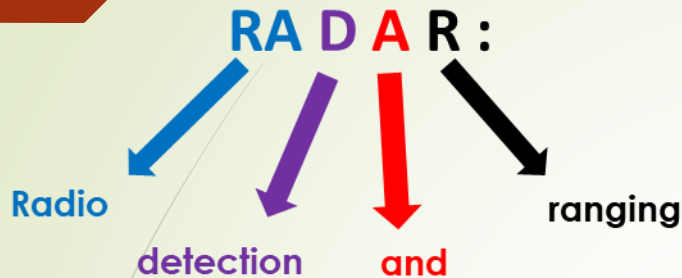


# Les radars routiers: sécurité routière

**2020 - 2021**

**22191**



**Définition:**

Un système qui utilise les ondes électromagnétiques pour détecter la présence et déterminer la position ainsi que la vitesse d'objets.

**APPLICATION DES SYSTEMES RADAR**

- MILITAIRES ,
- AVIATION CIVILE,
- Détection météorologique
- Astronomie
- Médecine
- Sécurité routière

**Problématique:**

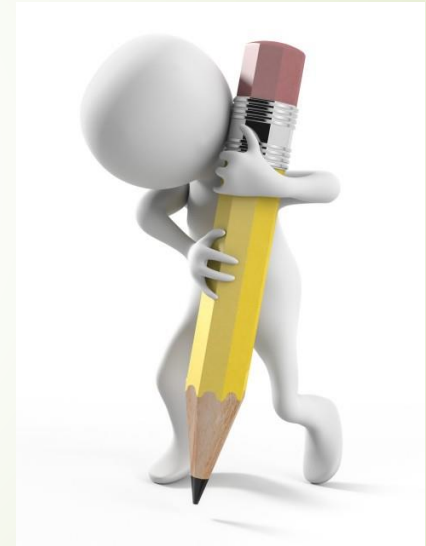
on s'intéresse aux différentes propriétés du radar routier dans le cadre d'améliorer et de valoriser la sécurité routière :

***Comment fonctionne un radar ?***



## Plan :

- Système radar et principe de fonctionnement
- Effet Doppler-Fizeau dans un radar routier
- Marge de tolérance pour les vitesses estimées
- Méthode de repérage de la fréquence Doppler: FFT
- Équation d'un radar et puissance reçue
- Effet de l'humidité sur la réflectivité du radar



# I. Système radar et principe de fonctionnement:

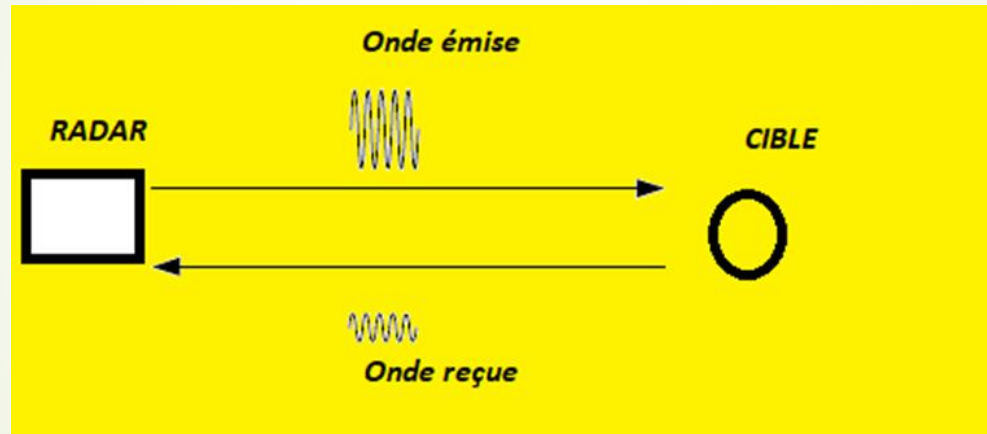


Schéma d'un radar

## II. L'effet Doppler-Fizeau :

c'est le décalage de fréquence d'une onde (mécanique, acoustique, électromagnétique ou d'une autre nature) observé entre les mesures à l'émission et à la réception, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

