



**HAL**  
open science

# Simulation numérique du comportement du corps humain en état de stress thermique

Pierre Michaux, Benjamin Gaume, Olivier Quéméner

► **To cite this version:**

Pierre Michaux, Benjamin Gaume, Olivier Quéméner. Simulation numérique du comportement du corps humain en état de stress thermique. Congrès de Thermique SFT 2022, May 2022, Valenciennes, France. hal-04514913

**HAL Id: hal-04514913**

**<https://univ-evry.hal.science/hal-04514913>**

Submitted on 21 Mar 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Simulation numérique du comportement du corps humain: Application à la cryothérapie

Pierre MICHAUX<sup>(1\*)</sup>, Benjamin GAUME<sup>(1)</sup> & Olivier QUEMENER<sup>(1)</sup>



## CONTEXTE – POSITION DU PROBLEME

**Objectifs:** Simuler le régime transitoire dans une portion de jambes, pour un scénario de cryothérapie

Jusqu'à présent, beaucoup de travaux ont été d'ordre physiologique et limités à de simples mesures de température superficielle. Nous proposons ici une approche biophysique, dans laquelle le corps humain est considéré comme un système thermodynamique et fait l'objet d'une approche numérique.

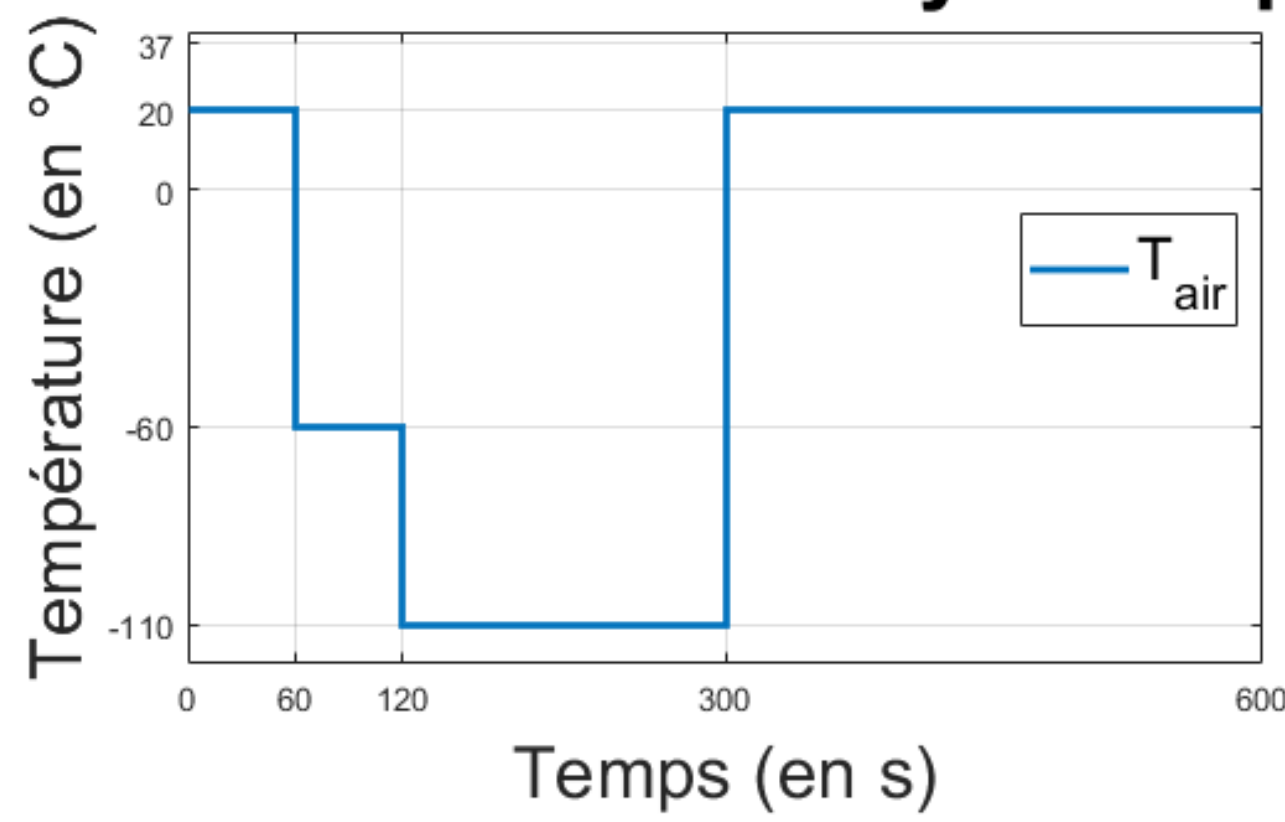
Ce *work in progress* présente l'étude d'une portion de jambes, qui à partir d'images issues de scanners médicaux, donne accès à un modèle discret maillé en 3D sur lequel on effectue différentes simulations éléments finis. Ce type de travail permet d'obtenir l'évolution du champ de température sur l'intégralité du domaine étudié.

