

MODELISATION DE L'ÉCOULEMENT D'AIR ET DES EFFETS THERMIQUES LORS DE L'UTILISATION D'UN APPAREIL DE PROTECTION RESPIRATOIRE

Barthélemy Topilko

Equipe de recherche : Geoffrey Marchais, Mohamed Arbane, Jean Brousseau, Xavier Maldague, Ali Bahloul, Clothilde Brochot et Yacine Yadadden

Mai 2024

- Sommaire

I. Problématique et objectifs + références

II. Modélisation

1. Définition
2. Respiration

III. Simulation

1. Analyses de compréhension
2. Comparaison et validation expérimentale

IV. Conclusion et suite du projet

V. Bibliographie

I – Problématique et objectifs

Dans le cadre du projet, il est nécessaire de développer plusieurs modèles numériques multiphysiques permettant de **comparer et de valider des résultats expérimentaux, d'alimenter une base de données** destinées à l'entraînement d'un algorithme d'intelligence artificielle de détection automatique de fuites d'air lors du port d'un APR mais aussi de mieux **comprendre la situation** réelle.

Objectifs :

- Développer un modèle capable de simuler un écoulement d'air non-isotherme provenant d'une respiration humaine à travers un APR poreux et une ou des fuites
- Décliner le modèle avec plusieurs types de physiologie de visage
- Simuler ce modèle afin de visualiser l'effet d'une ou de plusieurs fuites sur les variations de température sur le visage du porteur
- Corréler les résultats des simulations avec des mesures expérimentales sur banc d'essai ou sujets humains
- Réaliser des analyses complémentaires de phénomènes difficilement vérifiables expérimentalement à des fins de compréhension
- Générer des séquences permettant d'enrichir la base de données utilisée par les algorithmes d'intelligence artificielle visant à détecter les fuites

II - Modélisation

1. Généralités

Informations communes :

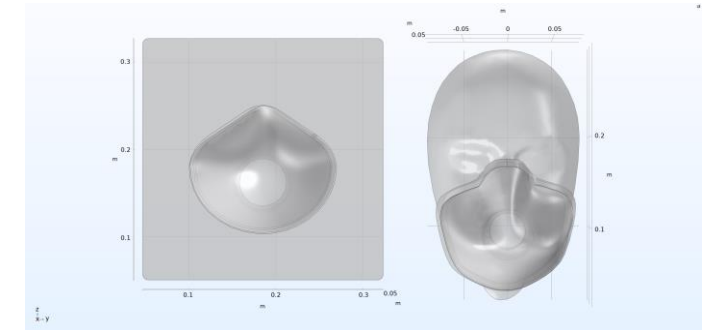
- Géométrie :

- Solide : plan (simple), mannequin (complexe) ou tête humaine (plus complexe)
- Milieu poreux suivant la Loi de Darcy : masque
- Fluide : volume de contrôle

- Matériaux :

- Plan : polyéthylène à haute densité [1]
- Mannequin : caoutchouc
- Tête humaine : peau humaine
- Masque : polypropylène [2]
- Volume de contrôle : air

- **Maillage optimisé** : fin dans les zones d'intérêts pour la précision des résultats, grossier ailleurs pour limiter les temps de calcul



- Mécanique des fluides : *Figure 1 : Modèles plan et mannequin*

- Ecoulement d'air laminaire et incompressible
- Conditions initiales : vitesse nulle, pression ambiante
- Contrôle du flux d'air par le débit
- Expiration : entrée = bouche / sortie = frontières du volume de contrôle (idem thermique)
- Inspiration : entrée = frontières du volume de contrôle / sortie = bouche (idem thermique)

- Thermique :

- Echange thermique entre fluides et solide par convection et conduction
- Conditions initiales : tout objet est à température ambiante sauf pour le modèle humain où la tête est à température corporelle