Dans notre cas, on calcule le décalage de fréquence d'une onde électromagnétique afin d'avoir des informations sur la vitesse du véhicule.

$$f_D = \frac{2.v}{\lambda} \longrightarrow v = \frac{\lambda.f_D}{2}$$

$f_D$  : Décalage Doppler [Hz]

$v$  : Vitesse radiale[m.s<sup>-1</sup>]

$\lambda$ : Longueur d'onde de la fréquence transmise[m]

Pour un radar de  $\lambda \approx 12 \text{ mm}$  ayant une carte stéréo  $f_c = f_D = 3 \text{ kHz}$  :

$$v = \frac{\lambda.f_D}{2} = \frac{12.10^{-3}.3.10^3}{2} = 18 \text{ m.s}^{-1} = 64,8 \text{ km/h}$$

## Les bandes des fréquences utilisées dans les radars:

Nom de la bande	Plage de fréquence	Longueur d'onde	Propriété de la bande
X	8-12 GHz	2,5-3,75 cm	-Utilisation dans les radars météorologiques. -Contrôle de vitesse routière, les radars de navigation, les radars à résolution moyenne de cartographie.
Ku	12-18 GHz	1,67-2,5 cm	-Utilisation dans les radars de cartographie à haute résolution.
K	18-27 GHz	1,11-1,67 cm	- Ku et Ka sont utilisées pour la détection des gouttelettes de nuages en météorologie. - Utilisation dans les radars manuels.
Ka	27-40 GHz	0,75-1,11 cm	-Utilisation dans les radars anticollision. -Utilisation dans les radars routiers automatisés.

## Démonstration

Signal émis:  $E(t) = \sin(\omega_1 t)$

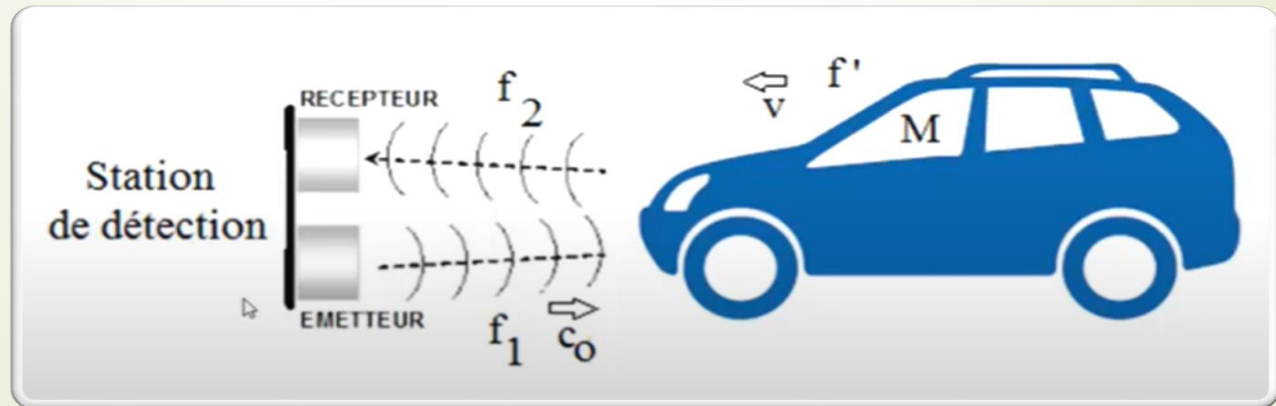
Signal réfléchi:  $R(t) = \sin(\omega_1 t - 2\beta \cdot z(t))$

Avec  $\beta = \frac{\omega_1}{c_0}$

Méthodes:

