

# Simulation d'appoints de confort thermique

## Framework OpenFOAM pour la simulation CFD d'appoints de confort thermique

### Contexte & objectif

Les appoints de confort thermique, qui consistent à ajuster localement les conditions thermiques pour répondre aux besoins spécifiques des occupants, représentent une approche prometteuse pour améliorer le confort tout en optimisant la consommation d'énergie.

Ce stage constitue la première étape d'une approche globale sur le micro-confort thermique menée par L'hypercube. Il s'attèle à rendre possible la simulation d'appoints de confort thermique avec une approche CFD anisotherme, en utilisant le logiciel open source OpenFOAM.

L'objectif principal est de modéliser avec précision les flux d'air et les transferts de chaleur à l'échelle d'un bureau ou d'un espace de travail.

### Approche

Dans le cadre de ce projet, différentes solutions d'appoints de confort thermique ont été implémentées dans OpenFOAM, sous forme de fichiers de configurations modulaires et réutilisables.

Une attention particulière a été portée à la facilité d'implémentation et de paramétrage, afin de pouvoir ensuite les combiner pour simuler des cas complexes et réalistes.

Tous les types de transferts thermiques ont été pris en compte - conduction, convection et rayonnement - afin d'être en mesure de simuler dynamiquement un large panel de solution.

Suite au développement numérique de chaque type de solution, des cas complets et réalistes ont été simulés pour tester l'approche sur ces configurations réalistes.

## Outils développés

### Appoints de micro-confort dans la simulation CFD

Les outils développés dans le cadre de ce stage permettent désormais la simulation dynamique des dispositifs classiques de ventilation et de chauffage : ventilateur, brasseurs d'air, radiateur, entrée d'air (chaud ou froid) et chaise chauffante/rafraîchissante.

Pour les quatre premiers dispositifs, le solveur **buoyantPimpleFoam** est utilisé, simulant uniquement la partie fluide avec les trois types de transferts thermiques, la compressibilité et la flottabilité de l'air.

Pour la chaise chauffante/rafraîchissante, le solveur **chtMultiRegionFoam** est utilisé, permettant en plus du précédent la simulation couplée fluide-solide mais augmentant le coût computationnel par 3 à 4.

Ces deux solveurs sont des solveurs transitoires, capables de traiter les écoulements turbulents.

Pour l'ensemble des solutions ci-dessous, les positions, propriétés matériaux et consignes sont définies dans des fichiers de configurations.

#### Ventilateur/Brasseur d'air

Le bloc ventilateur permet de simuler l'effet d'un ventilateur sur l'écoulement d'air sans nécessiter de maillage détaillé de l'appareil.

Il fonctionne en ajoutant une source de *quantité de mouvement* dans le domaine fluide, créant ainsi une différence de pression qui génère l'écoulement.

- Paramétrage :
- Delta de pression en fonction de la vitesse d'air

#### Radiateur

Le bloc radiateur simule l'effet thermique d'un radiateur sans modéliser sa structure interne. La simulation s'effectue en imposant une température fixe à la surface du radiateur et prend en compte les propriétés radiatives.

- Paramétrage :
- Température de surface
  - Propriétés radiatives

#### Entrée d'air

Le bloc entrée d'air reproduit les effets d'une arrivée d'air conditionné dans l'espace simulé.

Il s'implémente aux limites du domaine de calcul, et nécessite de modéliser également une sortie d'air.

- Paramétrage :
- Vitesse d'air
  - Température du jet

#### Chaise chauffante/rafraîchissante

Ce bloc permet de simuler une surface de contact à une température fixe, en contact avec un individu (chaise, table).

