

Protection apportée par les combinaisons isothermes

Travail d'Initiative Personnelle Encadré - Sports et jeux

Cyriaque PERIER

Candidat N°15119

2023 - 2024

Filière MP

Table des matières

1 Introduction

2 Modélisation du corps humain et de la combinaison isotherme

- Définition du modèle
- Exploitation du modèle

3 Expériences

- Mesure de la température avec une thermistance
- Mesure de la résistance thermique des couches superficielles du corps humain
- Transferts conducto-convectifs

4 Conclusion

Introduction

177 opérations d'assistance et de sauvetage en 2019 d'après les CROSS



Source : Société nationale de sauvetage en mer



Source : Professional Windsurfers Association

Figure 1 – Exemple d'utilisation de combinaisons isothermes

Introduction



Figure 2 – Sooruz, entreprise spécialisée dans les combinaisons isothermes



Figure 3 – Morceau de néoprène fournis par l'entreprise

Introduction

Quel est l'impact d'une combinaison isotherme sur la survie en mer ?

Table des matières

1 Introduction

2 Modélisation du corps humain et de la combinaison isotherme

- Définition du modèle
- Exploitation du modèle

3 Expériences

- Mesure de la température avec une thermistance
- Mesure de la résistance thermique des couches superficielles du corps humain
- Transferts conducto-convectifs

4 Conclusion

Modélisation du corps humain et de la combinaison isotherme

Hypothèses :

- La température du milieu intérieur est supposée uniforme
- On néglige les transferts thermiques par rayonnement
- On néglige les parties du corps non-recouvertes par la combinaison
- Pour toute partie du corps, on suppose la résistance thermique des couches superficielles du membre uniforme
- On modélise la thermorégulation du corps humain par un flux thermique constant dans le temps

Modélisation du corps humain et de la combinaison isotherme

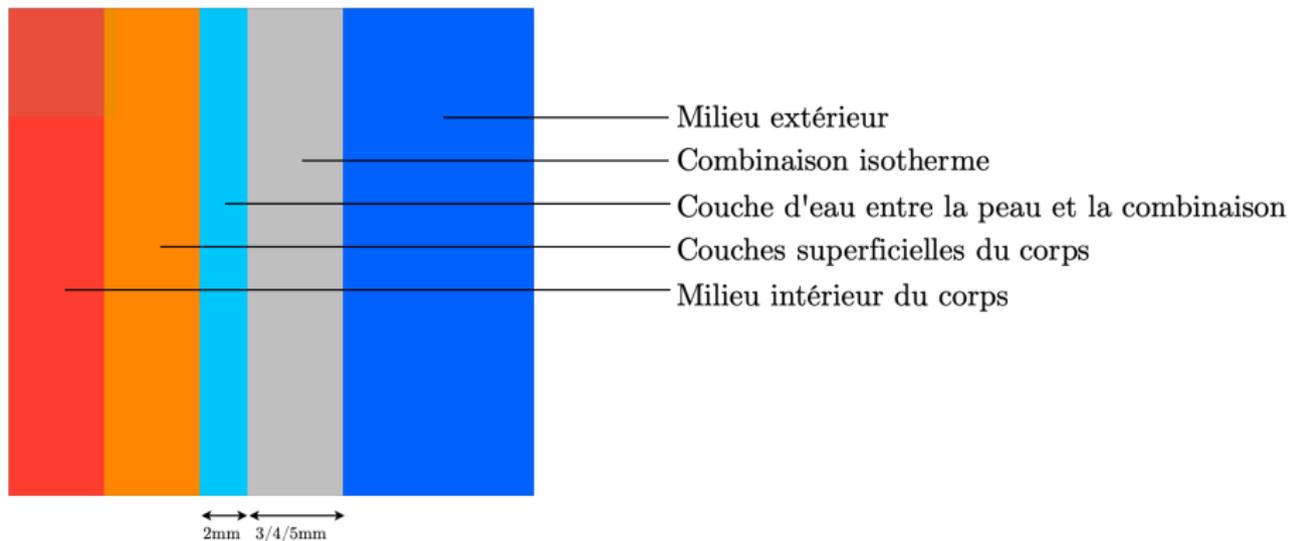
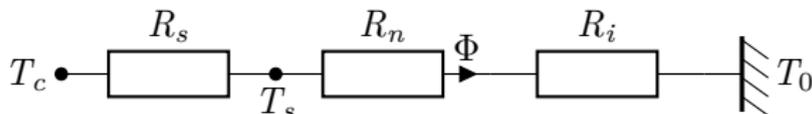