II - Modélisation

2. Respiration

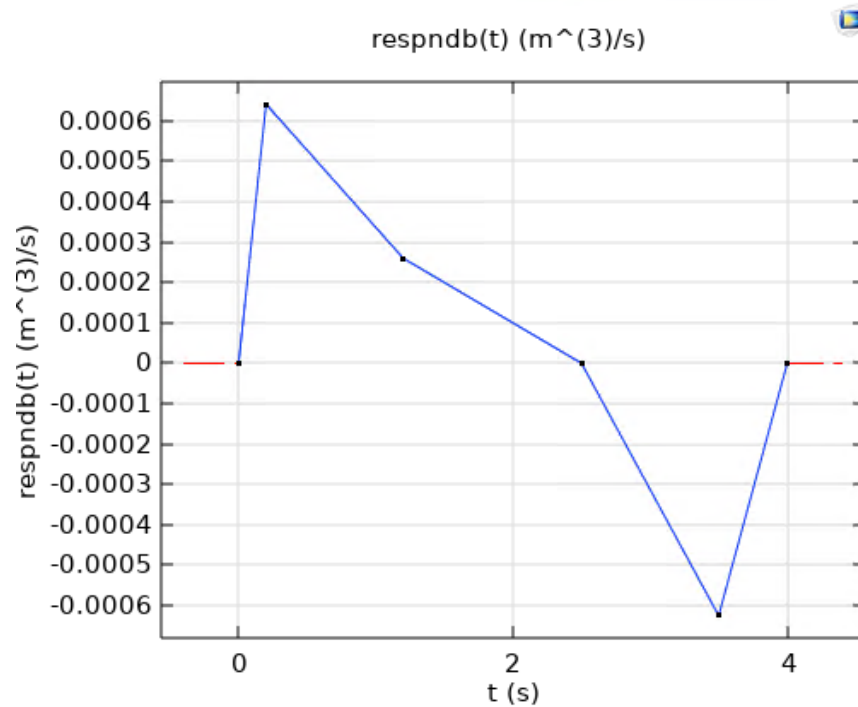


Figure 2 : Cycle respiratoire provenant de l'installation expérimentale

- Définition points par points
- Se rapproche plus de la réalité

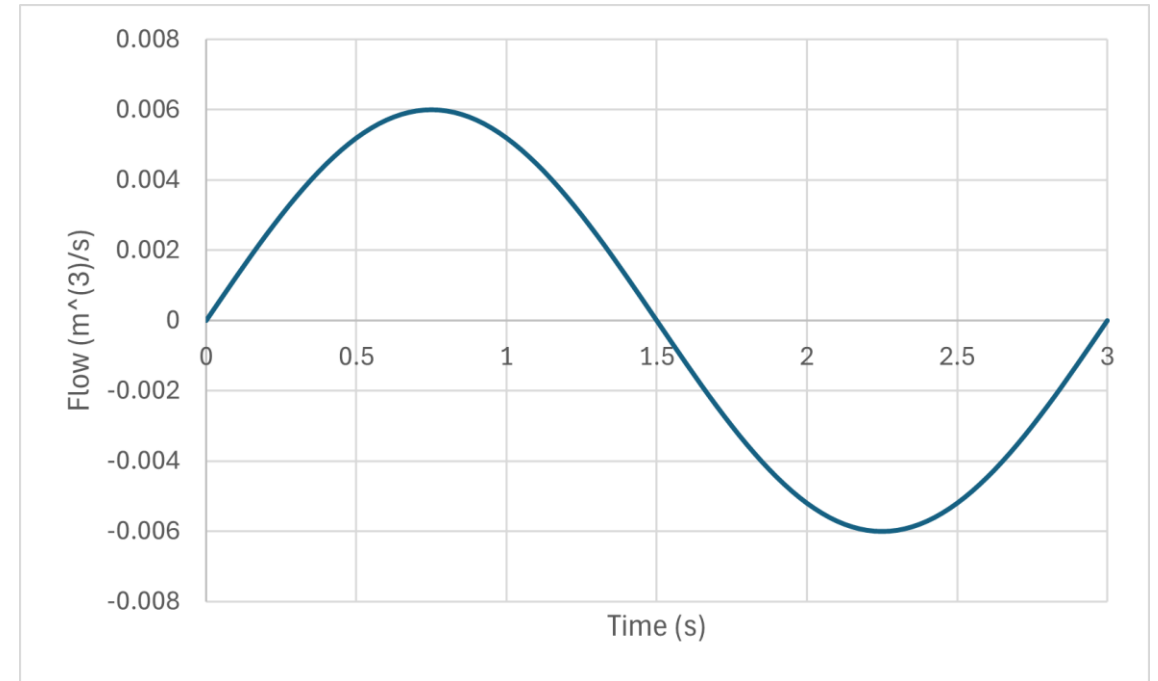


Figure 3 : Cycle respiratoire provenant de la littérature [3]