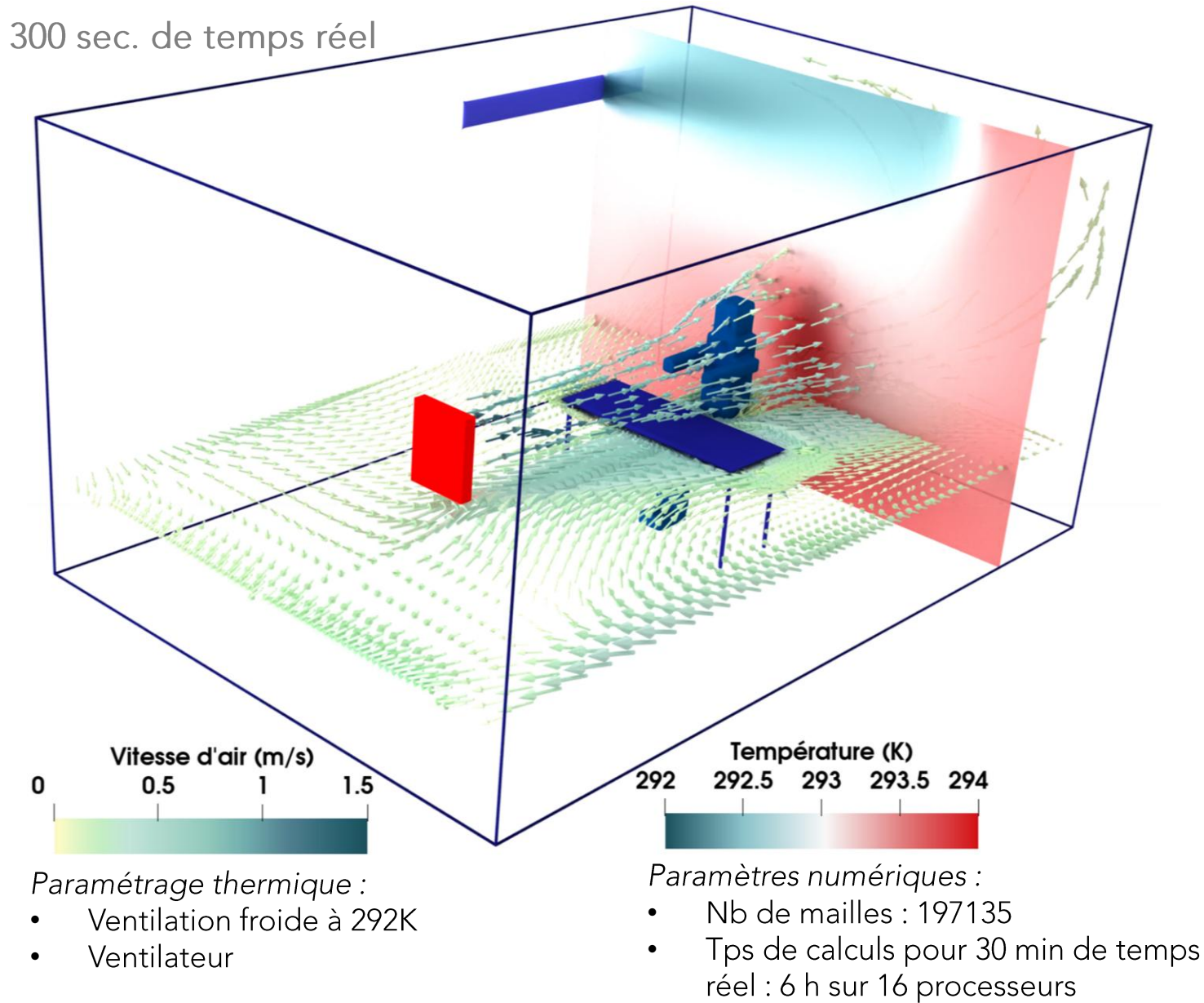
Pour contrôler le coût de calcul, la simulation ne modélise pas l'intégralité de la structure de la chaise, mais se concentre uniquement sur les interfaces en contact avec l'occupant.

- Paramétrage :
- Température de surface
  - Propriétés matériaux

En combinant ces différentes solutions d'appoints, il est désormais possible de les combiner et de simuler différents scénarios saisonniers réalistes, présentés ci-dessous.