Figure 4 – Schéma simplifié du modèle

Modélisation du corps humain et de la combinaison isotherme



- R_s : Résistance des couches superficielles du corps humain
- R_n : Résistance de la combinaison isotherme
- R_i : Résistance de l'interface combinaison/eau
- Φ : Flux sortant du corps humain
- T_c : Température corporelle
- T_0 : Température du milieu extérieur
- T_s : la température à la surface du corps humain

Utilisation du premier principe de la thermodynamique

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{P_{th}}{c_c m_c} - \frac{T_c(t) - T_e}{R_{th} c_c m_c}$$

Avec :

- P_{th} la puissance thermique modélisant la thermorégulation
- T_c la température du milieu intérieur du corps humain
- T_e la température du milieu extérieur
- R_{th} la résistance thermique totale
- m_c la masse du milieu intérieur du corps humain
- c_c la capacité thermique massique du corps humain

Utilisation de l'équation de diffusion thermique

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \Delta T$$

Avec :

- T la température
- λ la conductivité thermique
- ρ la masse volumique
- c la capacité thermique massique

Étude des résistances thermiques en régime stationnaire

Résistance thermique des couches superficielles du corps humain

$$R_s = \frac{T_c - T_r}{T_r - T_0} \times (R_n + R_i)$$

Résistance thermique de l'interface combinaison/eau

$$R_i = \frac{T_r - T_0}{\Phi} - R_n$$

Résistance thermique de la combinaison isotherme

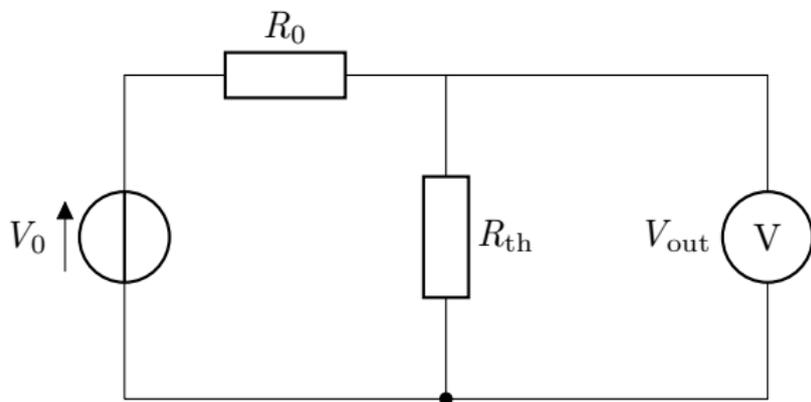
$$R_n = \frac{e_n}{\lambda_n S} + \frac{e_{eau}}{\lambda_e S}$$

$$R_n = 1,27 \times 10^{-2} K.W^{-1}$$

Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Modélisation du corps humain et de la combinaison isotherme
 - Définition du modèle
 - Exploitation du modèle
- 3 Expériences
 - Mesure de la température avec une thermistance
 - Mesure de la résistance thermique des couches superficielles du corps humain
 - Transferts conducto-convectifs
- 4 Conclusion

Utilisation d'une thermistance



- $R_0 = 3,3k\Omega$
- $V_0 = 5,0V$
- $R_{th} = R_0 \times \left(\frac{V_0}{V_{out}} - 1\right)$