→  $f_2 = ?$

→  $V = ?$





$$\rightarrow f_2 = \frac{1}{2\pi} \frac{d(\omega_1 t - 2\beta z(t))}{dt} = f_1 - \frac{\beta}{\pi} \frac{dz(t)}{dt} = f_1 - \frac{\omega_1 \cdot v_r}{\pi \cdot c_0}$$

$$\text{Or } v_r = v \cdot \cos(\theta)$$

$$\rightarrow f_2 = f_1 - \frac{2f_1 \cdot \cos(\theta) \cdot v}{c_0}$$

$$\rightarrow v = \frac{f_1 - f_2}{2f_1 \cdot \cos(\theta)} c_0 = \frac{\Delta f}{2f_1 \cdot \cos(\theta)} c_0$$

Pour des angles faibles  $\theta$  :  $\cos(\theta) \approx 1$  ( $\theta = 15^\circ$ )

On pose aussi :  $\lambda = \frac{c_0}{f_1}$

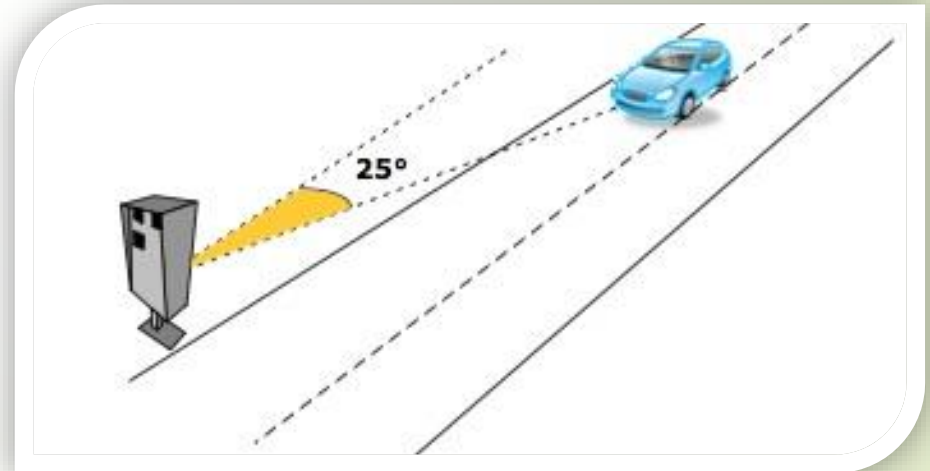
$$\rightarrow v = \frac{\Delta f \cdot \lambda}{2} = \frac{\lambda \cdot f_D}{2}$$



## II. Erreurs et Tolérance :

Les appareils sont généralement calibrés pour prendre les vitesses lorsque le radar est orienté suivant un angle de  $25^\circ$  par rapport à l'axe de circulation des véhicules contrôlés.