- Définition par fonction sinusoïdal
- Plus simple mais moins réaliste

III - Simulation

1. Analyses de compréhension

- **Impact de l'humidité sur les échanges thermiques**
 - Caractéristiques thermiques de l'air variables selon l'humidité relative [4]
 - Essais identiques pour air ambiant sec et air chaud humide
 - Résultats similaires, on peut négliger l'effet thermique de l'humidité dans les modèles

- **Evolution du débit à la fuite en fonction de sa taille**
 - Implémentation d'une fuite de taille variable sur le modèle plan
 - Le débit de la fuite augmente en fonction de sa taille
 - En régime permanent, les variations de températures augmentent en fonction de la taille de la fuite

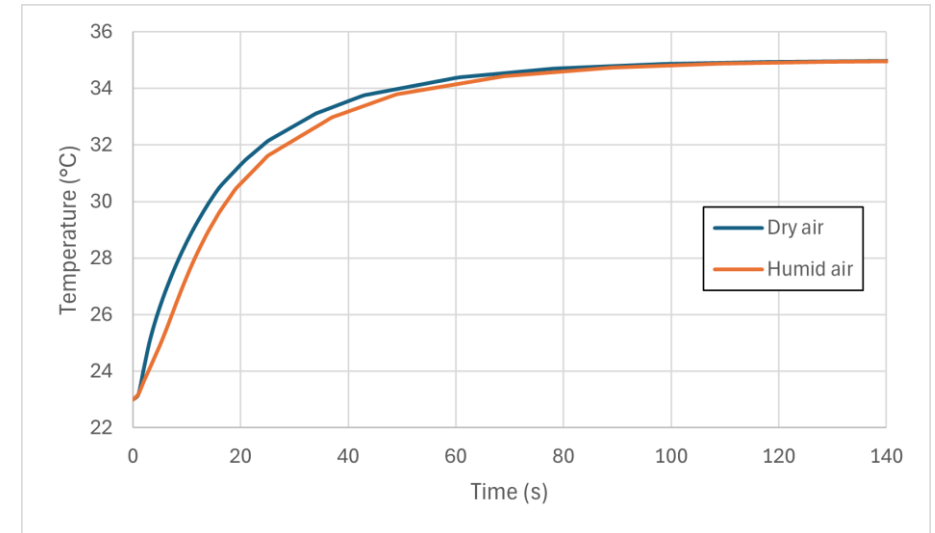


Figure 4 : Impact de l'humidité sur les échanges thermiques

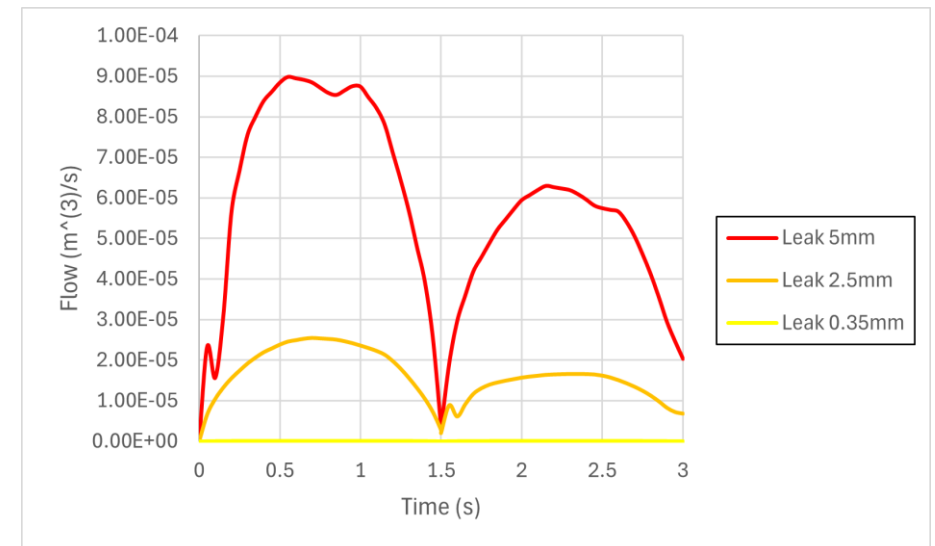


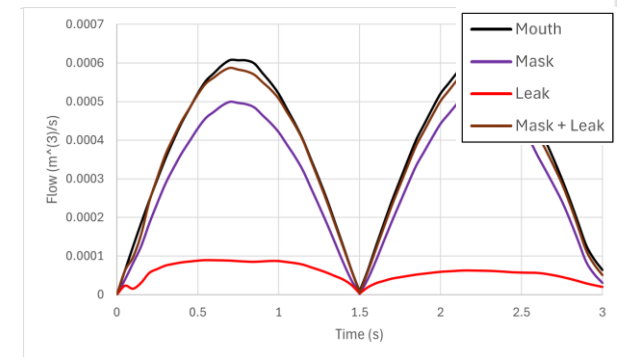
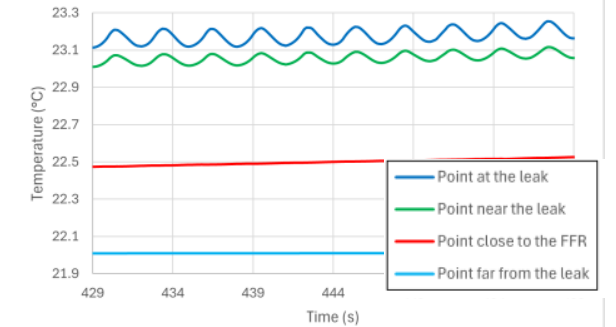
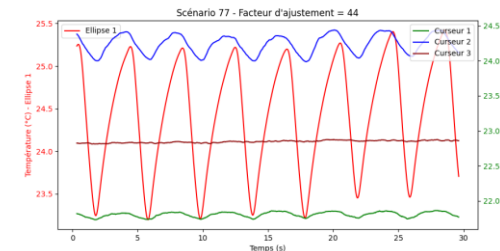