**Problème physique posé pour la Cryothérapie Corps Entier:**

**Scénario de Cryothérapie Corps Entier:**

Le patient séjourne 3 minutes dans un chambre à -110°C, (après avoir traversé une salle à -60°C)

**Température de l'air au cours d'une séance de cryothérapie**



**Loi de transferts de chaleur:**

➤ Phénomènes thermiques internes (hors peau):

$$\forall M \in \Omega : \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + q_m + \rho_{bl} C_{p_{bl}} \omega_{bl} (T_{bl} - T)$$

Puissance métabolique

Débit de perfusion sanguine

➤ Échange avec l'extérieur (avec prise en compte de la peau):

$$\forall M \in \Gamma : k \vec{\nabla} T \cdot \vec{n} = h_0 (T_{air}(t) - T) + \varphi + \alpha(T) (T_{bl} - T)$$

Échange avec l'extérieur (prise en compte de la résistance de la peau)

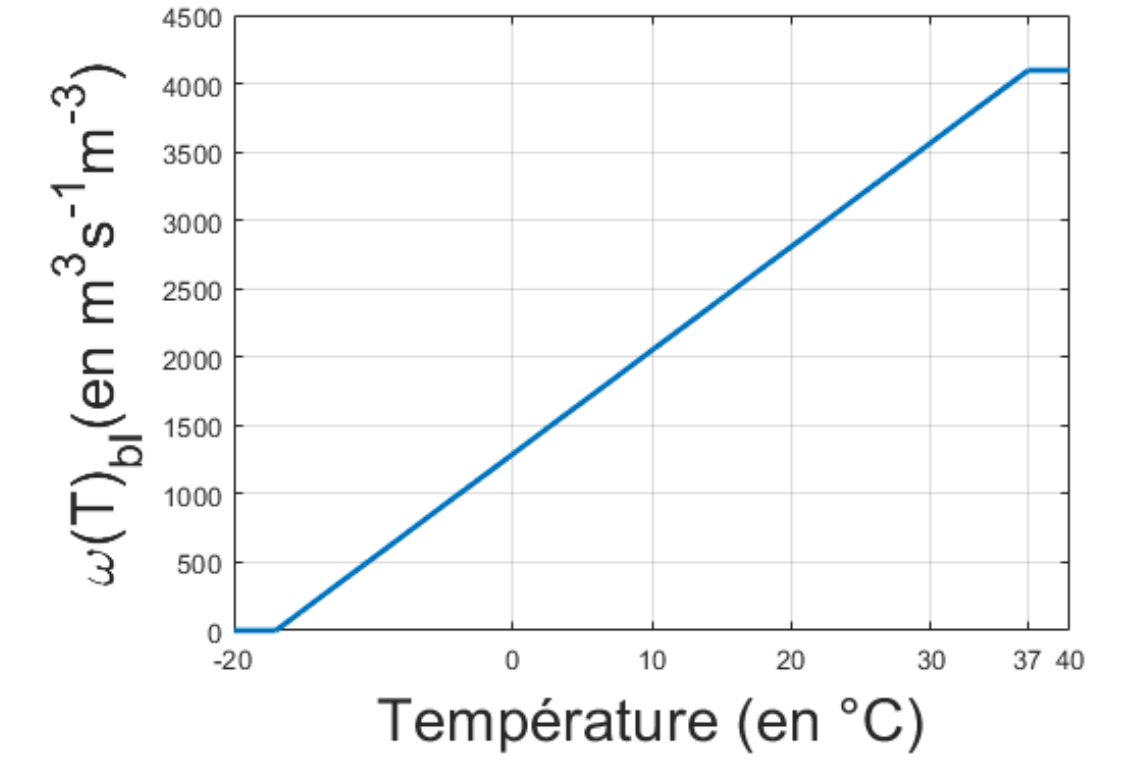
Flux métabolique de la peau

Échange avec le flux sanguin de la peau

**Système de régulation: Vasoconstriction de la peau**

$$\alpha(T) = e \rho_{bl} C_{p_{bl}} \omega(T)_{bl}$$

**Loi de Vasoconstriction**



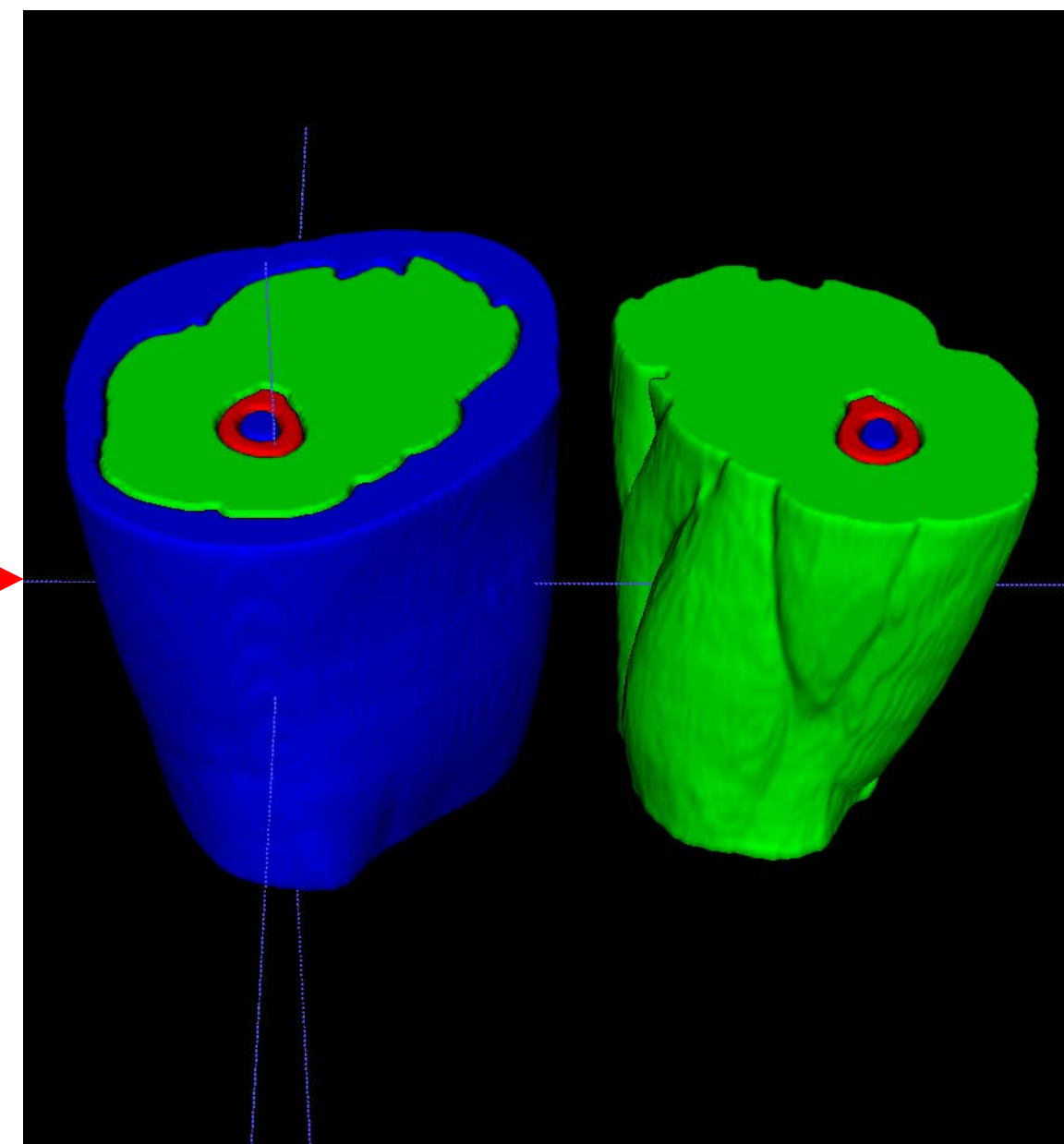
