



## Brouillard givrant

Une voiture avance en ligne droite à la vitesse  $v$  dans un brouillard constitué de gouttelettes surfondues<sup>1</sup> à la température de l'air  $T_0 = 265$  K dans lequel elles évoluent à une vitesse négligeable. En moyenne, le diamètre des gouttelettes est de  $20 \mu\text{m}$  et on en trouve une par  $\text{mm}^3$ . Le pare-brise est rectangulaire. Il fait un angle  $\alpha = 30^\circ$  avec l'horizontale et a pour épaisseur  $e = 2$  mm.

À leur arrivée sur le pare-brise, les gouttelettes s'y déposent avec un arrêt de la surfusion et une évolution quasi-instantanée vers l'état le plus stable possible dans des conditions supposées adiabatiques. On suppose que l'épaisseur d'eau présente sur le pare-brise reste très faible grâce aux essuie-glaces qui l'évacuent régulièrement.

1. Montrer qu'en l'absence de chauffage dans la voiture, de la glace tend à se former sur le pare-brise.
2. Quelle température faut-il maintenir à l'intérieur de la voiture pour éviter tout risque de givrage ?

*Application numérique.*  $v = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Discuter la modélisation effectuée.

3. Sur la base d'ordres de grandeurs raisonnables, estimer la puissance transférée au niveau du pare-brise, la cadence nécessaire de balayage des essuie-glaces et le surplus de puissance consommée pour éviter le givrage. Commenter.

*Données*

- Masse volumique de l'eau :  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- Capacités thermiques massiques de l'eau :
  - $c_\ell = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  (liquide) ;
  - $c_g = 2,10 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  (glace).
- Enthalpie massique de fusion de la glace à  $0^\circ\text{C}$  :  $L_f = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- Conductivité thermique du verre  $\lambda = 1,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- Coefficient d'échange aux interfaces air/verre  $h = 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .

<sup>1</sup> c'est à dire liquide en dessous de la température de fusion; c'est un état stable, mais pas le plus stable (qui serait l'état solide): on parle d'« état métastable »