



Impact de l'accumulation de pluie sur le radôme de véhicule

Wafa Farah (Maîtrise en ingénierie) et Pr. Chan-Wang Park

Département de Mathématiques, d'informatique et de Génie, Université du Québec à Rimouski

Plan

1- Introduction

2- Objectif

3- Hypothèses

4- Méthodologie

4-1- Propriété diélectrique de la pluie

4-2- Propagation d'onde dans un milieu stratifié

4-3- Conception optimale du radôme

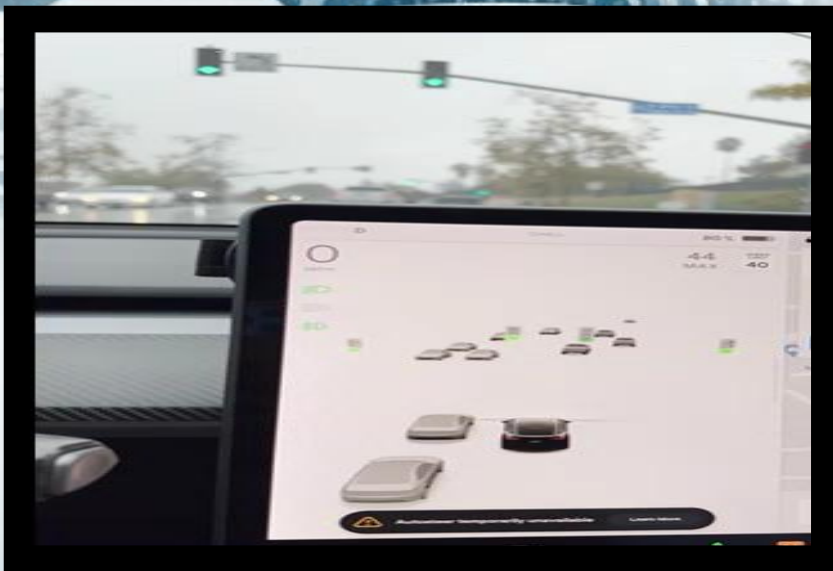
4-4- Atténuation du signal radar

5- Conclusion

Waymo



Tesla



1- Introduction

Dans des conditions hivernales sévères, notamment dans des pays comme le Canada, les performances des radars automobiles diminuent considérablement, pouvant aller jusqu'à cesser complètement de fonctionner.



Gouttes d'eau sur le radome

Diffusion et Atténuation du Signal

2- Objectif

Quantifier l'impact de la présence de gouttes d'eau sur le radôme d'un véhicule consiste à mesurer la dégradation des performances du radar, notamment en termes d'atténuation du signal et de portée de détection.

3- Hypothèse:

- **Radar automobile:** Long-Range Radar (LRR)
- **Fréquence de fonctionnement :** 77 [GHz] (fréquence des radars automobiles actuels)
- **Application :** Régulateur de vitesse adaptatif (ACC)
- **Portée maximale :** 250 m.
- **Position du radar :** Monté à l'avant du véhicule, derrière le radôme.
- **Conditions étudiées :** Présence d'une couche d'eau sur le radome. (température : 20 °C, pression: 979,7 hPa et densité de vapeur d'eau : 12,65 g/m³).



4- Méthodologie:

Étape 1 : Déterminer les propriétés diélectriques de la pluie.

Étape 2 : Étudier la propagation d'onde dans un milieu stratifié (air-radôme-film d'eau-air).

Étape 3 : Réaliser une conception optimale du radôme afin de minimiser son impact sur la propagation du signal Radar.

Étape 4 : Quantifier l'atténuation du signal radar.

4-1- Propriété diélectrique de la pluie:

La permittivité diélectrique de l'eau

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r = \varepsilon_0 (\varepsilon' - j\varepsilon'')$$

La permittivité relative complexe est modélisée à l'aide du modèle diélectrique à double Debye

$$\varepsilon' = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{1 + (2\pi f \tau_1)^2} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_\infty}{1 + (2\pi f \tau_2)^2}$$
$$\varepsilon'' = \frac{2\pi f \tau_1 (\varepsilon_0 - \varepsilon_1)}{1 + (2\pi f \tau_1)^2} + \frac{2\pi f \tau_2 (\varepsilon_1 - \varepsilon_\infty)}{1 + (2\pi f \tau_2)^2}$$

- f : fréquence [GHz].
- ε_∞ : constante diélectrique à haute fréquence ($f \rightarrow \infty$).
- ε_0 : constante diélectrique statique (at $f = 0$).
- τ_1 et τ_2 : constante de temps de relaxation pour laquelle ε'' présente un maximum.

