

## DM 10 – Transferts thermiques en plongée

On s'intéresse au bilan thermique d'un plongeur en immersion.

- On définit la température interne du corps du plongeur  $T_i(t)$ , et la température de l'eau  $T_{\text{ext}} = 15^\circ\text{C}$ . Le plongeur est modélisé comme une phase condensée de capacité thermique  $C = 3.0 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- Les couches superficielles du corps du plongeur ont une résistance thermique notée  $R_1$ . On prendra la valeur approximative  $R_1 = 3 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$ .
- Il y a présence une couche d'eau immobile qui se forme entre la peau du plongeur et la combinaison. On note  $e_e \simeq 2 \text{ mm}$  son épaisseur. On donne  $\lambda_{\text{eau}} = 0.6 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ .
- Le plongeur est muni d'une combinaison de plongée d'épaisseur  $e = 5.0 \text{ mm}$ , de surface totale  $S = 1.4 \text{ m}^2$  et de conductivité thermique  $\lambda_{\text{comb}} = 0.2 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  pour du néoprène. On note  $R_{\text{comb}}$  la résistance thermique associée.
- Les transferts convectifs entre la paroi externe de la combinaison et l'eau sont modélisés par la loi de Newton donnant le flux convectif  $\Phi_{\text{conv}} = hS\Delta T$ . On note  $R_{\text{conv}}$  la résistance thermique associée au transfert convectif. On donne  $h \times S = 16 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$ .

### Étude des résistances thermiques

- 1 - On se place en régime stationnaire. On considère une surface  $dS$  de la combinaison de plongée, dont la face interne est à la température  $T_{i1}$  et la face externe à la température  $T_{e1}$ . On suppose le problème unidimensionnel paramétré par  $x$ .
  - a - Montrer que le profil de température  $T(x)$  est linéaire.
  - b - En déduire l'expression de la résistance thermique  $r_{\text{comb}}$  de ce morceau de combinaison en fonction de  $dS$ ,  $e$  et  $\lambda_{\text{comb}}$ .
- 2 - Ce dernier résultat montre que pour la combinaison entière de surface  $S$ , on a  $R_{\text{comb}} = \frac{e}{\lambda_{\text{comb}}S}$ .

Donner, par analogie, l'expression de la résistance thermique  $R_{\text{eau}}$  associée à la couche d'eau entre la peau et la combinaison en fonction de  $S$ ,  $e_e$  et  $\lambda_{\text{eau}}$ .

Montrer que l'on peut négliger l'une de ces deux résistances ( $R_{\text{comb}}$  ou  $R_{\text{eau}}$ ) devant l'autre, ce que l'on fera par la suite.
- 3 - Donner l'expression de la résistance  $R_{\text{conv}}$  associée à la convection en fonction de  $h$  et de  $S$ .
- 4 - Proposer le schéma électrique équivalent prenant en compte les échanges thermiques considérés (mais en négligeant la couche d'eau  $e_e$ ).

Donner l'expression et la valeur numérique de la résistance thermique totale  $R_{\text{tot}}$ .

Donner l'expression du flux thermique  $\Phi_{\text{th}}$  perdu par le plongeur.
- 5 - Donner l'expression de la température  $T_{i1}$  à la surface de la peau du plongeur, en fonction de  $T_e$ ,  $T_i$ ,  $R_2 = R_{\text{comb}} + R_{\text{conv}}$  et  $R_{\text{tot}}$ . On pourra appliquer l'équivalent d'un diviseur de tension.

Faire l'application numérique pour  $T_{\text{ext}} = 15^\circ\text{C}$  et  $T_i = 37^\circ\text{C}$ .

### Facultatif : Refroidissement du plongeur

On étudie maintenant le refroidissement du plongeur. Le corps humain produit de l'énergie thermique grâce à des réactions chimiques, et libère ainsi une puissance (au repos) que l'on estimera à  $P_{\text{th}} = 100 \text{ W}$ .

On supposera d'autre part que l'expression du flux thermique  $\Phi_{\text{th}}$  perdu par le plongeur établie précédemment est valide.

- 6 -
  - a - En effectuant un bilan d'énergie sur le corps du plongeur entre  $t$  et  $t + dt$ , établir que la température du corps suit l'équation
$$\frac{dT_i}{dt} + \frac{T_i}{\tau} = \frac{P_{\text{th}}}{C} + \frac{T_e}{\tau}, \quad \text{avec } \tau \text{ à définir.}$$
  - b - Résoudre cette équation différentielle. On prendra  $T_i(t = 0) = T_{i0} = 37^\circ\text{C}$ .
  - c - Quelle est la température limite vers laquelle tend le corps du plongeur ?

Augmente-t-elle ou diminue-t-elle si  $R_{\text{tot}}$  augmente ? et si  $P_{\text{th}}$  augmente ? Est-ce logique ?
- 7 - On considère que le plongeur est en hypothermie lorsque la température de son corps atteint  $T_{\text{hyp}} = 35^\circ\text{C}$ . Dans les conditions présentes, au bout de combien de temps ceci arrive-t-il ?