Étude des thermistances

Résistance en fonction de la température

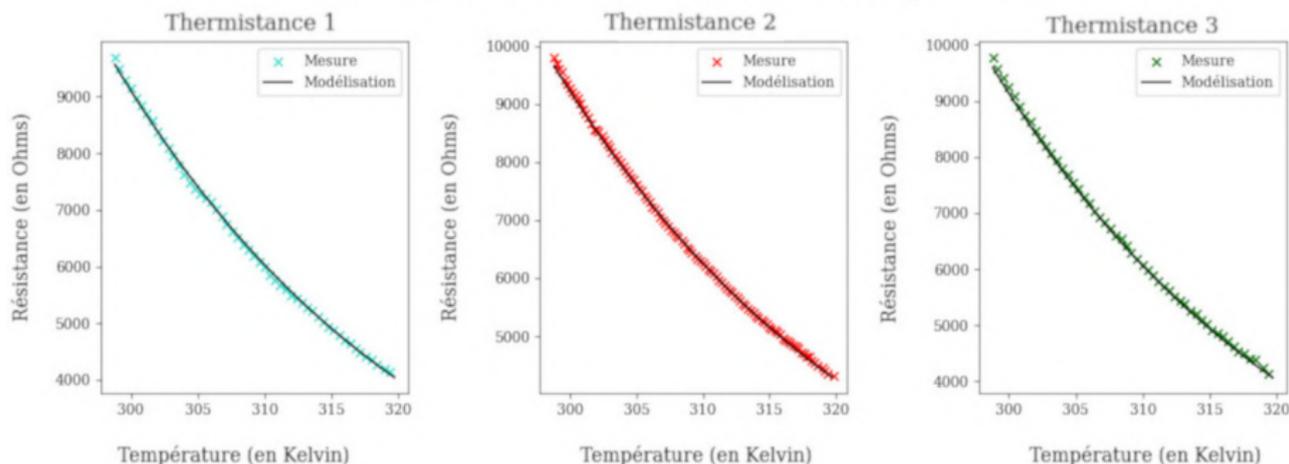


Figure 5 – Résultats de la mesure

$$R_{th, 1} = 2,124 \times 10^9 \times \exp(-0,0412 T)$$

$$R_{th, 2} = 1,047 \times 10^9 \times \exp(-0,0388 T)$$

$$R_{th, 3} = 2,006 \times 10^9 \times \exp(-0,041 T)$$

Conception de l'expérience

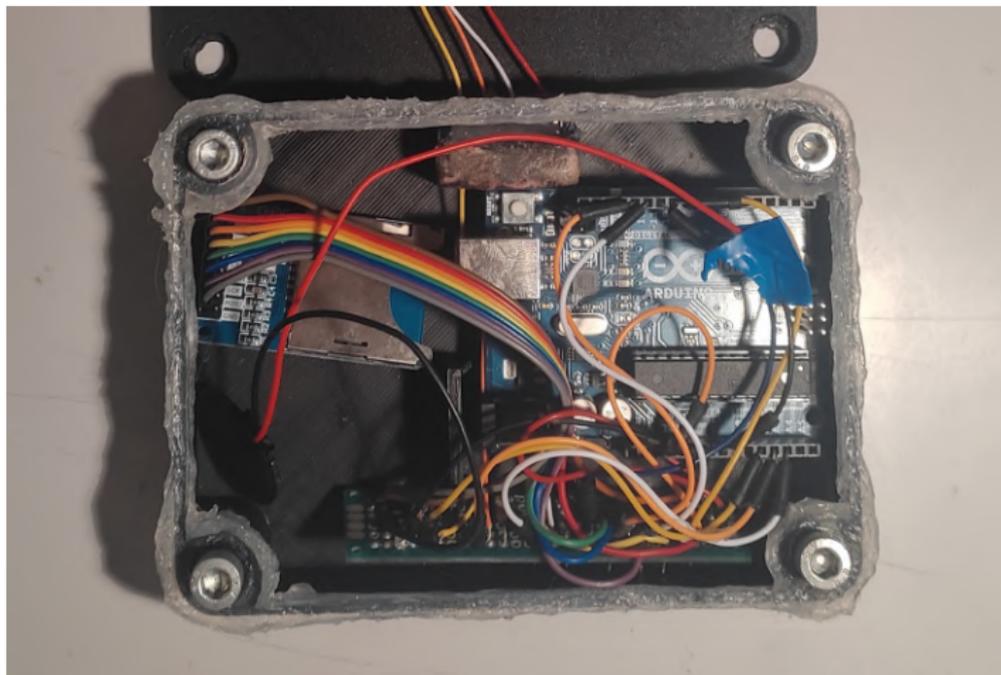


Figure 6 – Photographie du boîtier expérimental

Conception de l'expérience