Simulation et mesure des propriétés diélectriques

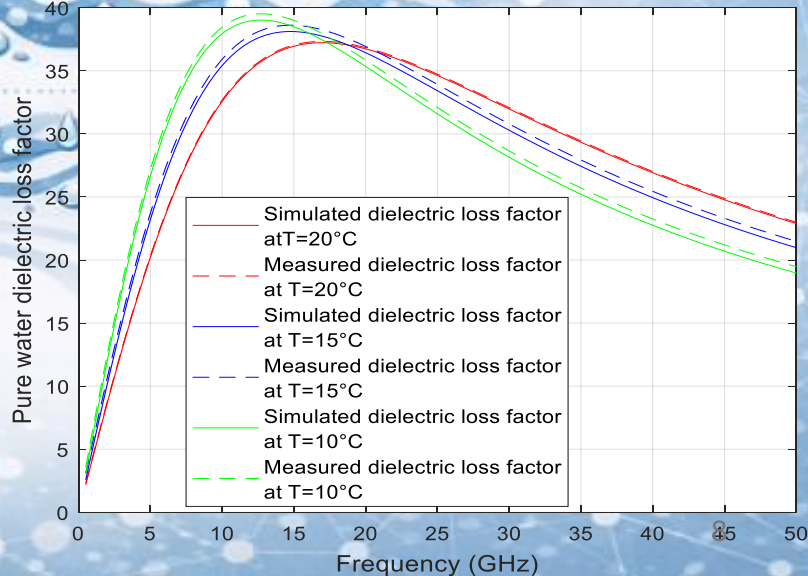
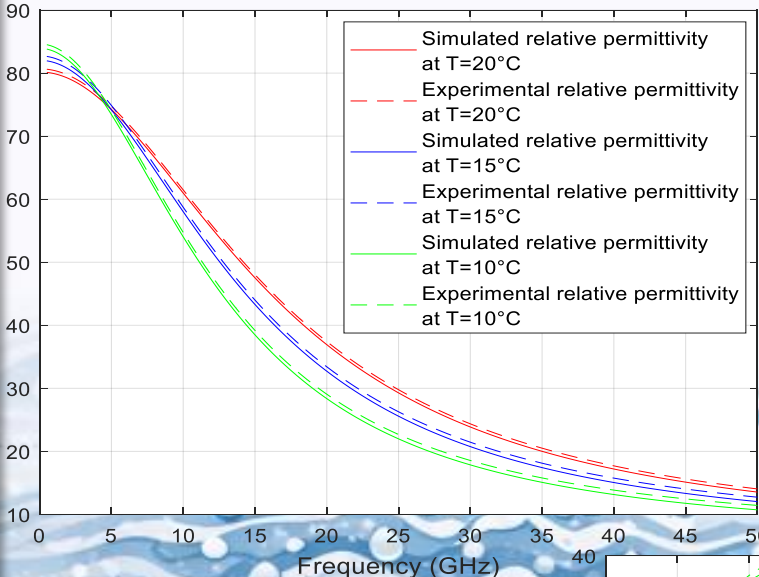
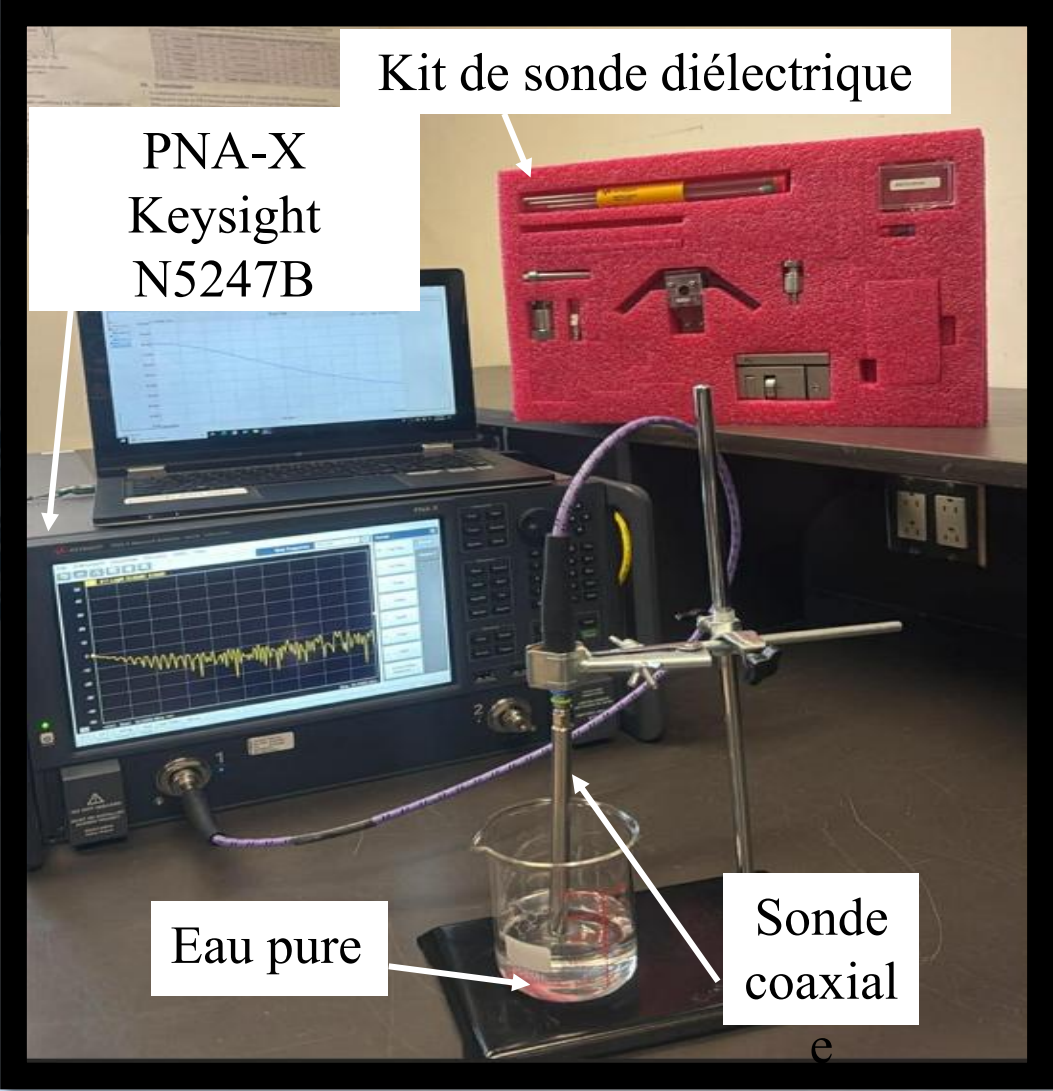