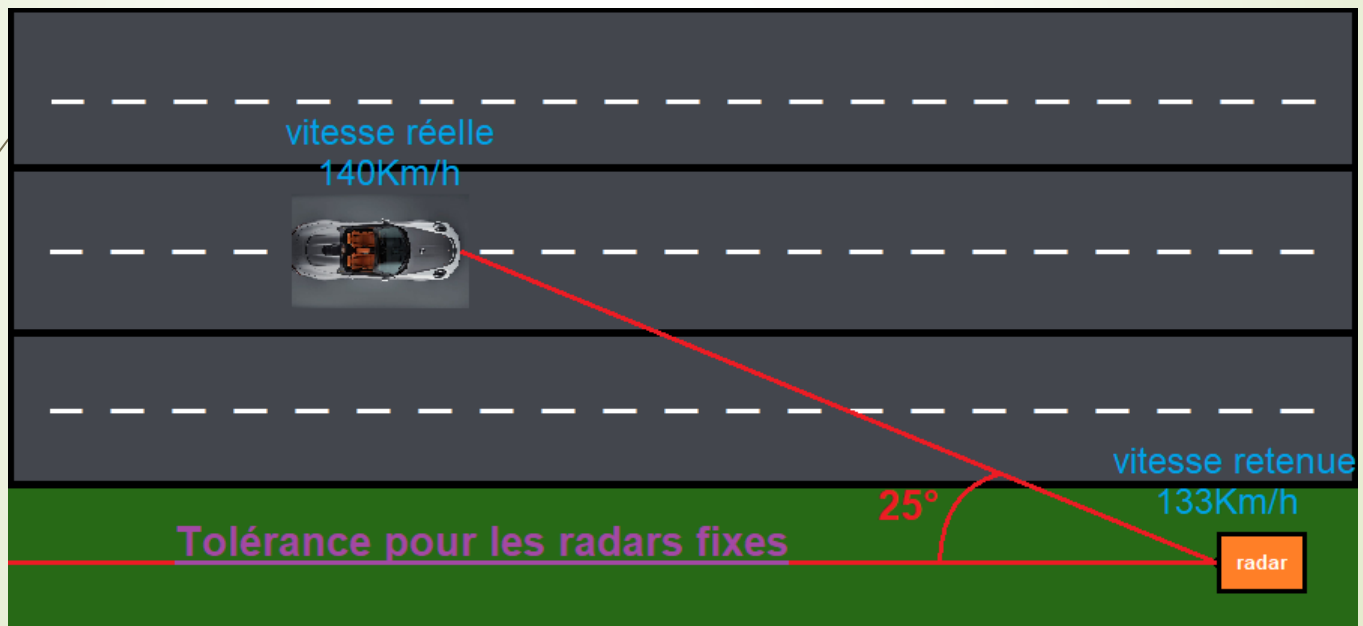
Ceci conduit donc à un écart entre les valeurs réelles et les valeurs retenues.



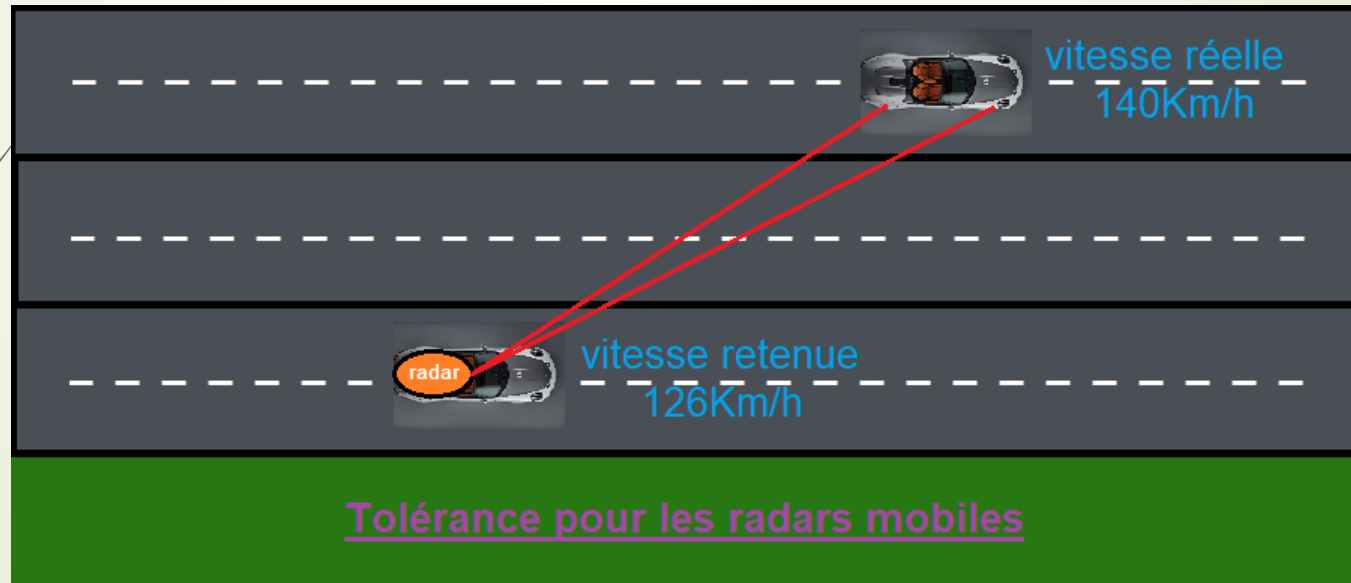
# DES EXEMPLES DES RADARS :