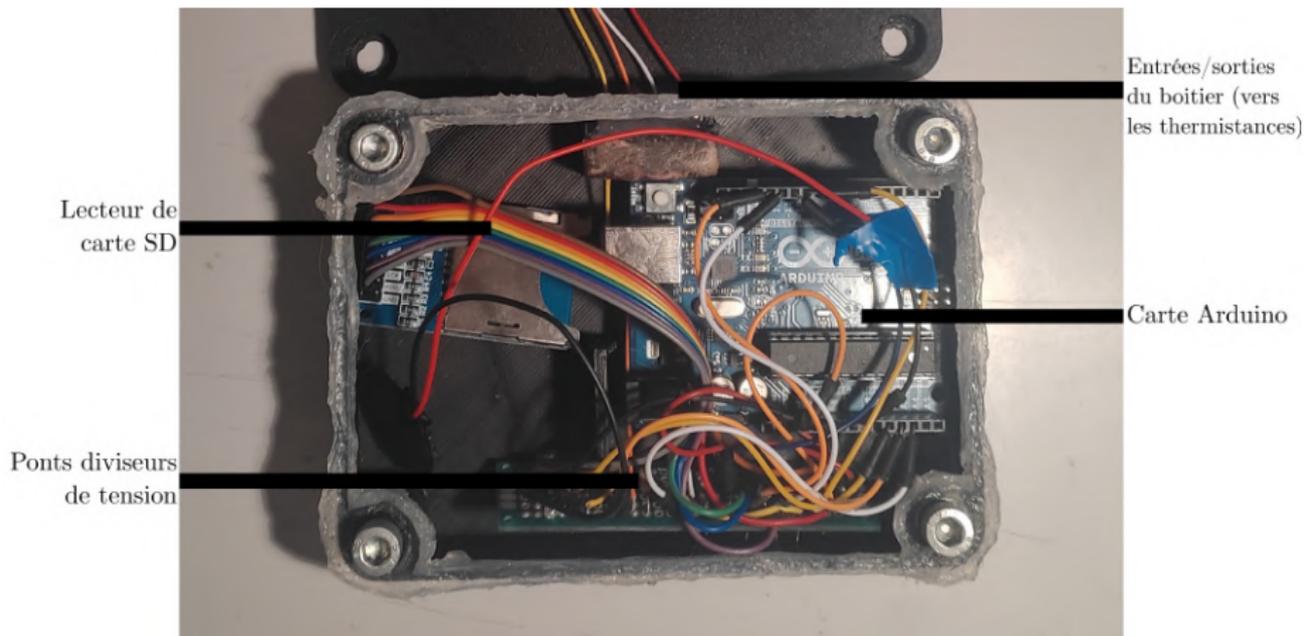


Figure 7 – Photographie légendée du boîtier expérimental

Résultats de l'expérience

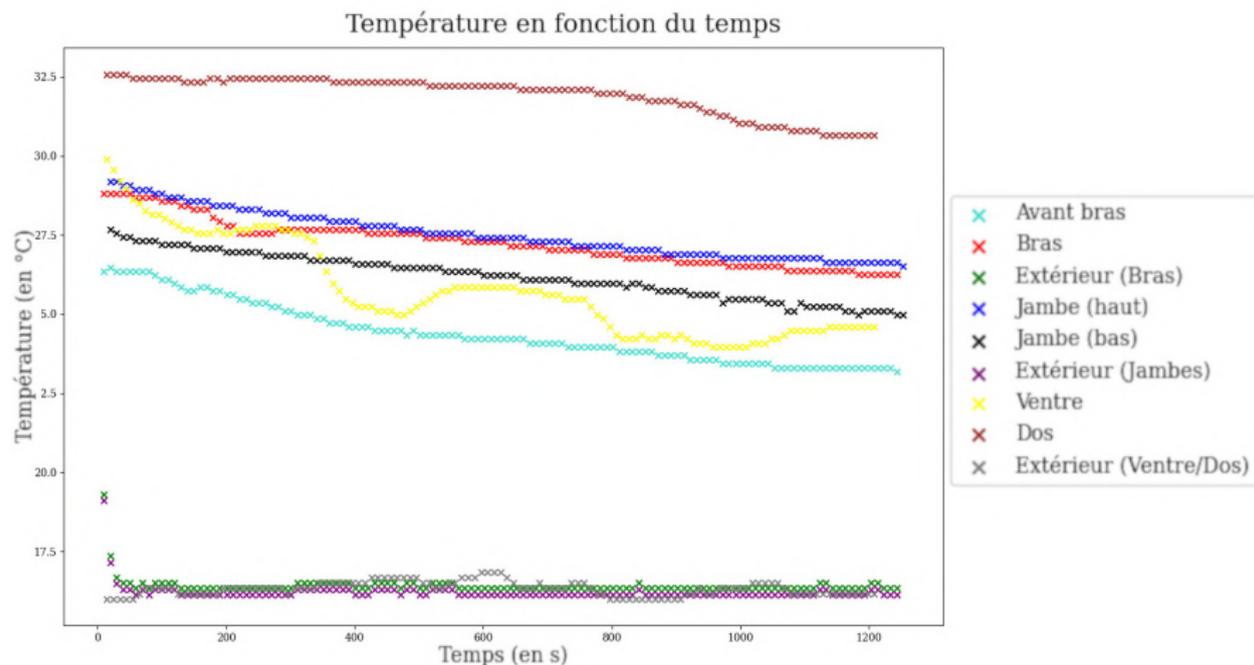


Figure 8 – Résultats de l'expérience

$$R_s = 7,83 \times 10^{-2} K \cdot W^{-1}$$

Approximation des régimes permanents

$$348s = \frac{\rho c e^2}{\lambda} = \tau \ll \Delta t = 1200s$$

Conception de l'expérience

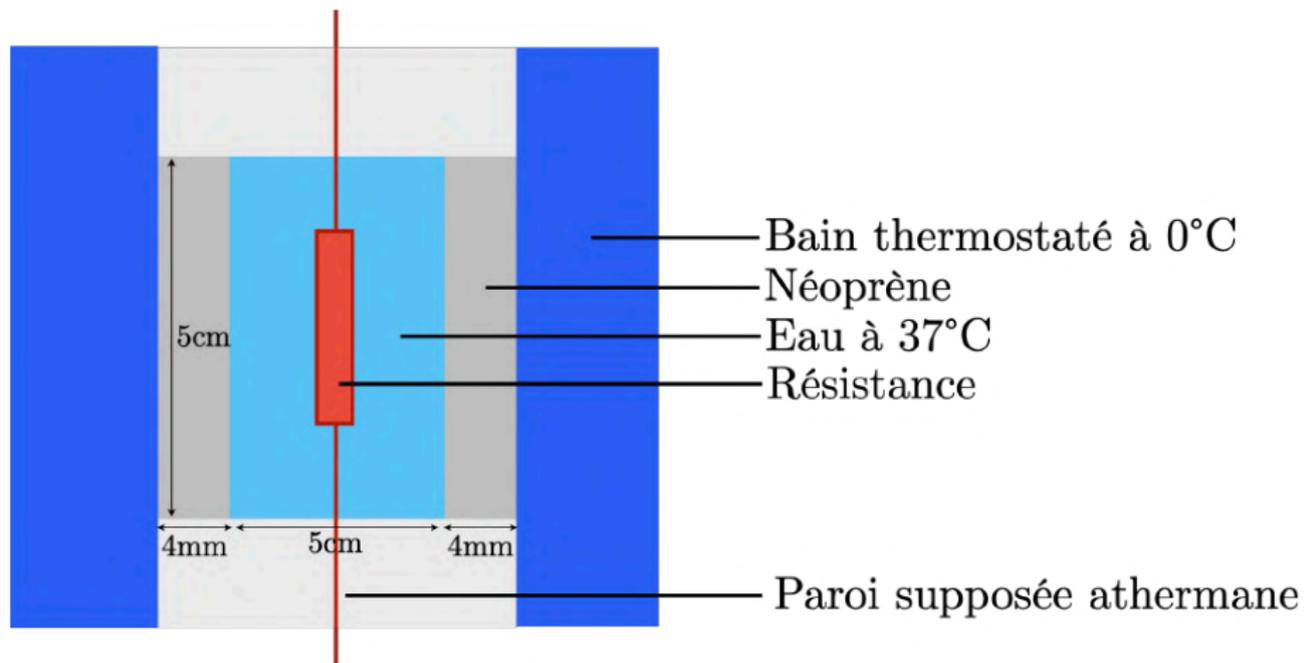