Figure 1 : Mesure de la permittivité

4-2-Propagation d'onde dans un milieu stratifié

La réflectivité et la transmissivité du milieu stratifié avec pertes sont calculées à l'aide de la méthode de la matrice de propagation.

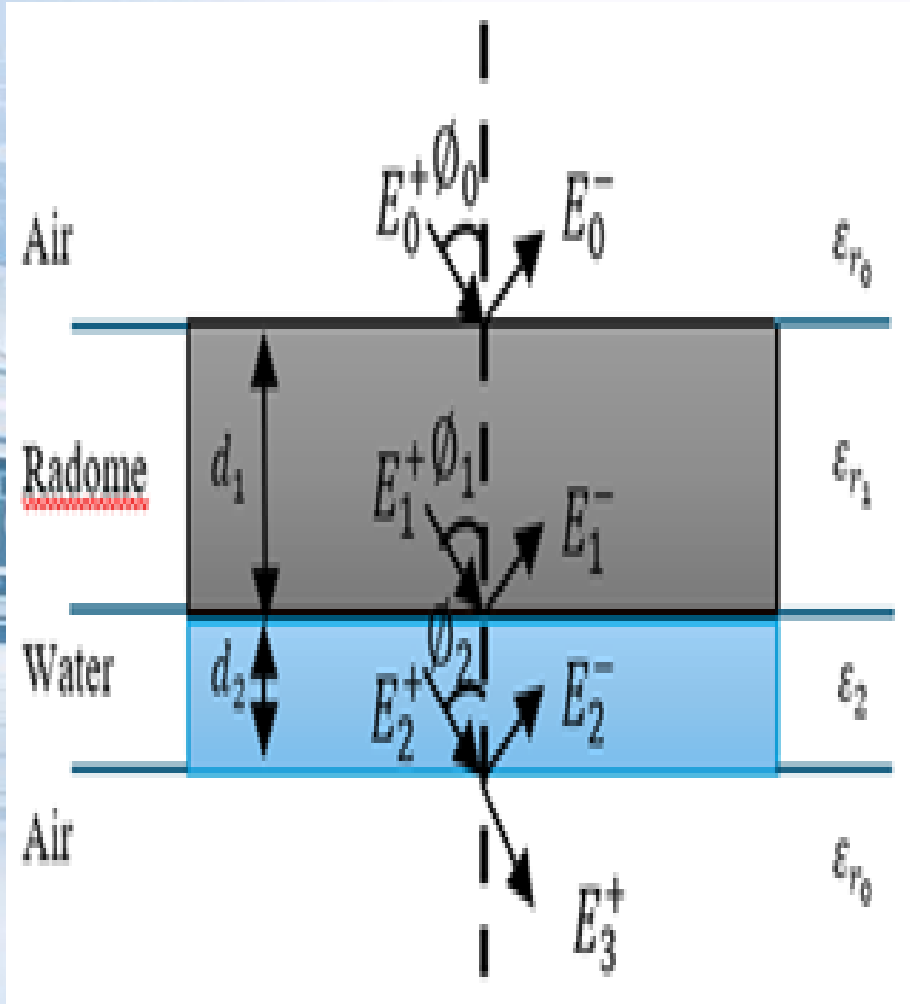


Figure 2 : Propagation d'onde dans un milieu stratifié

$$R = \frac{r_1 + r_2 e^{-2\delta_1} + r_3 e^{-2(\delta_1 + \delta_2)} + r_1 r_2 r_3 e^{-2\delta_2}}{1 + r_1 r_2 e^{-2\delta_1} + r_2 r_3 e^{-2\delta_2} + r_3 r_1 e^{-2(\delta_1 + \delta_2)}} \cdot \frac{t_1 t_2 t_3 e^{-\delta_1} e^{-\delta_2} e^{\gamma_3 (d_1 + d_2)} \cos \phi_3}{1 + r_1 r_2 e^{-2\delta_1} + r_2 r_3 e^{-2\delta_2} + r_3 r_1 e^{-2(\delta_1 + \delta_2)}}$$

$$r_i = \frac{\sqrt{\epsilon_{r_{i-1}}} - \sqrt{\epsilon_{r_i}}}{\sqrt{\epsilon_{r_{i-1}}} + \sqrt{\epsilon_{r_i}}} \quad \text{et} \quad t_i = \frac{2\sqrt{\epsilon_{r_{i-1}}}}{\sqrt{\epsilon_{r_{i-1}}} + \sqrt{\epsilon_{r_i}}}$$

$$\gamma_i = j\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{r_i}} \quad \text{et} \quad \delta_i = \gamma_i d_i \cos \phi_i.$$