Pour les radars routiers fixes de nouvelle génération, dont l'angle de mesure est fixe et précis à 1°:  $\pm 3$  km/h, pour les vitesses inférieures à 100 km/h et  $\pm 3\%$  de la vitesse, pour les vitesses égales ou supérieures à 100 km/h. Pour les radars fixes plus anciens, et pour les radars embarqués disposés ponctuellement par les forces de l'ordre, les marges sont de 5 km/h puis 5 % au-delà de 100 km/h.



Pour les radars embarqués dans un véhicule en mouvement, les marges sont respectivement 7 km/h puis 7 % ou 10 km/h puis 10 % selon la génération de l'équipement.



# III. Méthode de repérage de la fréquence Doppler: FFT

## Estimation de la vitesse du véhicule:

DFT: Discret Fourier Transform Transformée de Fourier Discrète	FFT: Fast Fourier Transform Transformée de Fourier Rapide
- La DFT ne s'applique qu'aux signaux discrets et de longueurs finies.	- C'est une implémentation de DFT.
$X(k) = \sum_{n=0}^N x(n)e^{\frac{-i2\pi kn}{N}}$	- FFT travaille principalement avec des algorithmes de calcul pour l'exécution rapide de DFT.
- La performance est de complexité de l'ordre de $O(N^2)$ .	- La performance est de complexité de l'ordre de $O(N \log(N))$ .
- La vitesse d'exécution est moins importante devant celle de FFT.	- Plus rapide.
Applications: Analyse des spectres, résolution d'équations aux dérivées partielles	Applications: Algorithmes de filtrage, multiplication d'entiers et de polynômes

## **Principe et partie théorique : transformée de Fourier discrète (DFT) :**

-Déterminer la pondération entre différentes fréquences discrètes

-Par conséquent, les données discrètes qu'elle prend en entrée sont souvent appelées signal et dans ce cas on considère qu'elles sont définies dans le domaine temporel. Les valeurs de sortie sont alors appelées le spectre et sont définies dans le domaine des fréquences.

**Dans NumPy, l'implémentation de DFT:**

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{\frac{-i2\pi kn}{N}} \quad \text{avec } k \in \{0, \dots, N-1\}$$

**La DFT inverse est donnée par :**

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{\frac{i2\pi kn}{N}} \quad \text{avec } n \in \{0, \dots, N-1\}$$