Figure 9 – Schéma en coupe de l'expérience

Conception de l'expérience

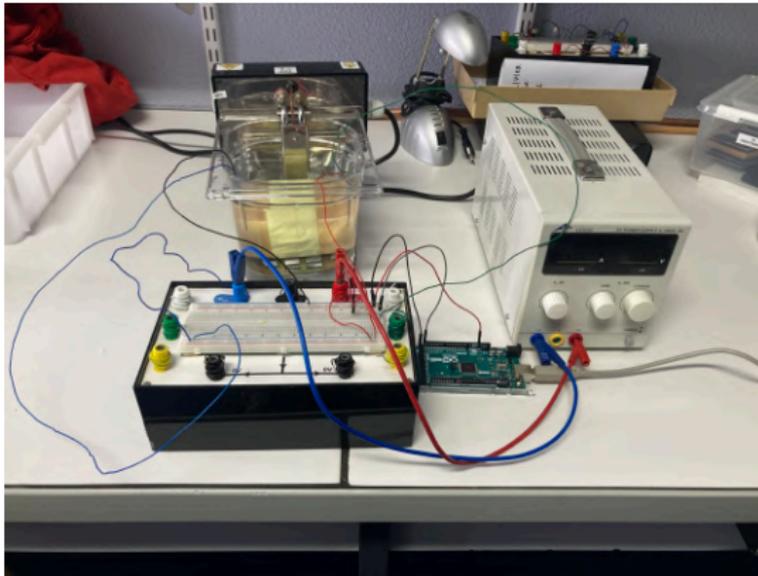


Figure 10 – Photographie de l'expérience

$$R_i = 4,9 \times 10^{-4} K \cdot W^{-1}$$

Conception de l'expérience

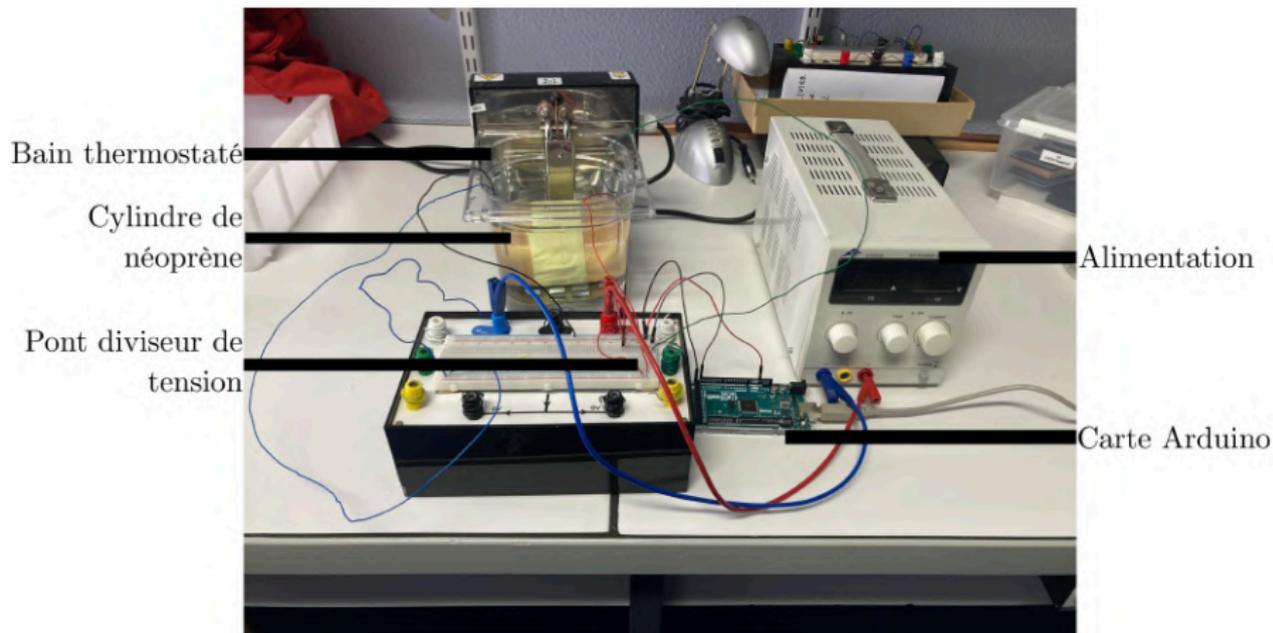


Figure 11 – Photographie de l'expérience légendée

Table des matières

1 Introduction

2 Modélisation du corps humain et de la combinaison isotherme

- Définition du modèle
- Exploitation du modèle