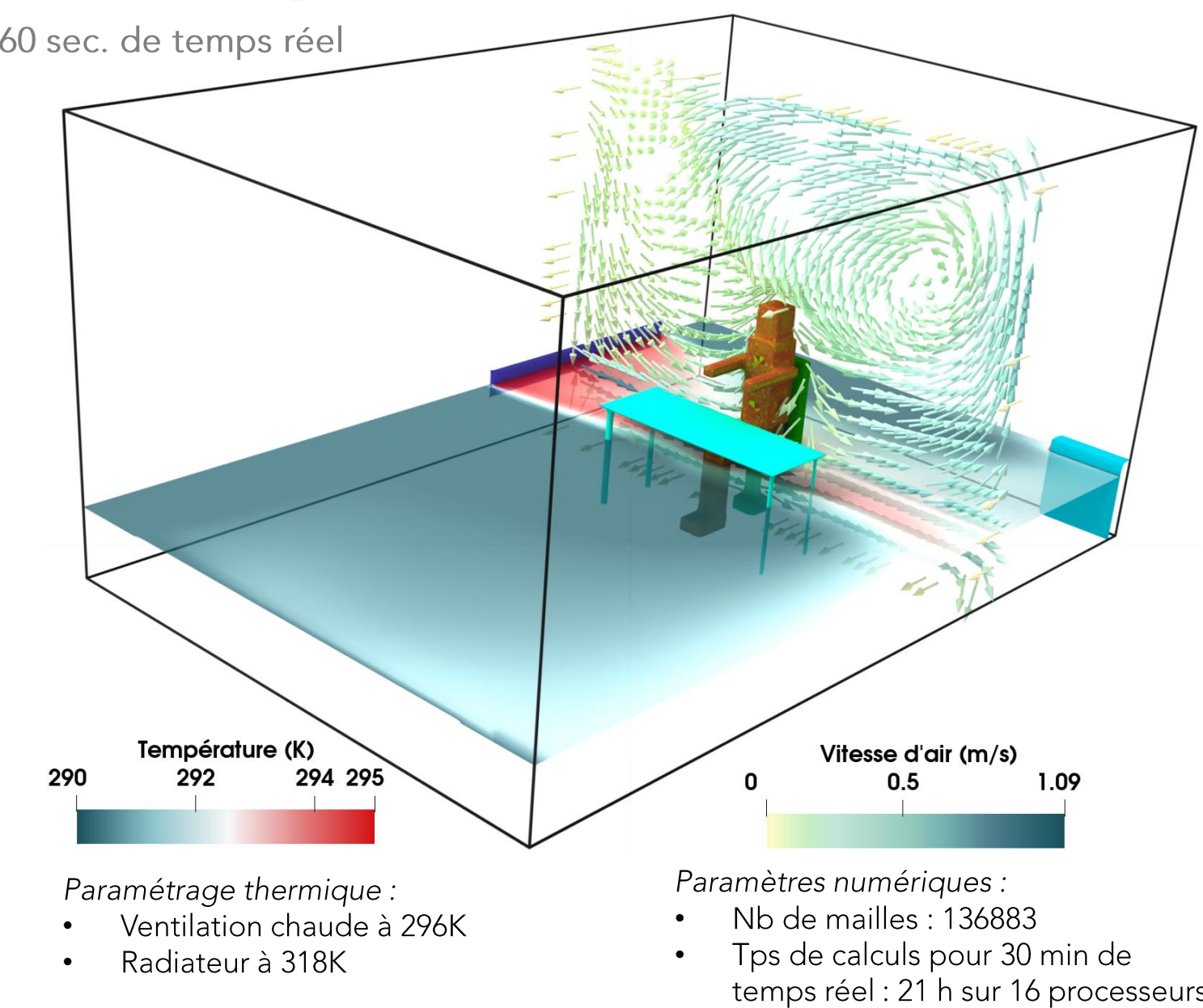
## Résultat pour une situation estivale

300 sec. de temps réel



## Résultat pour une situation hivernale

60 sec. de temps réel



## Limites et Perspectives

### Limites :

- Le temps de calcul est déjà élevé pour les simulations actuelles, et cette contrainte sera amplifiée pour des scénarios plus complexes, comme la modélisation de plusieurs pièces ou l'analyse de l'évolution sur une journée entière, ce qui pourrait poser des problèmes de faisabilité.
- Les simulations n'ont pas encore été validées par des expérimentations réelles pour vérifier leur fiabilité.

### Perspectives :

- Intégrer la modélisation de l'humidité en couplant avec des toolkits plus avancés et variés.
- Les analyses de confort thermique basées sur ces simulations seront développées ultérieurement dans les phases suivantes du projet, notamment via l'implémentation du modèle de confort de Fiala pour une meilleure modélisation du corps humain.

### Bonnes pratiques EMC2B



Les outils développés permettent d'évaluer avec précision l'impact des appoints de micro-confort sur l'évolution des champs de température et de vent autour de l'occupant, préparant ainsi le terrain pour des évaluations plus approfondies du confort thermique à l'avenir. Étant donné que ces dispositifs de micro-confort sont plus économes en termes de consommation d'énergie, leur utilisation peut finalement contribuer à réduire la consommation énergétique globale tout en maintenant le même niveau de confort de l'occupant.

### À retenir :

De nombreuses études, notamment [NREL], ont montré qu'il est possible de **maintenir des niveaux de confort thermique constant en réduisant les consignes de températures** dans les bâtiments, tout **en donnant aux occupants 5W/pers.** en chaud ou en froid, aboutissant à de **économies d'énergie globale comprises entre 10 et 17%** selon les climats.

### Références / Aller plus loin

Fiala, D., Lomas, K., et al. (1999). A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: The passive system. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 87, 1957-1972.

Carmichael, S., Booten, C., et al. Annual Energy Savings and Thermal Comfort of Autonomously Heated and Cooled Office Chairs. National Renewable Energy Laboratory (NREL).