Modèle théorique, simulation Ansys HFSS et mesure

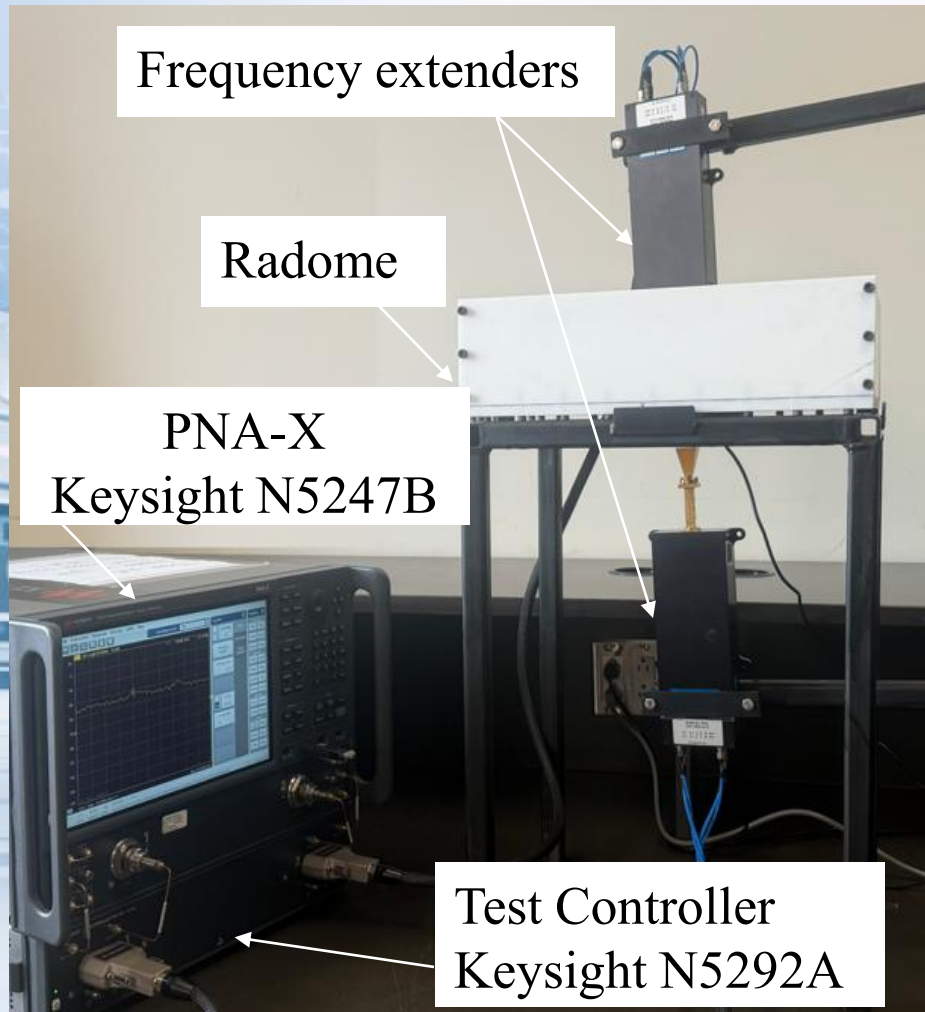
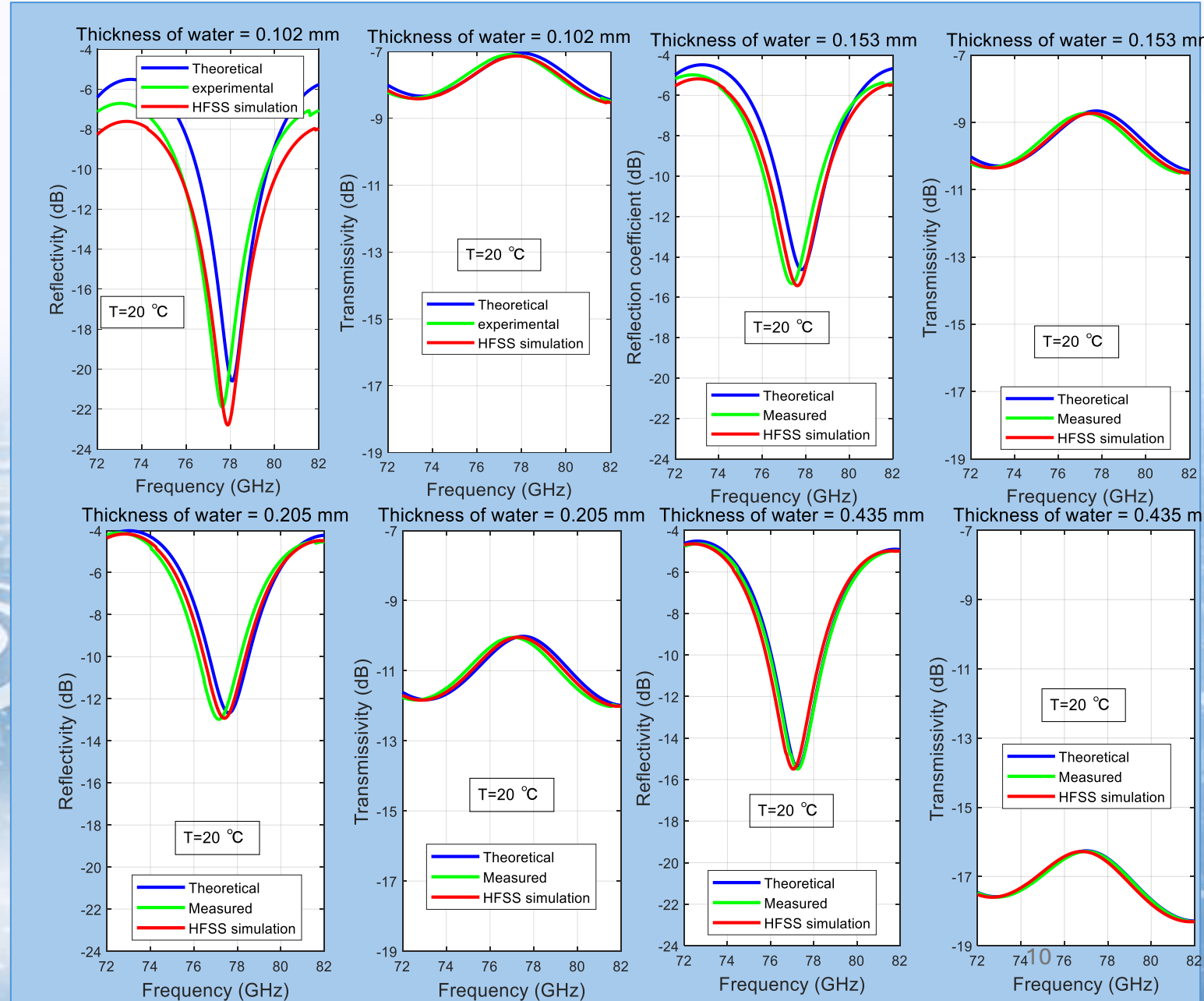