## MODELISATION & TRAITEMENT NUMÉRIQUE

**Scanner médical:**

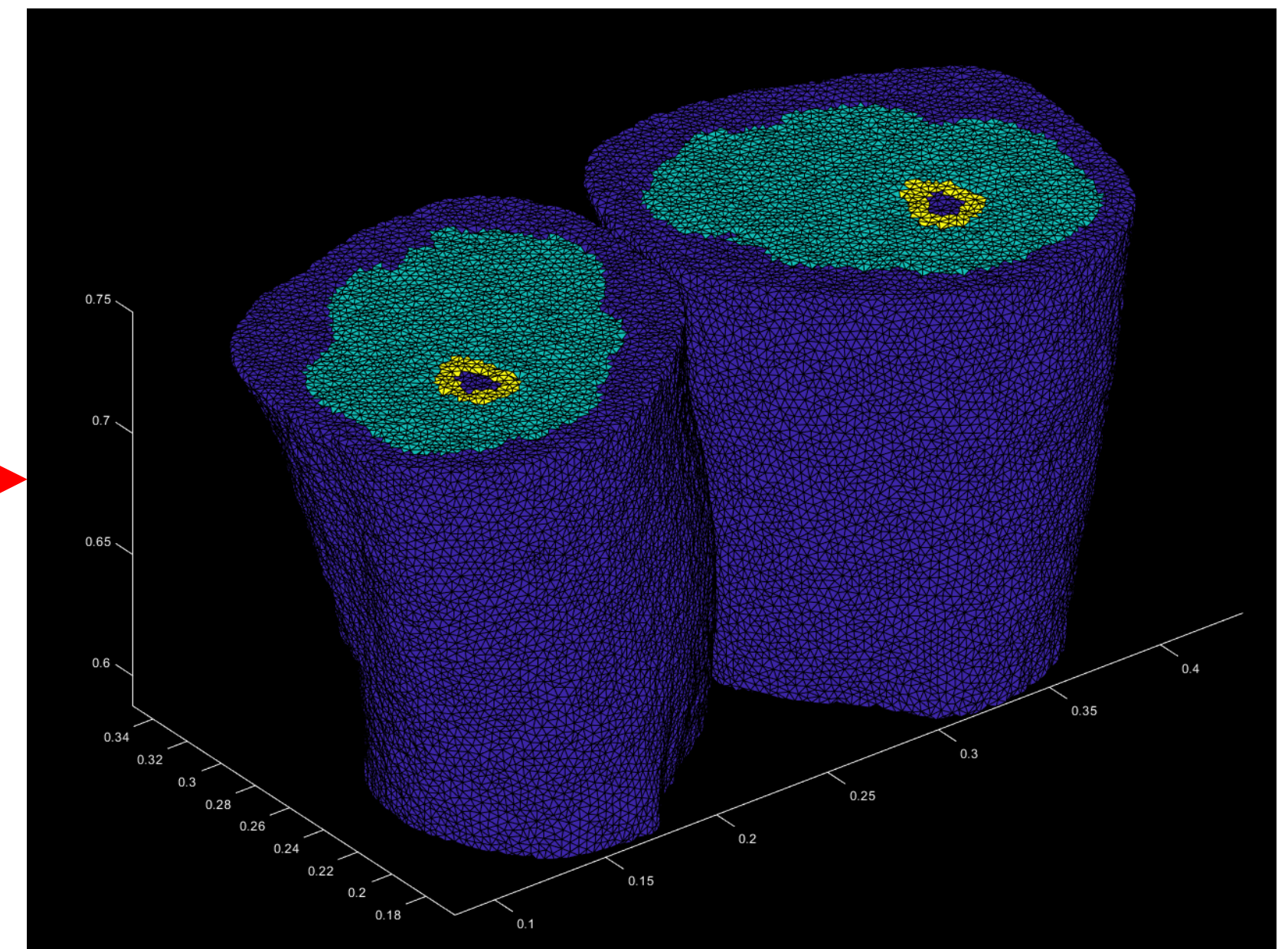


Coupe frontale

**Segmentation:**



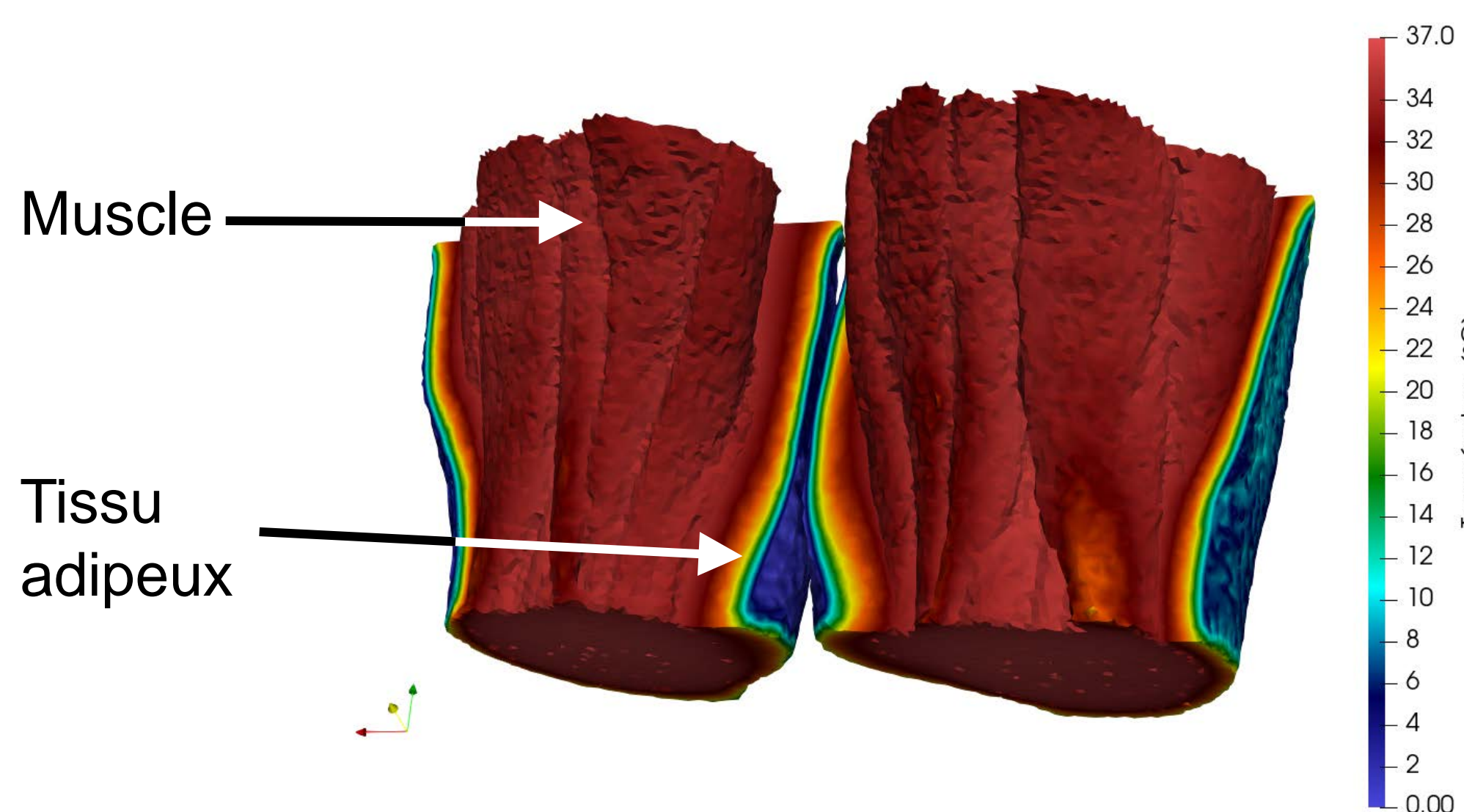
**Maillage volumique:**



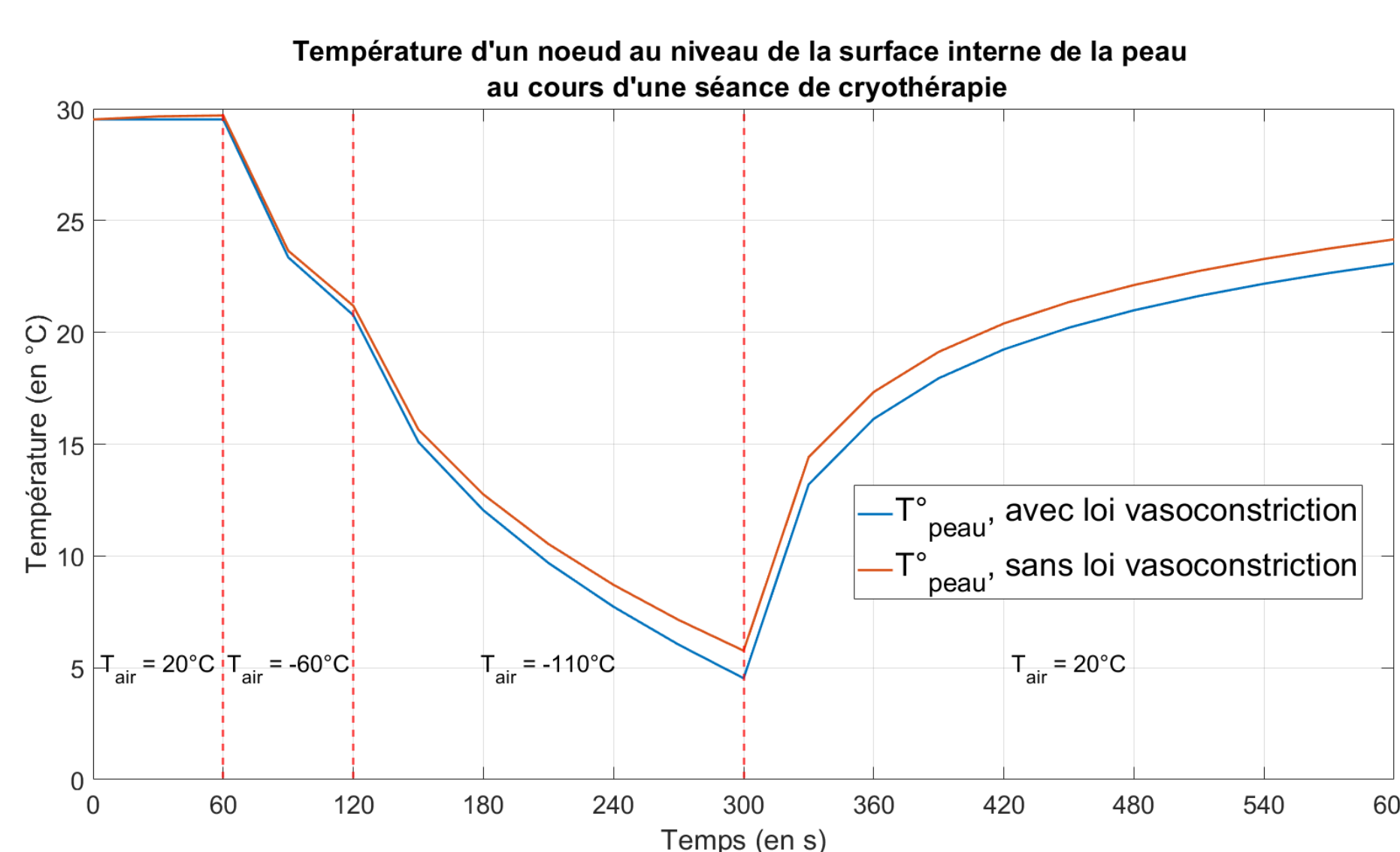
Simulation du problème thermique

## RESULTATS

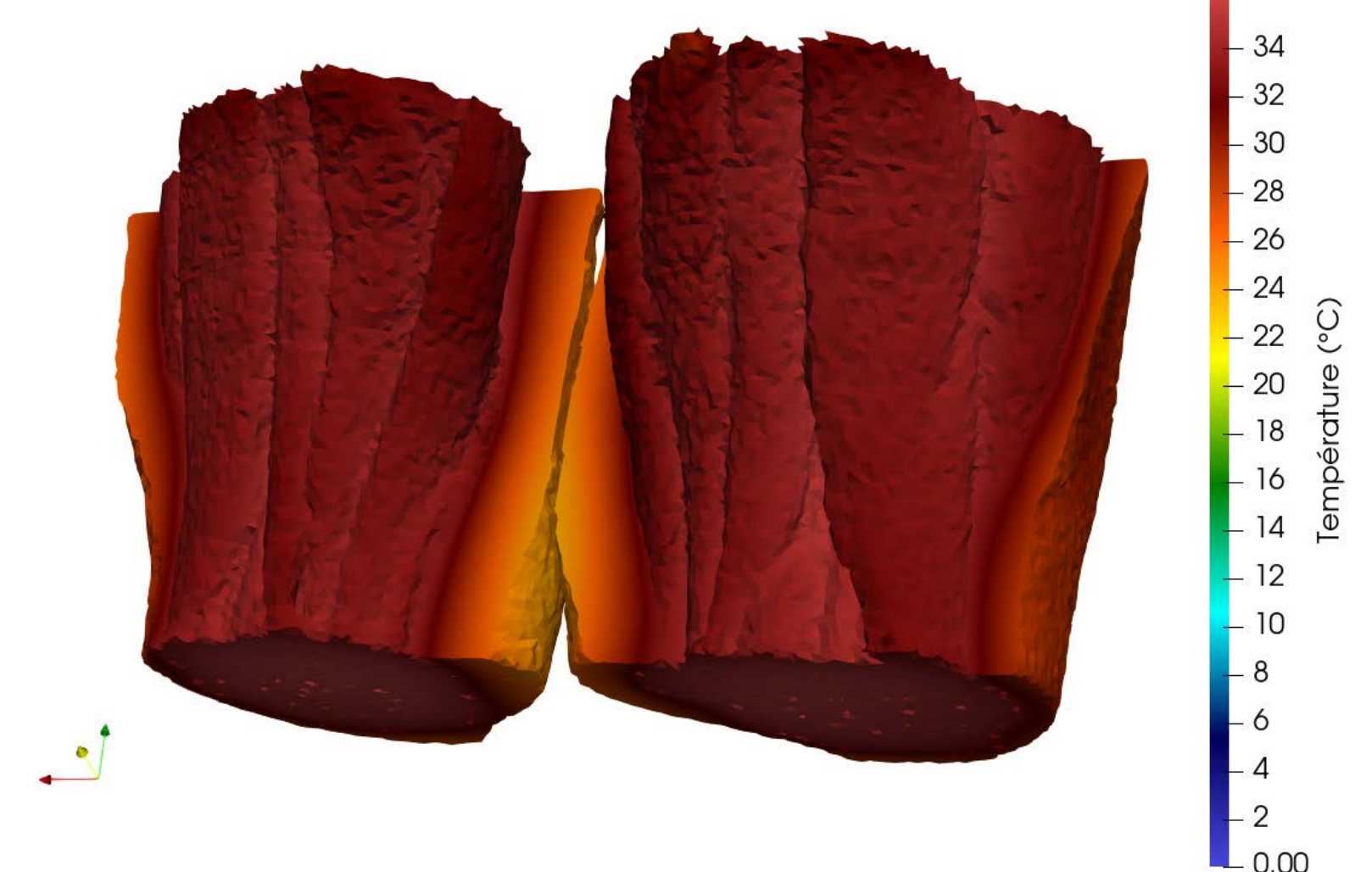
**Champ de température en fin de cryothérapie:**



**Évolution de la température de la peau (interne):**



**Champ de température 30 mn après traitement:**



**Conclusions:**

- Objectif biophysique atteint: Il est possible d'effectuer une simulation des phénomènes thermiques subis par le corps humain en considérant une véritable géométrie
- D'un point de vue thérapeutique, l'influence de la cryothérapie en fonction de la morphologie de l'individu peut être mise en évidence (épaisseur du tissu adipeux)

**Perspectives:**

- Extension de cette technique à l'intégralité du corps humain
- Prise en compte de l'ensemble des phénomènes de régulation: sudation, frissons, vasodilatation, ...

➔ **Connaissance des champs de température précis pour tous types de stress thermiques et de niveaux d'effort physique du patient**