3 Expériences

- Mesure de la température avec une thermistance
- Mesure de la résistance thermique des couches superficielles du corps humain
- Transferts conducto-convectifs

4 Conclusion

Résultats du modèle

Température du corps humain en fonction du temps

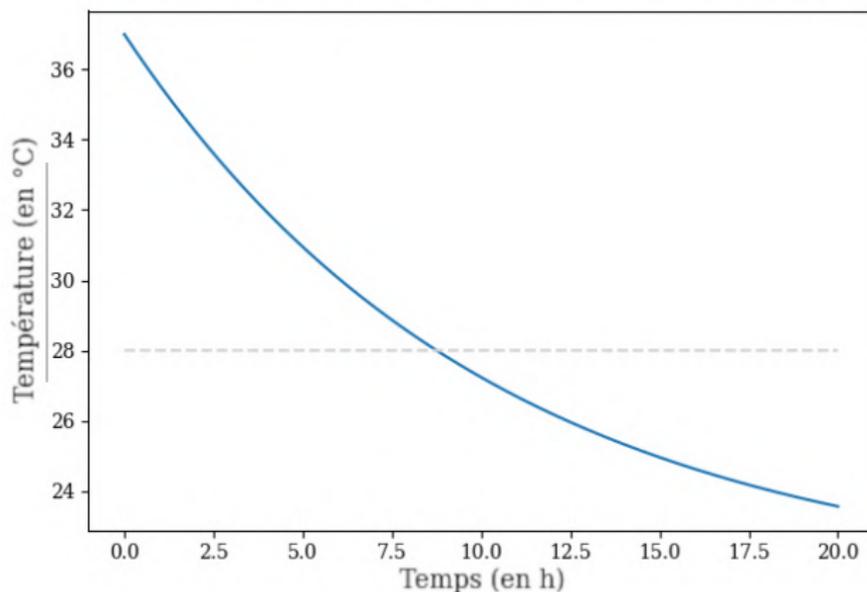


Figure 12 – Modèle proposé pour une personne de masse 70kg dans une eau à 15°C

Merci pour votre attention.

Annexe - Caractéristiques de la combinaison utilisée



Membre recouvert	Épaisseur	Surface
Ventre	5 mm	0,320m ²
Dos	5 mm	0,360m ²
Jambes (haut)	4 mm	0,350m ²
Jambes (bas)	4 mm	0,330m ²
Bras	3 mm	0,175m ²
Avant-bras (bas)	3 mm	0,170m ²

Nom commercial : Sooruz Fighter 5/4/3 Back Zip 2021

Conductivité thermique du matériaux :

$$\lambda = 0,192 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Capacité thermique massique :

$$c = 2,176 \text{ kJ.Kg}^{-1} . \text{K}^{-1}$$