrement bougé est donnée par:

$$I = I_0 sin\left(\frac{4\pi(x_0 + v\Delta t)}{\lambda}\right) = I_0 sin\left(\phi_0 + \Delta\phi\right)$$

Donc $\Delta\phi = \left(\frac{4\pi v \Delta t}{\lambda}\right)$

$$v = vitesse\ des\ cibles\ = \frac{\lambda\Delta\phi}{4\pi\Delta t}$$

Dilemme Doppler

Regardons maintenant la vitesse maximale qu'on peut mesurer sans ambiguïté. Comme l'angle ϕ ne peut varier qu'entre -π et +π, on ne peut noter une vitesse supérieure à:

$$Vitesse_{max} = \pm\frac{\lambda}{4\Delta t}$$

C'est ce qu'on appelle la vitesse de Nyquist. Pour obtenir une meilleure détermination de la vitesse des cibles, il faut envoyer des impulsions très rapprochées, donc avec Δt très petit. Mais on sait également que la portée en réflectivité est

$$x = \frac{c\Delta t}{2}$$

ce qui demande un grand Δ*t* pour être sûr de la position des échos revenant de loin sans ambiguïté. Ce dilemme Doppler limite donc la portée utile des radars qui utilisent cet effet. Dans le tableau à droite on peut voir la variation de ces deux paramètres selon le taux de répétition des impulsions (1 / Δ*t*). Il faut donc faire un compromis qui en général fait que les radars Doppler ont une portée utile de 100 à 150 km.

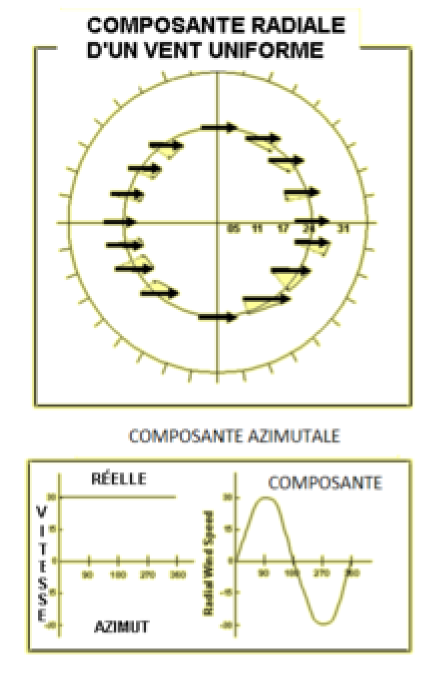
Amélioration

Certaines techniques permettent néanmoins d'étendre la vitesse maximale pour diminuer l'effet de ce fameux dilemme. Il s'agit des méthodes dites à fréquences de répétitions multiples (*multiple PRF* en anglais) qui consistent à émettre des impulsions à différent taux de répétitions, très proches les uns des autres, et à recombiner les vitesses Doppler individuelles correspondantes. Ainsi avec un certain taux de répétition, on obtient une vitesse pour la cible alors qu'avec un autre taux, la vitesse notée sera différente. Par simple calcul, on peut déduire la vraie vitesse et on augmente la vitesse non ambiguë finale. Avec une plage de taux d'impulsions, on augmente la vitesse maximale décelable pour une même portée maximale.

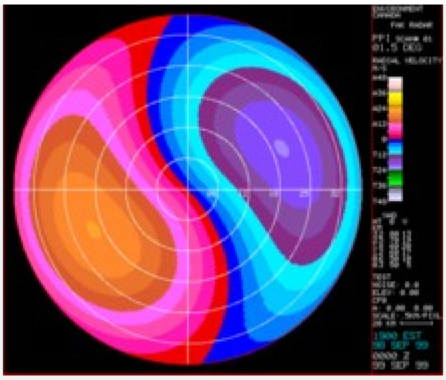
Le réseau canadien de radars météorologiques, utilisant une longueur d'onde de 5 cm, est doté de ce genre de traitement radar depuis 1999. Sans la technique, on y noterait une vitesse non ambiguë entre 11 et 15 m/s pour une portée de 150 km. En utilisant la technique avec deux taux, on obtient 48 m/s sans changer la portée maximale. Si on voulait changer cette portée, la plage de taux de répétitions utilisables serait plus basse et la vitesse maximale non ambiguë serait plus basse également, même avec cette technique.

Les radars du réseau opérationnel français ARAMIS sont équipés d'un tel schéma depuis peu (2006). Cette technique permet d'étendre la portée maximale à plus de 200 km tout en ayant une vitesse non ambiguë de l'ordre de 60 m/s (Tabary et al. 2006). Dans ce cas, on utilise trois taux de répétitions pour étendre encore plus la plage de vitesses. Mais encore là, le dilemme existe, on ne fait que changer la pente des lignes sur le graphique.

Interprétation



Projection du vent réel sur la composante radiale au radar selon la direction de visée sur 360 degrés.



Exemple idéalisé de sortie Doppler. Les vents s'approchant sont en bleu et ceux sortant en rouge selon la convention habituelle. Remarquez la variation sinusoïdale de la vitesse lorsqu'on se déplace sur 360 degrés le long d'un des cercles (Environnement Canada).

Cette vitesse est appelée la vitesse Doppler. Elle ne donne que la composante radiale du déplacement, dite *vitesse radiale*. Cependant, il est possible de déduire avec une certaine précision les vraies vitesses et directions si l'écran est suffisamment rempli de précipitations. Pensons à une pluie d'automne qui dure toute la journée et qui se déplace uniformément d'ouest en est. Le faisceau radar pointant vers l'ouest verra donc les gouttes s'approcher de lui et l'inverse quand il pointe vers l'est. Par contre, quand le radar pointe vers le nord et le sud, les gouttes ne se rapprochent, ni ne s'éloignent de lui car elles passent perpendiculairement au faisceau. Donc la vitesse notée sera nulle.

Si on se rappelle que le radar tourne sur 360 degrés, il verra donc toutes les composantes de projection de la vitesse de ces gouttes sur son axe de visée. L'ensemble des vitesses sur un tour complet prendra les valeurs d'un cosinus. Fort de cela, on peut donc déduire la direction et la vitesse des précipitations (+/- celle du vent).

On a cependant négligé la vitesse de chute des gouttes mais elle est faible pour les angles d'élévation sous 3 degrés à l'intérieur de 150 km du radar ce qui sont le plus souvent les angles recherchés. Un regard plus en hauteur doit en tenir compte.