Figure 3 : Réflectivité et transmissivité d'onde



4-3- Conception optimale du radôme

L'épaisseur optimale de la paroi du radôme à 77 GHz

$$d_{1_{opt}} = \frac{n \times c}{2 \times f \times \sqrt{\epsilon'_{r_1}}} .$$

Avec

$d_{1_{opt}}$: épaisseur optimale de la paroi du radôme.

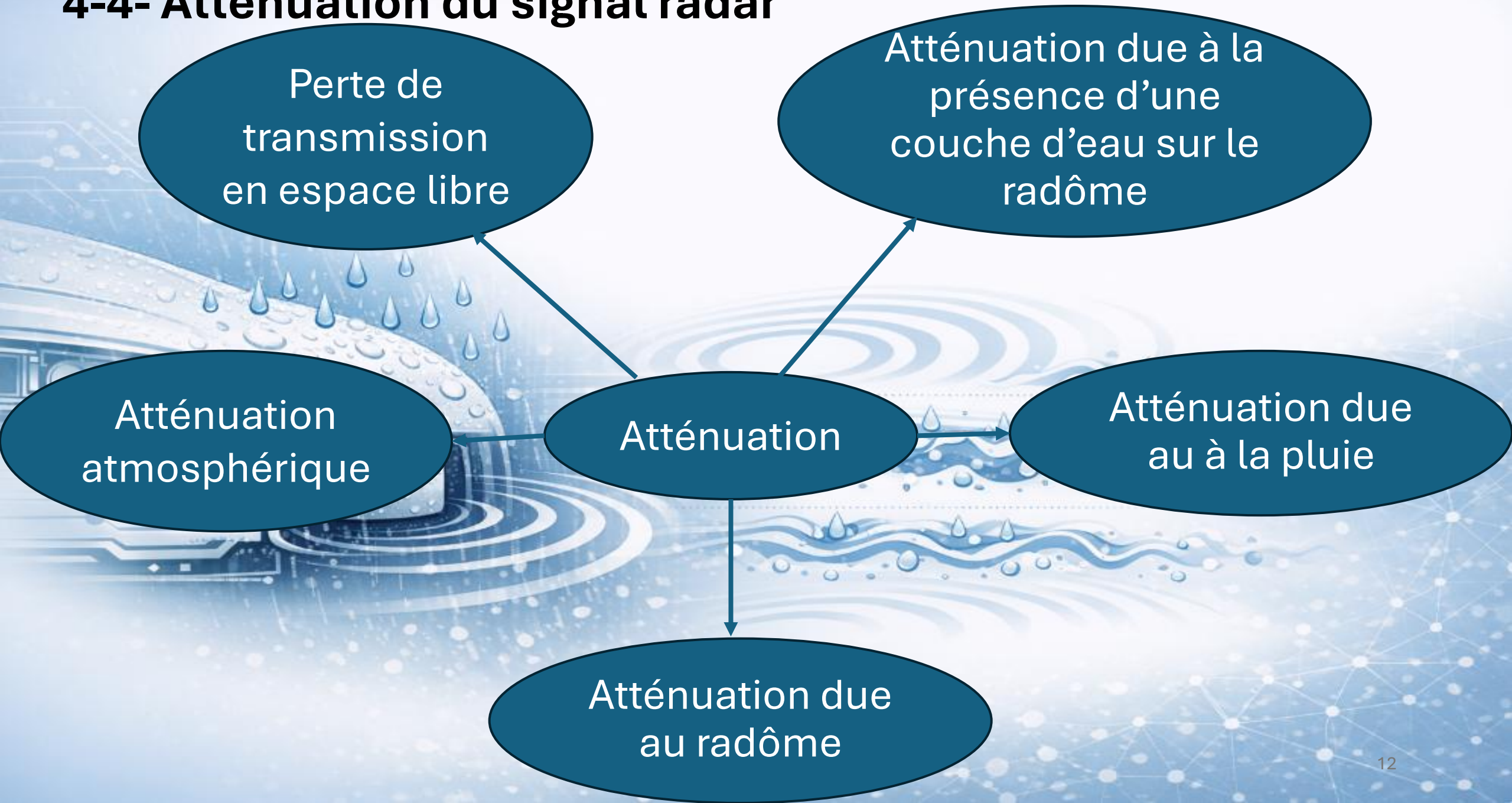
n : entier.