## **Partie Pratique(Algorithme/Python) : Utilisation de la transformée de Fourier rapide (FFT):**

**Transformée de Fourier continue:**

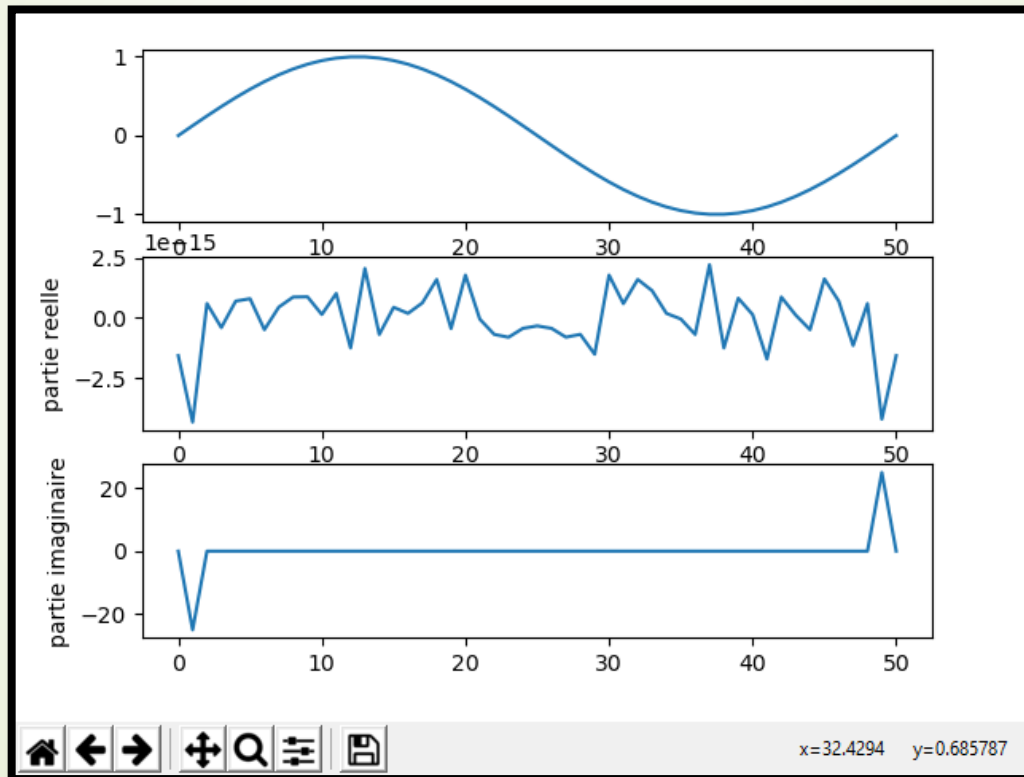
$$g(v) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i(2\pi vt)} dt$$

**Transformée de Fourier inverse:**

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(v) e^{i(2\pi vt)} dv$$



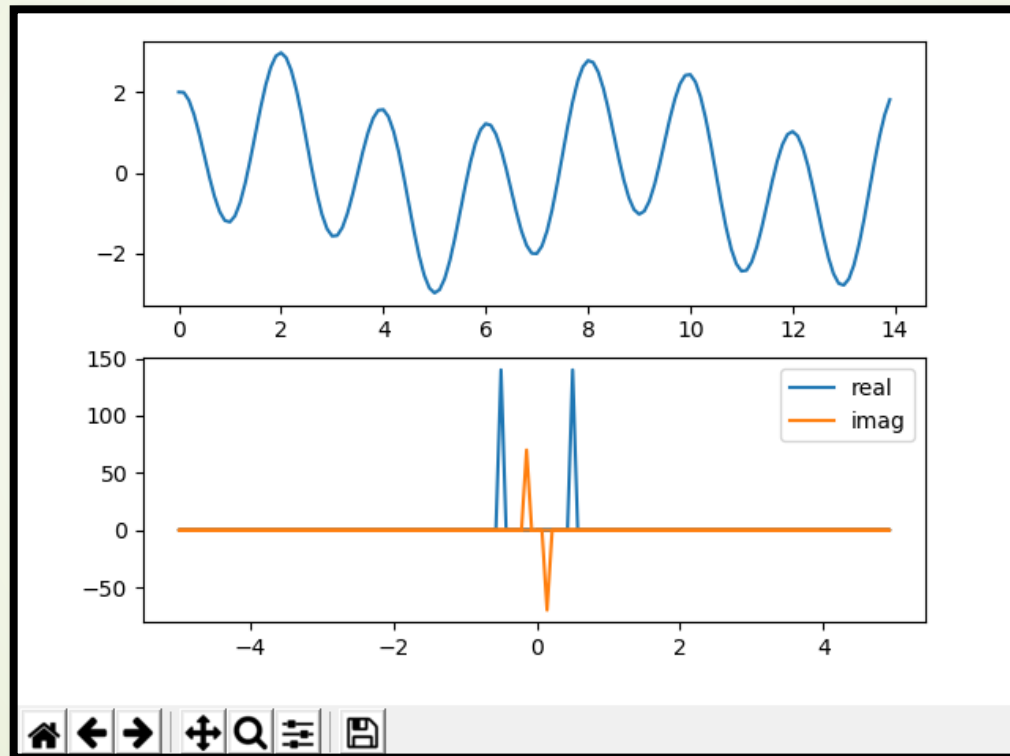
## Visualisation des parties réelles et imaginaires de la FFT de fonction sinus:



Voir code 1  
annexe

## La Fonction fftfreq:

-Elle renvoie les fréquences du signal calculé dans la DFT.



Voir code 2  
annexe

## IV. Equation de Radar et estimation de puissance reçue :

- Soit  $P_e$  la puissance délivrée par l'antenne émettrice.
- Si on suppose que la puissance est uniforme dans toutes les directions, on a:

$$P_d = \frac{P_e}{4\pi R^2} \quad \text{avec } P_d \text{ la densité de puissance à distance } R \text{ de l'antenne émettrice}$$

- Si on prend en considération le gain  $G$  de la puissance :

$$P_d = \frac{P_e G}{4\pi R^2}$$

- L'onde émise est réfléchiée lorsqu'elle atteint la surface de la cible:

$$P_{rf} = \frac{P_e G \sigma}{4\pi R^2}$$

avec  $P_{rf}$ : la puissance réfléchiée,  $\sigma$ : capacité de la cible de rétrodiffuser vers le radar

- Cette puissance réfléchiée s'ajoute à la densité de puissance pour donner:

$$P_d = \frac{P_e G}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2} = \frac{P_e G \sigma}{(4\pi)^2 R^4}$$

-Si on note la surface effective de l'antenne de réception  $S_e$ :

$$P_r = \frac{P_e G \sigma S_e}{(4\pi)^2 R^4} \text{ avec } P_r: \text{ la puissance reçue par le radar}$$

-Or puisque la majorité des radars utilisent la même surface effective pour l'émission et la réception :

$$G = \frac{4\pi S_e}{\lambda^2} \Rightarrow S_e = \frac{G \lambda^2}{4\pi}$$

-D'où on aura:

$$P_r = \frac{P_e G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4}$$

## Cas Pratique :

Ceci est un programme qui nous permet de calculer la puissance reçue par ce radar.

### Programme:

```
import numpy as np
def detection():
    Pe=float(input("donner la puissance émise en w: "))
    R=float(input('donner la distance du radar en m: '))
    sig=float(input("donner la capacité du cible en m^2: "))
    G=float(input("donner le gain: "))
    lam=float(input("donner la longueur d'onde en m: "))
    Pr= (Pe*sig*(G**2)*(lam**2))/(((4*np.pi)**3)*(R**4))
    print('Pr=',Pr, ' W')
    P= 10*np.log10(Pr*(10**6))+30
    print('P=',P, ' dBmw')
    if P >= 20 :
        return('P >= 20dBmw ==> detection possible')
    else:
        return('P < 20dBmw ==> detection impossible')
```

**RQ:** On définit la puissance seuil par la puissance minimale nécessaire pour détecter les ondes à 20dBmw.

### Simulation:

```
>>> detection()
donner la puissance émise en w: 1.2
donner la distance du radar en m: 60
donner la capacité du cible en m^2: 30
donner le gain: 300
donner la longueur d'onde en m: 0.0125
Pr= 1.968477443432587e-08 W
P= 12.941304426218618 dBmw
'P < 20dBmw ==> detection impossible'
>>> detection()
donner la puissance émise en w: 1.2
donner la distance du radar en m: 35
donner la capacité du cible en m^2: 30
donner le gain: 300
donner la longueur d'onde en m: 0.0125
Pr= 1.700056154394757e-07 W
P= 22.30463266755334 dBmw
'P >= 20dBmw ==> detection possible'
>>> |
```

## V. Réflectivité et effet de l'humidité et la température sur l'efficacité d'un radar :

### La réflectivité du radar :

$$\eta = (\delta r)^2 \frac{F(\lambda)^2}{16} M^2$$

**Avec:**

-  $\delta r$  l'intervalle de résolution de radar

-  $M$  est le gradient vertical d'indice de réfraction potentiel évalué à grande échelle.