c : vitesse de la lumière.

f : fréquence du radar (77 GHz).

ϵ'_{r_1} : permittivité relative du radôme.

4-4- Atténuation du signal radar

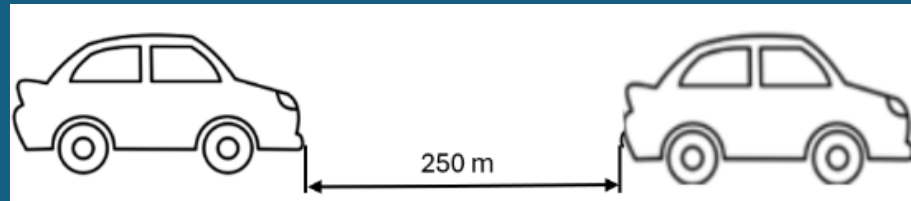


5- Conclusion

Frequency at 77 GHz

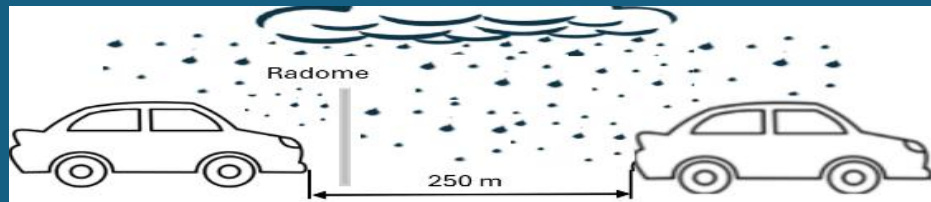
Two ways
Attenuation (dB)

Scenario 1: Free space, atmospheric and ideal radome attenuation.



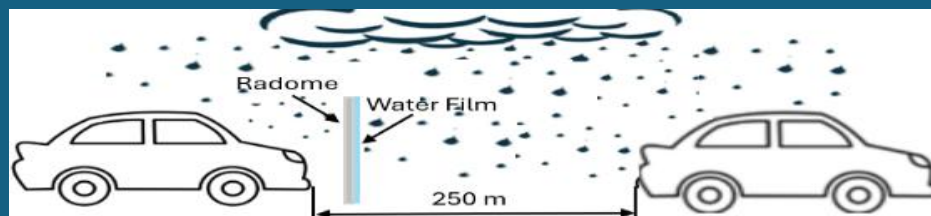
167.347

Scenario 2: Free space, atmospheric, ideal radome and rain attenuation (water thickness = 0 mm, rain rate of 25 mm/h).



173.050

Scenario 3: Free Space, atmospheric, ideal radome, rain, and water-film attenuation (water film thickness = 0.8 mm, rain rate of 25 mm/h).



224.716