$$M = -77,6 \times 10 - 6 \frac{p}{T} \left( \frac{\partial \ln \theta}{\partial z} + \frac{15,500q}{T} \frac{\partial \ln \theta}{\partial z} - \frac{7750}{T} \frac{\delta q}{\delta z} \right)$$

Avec  $p, T, q, \theta$  et  $z$  sont respectivement la pression, la température, l'humidité spécifique, température potentielle et l'altitude.

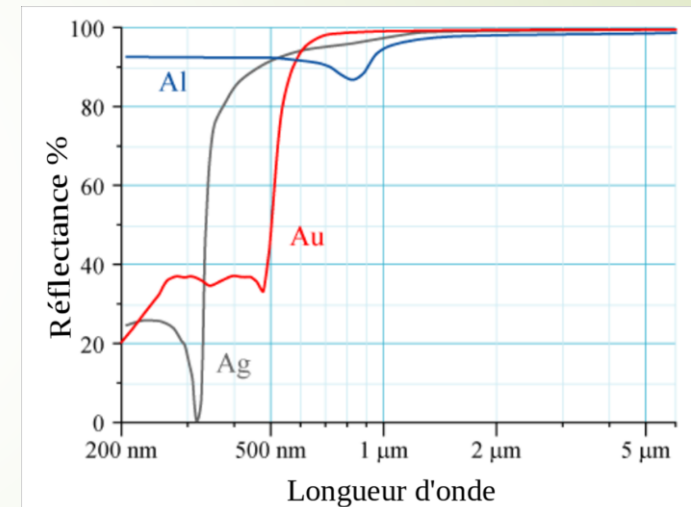
-  $F(\lambda)$  est un paramètre relatif à la réfraction variations de l'indice de la petite à la grande échelle pente.

## Modèle d'Ottersten pour manipuler la réflectivité: (en 1969):

$$\eta = 0,38cn^2 \times \lambda^{-\frac{1}{3}}$$

Avec  $c_n^2 = \alpha^2 \epsilon^{-\frac{1}{3}} KM^2$

- $\epsilon$  : taux de dissipation turbulente.
- $\alpha^2$  : constante  $\approx 3,3$ .
- $K$  : coefficient de diffusion de Foucault.





## **Conclusion:**

- L'effet Doppler permet de déterminer directement la vitesse radiale d'une cible avec une grande précision.
- Une analyse FFT nous a permis de connaître le spectre du signal Doppler.
- L'efficacité de la détection a été abordée en mettant l'accent sur l'importance de la bande de fréquence utilisée(longueur d'onde) , la surface équivalente ainsi que le type du matériau constituant la cible...
- ➔ Le radar est le modèle le plus fiable pour assurer la sécurité routière à présent.

## Annexe:

#code 1

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
n = 50
m = np.arange(n)
a = np.sin(m * 2*np.pi/n)
plt.subplot(311)
plt.plot( np.append(a, a[0]) )
A = np.fft.fft(a)
B = np.append(A, A[0])
plt.subplot(312)
plt.plot(np.real(B))
plt.ylabel("partie reelle")
plt.subplot(313)
plt.plot(np.imag(B))
plt.ylabel("partie imaginaire")
plt.show()
```

## #code2

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
dt = 0.1
T1 = 2
T2 = 7
t = np.arange(0, T1*T2, dt)
signal = 2*np.cos(2*np.pi/T1*t) + np.sin(2*np.pi/T2*t)
plt.subplot(211)
plt.plot(t, signal)
fourier = np.fft.fft(signal)
n = signal.size
freq = np.fft.fftfreq(n, d=dt)
plt.subplot(212)
plt.plot(freq, fourier.real, label="real")
plt.plot(freq, fourier.imag, label="imag")
plt.legend()
plt.show()
```