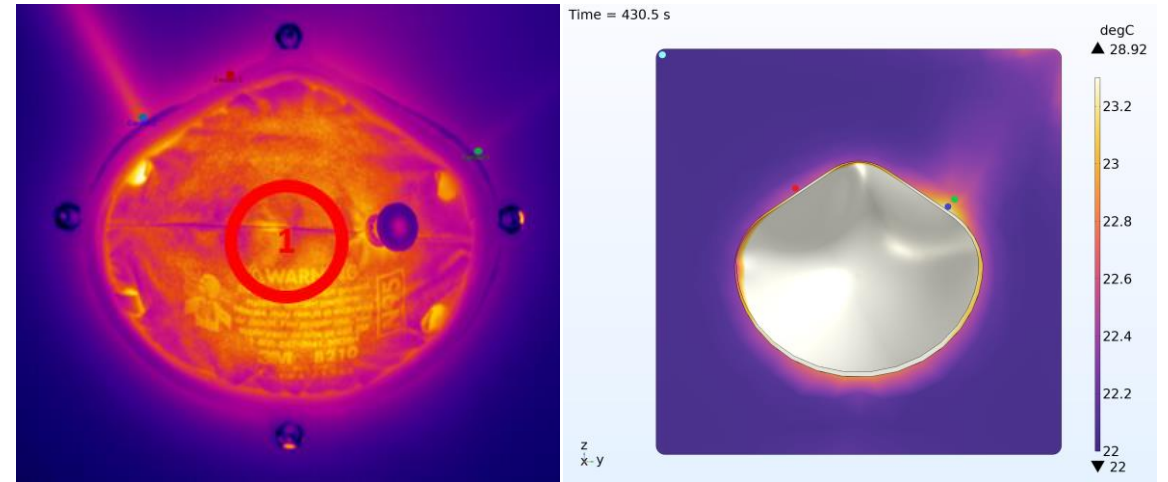
Figure 5 : Impact de la taille d'une fuite sur les variations de température locales

III - Simulation

2. Comparaison et validation expérimentale

- Définition des points et des zones de suivi
- Comparaison dans la zone de fuite : **Nécessité d'avoir atteint le régime permanent**
 - Zones Affectées Thermiquement
 - Variations de températures locales
- Paramètres influents pour la comparaison :
 - Courbe de contrôle du débit
 - Température d'entrée
 - Paramètres ambiants
 - Caractéristiques des matériaux utilisés
 - Uniquement pour le modèle humain : température de maintien de la peau
- **Cohérence du modèle**

Conservation du débit => (débit_bouche = débit(s)_fuite(s) + débit_masque)



IV – Conclusion et suite du projet

- ✓ **Deux modèles numériques multiphysiques opérationnels et validés expérimentalement : plan et mannequin**
- ✓ **Réalisation de plusieurs essais annexes destinés à la compréhension du sujet**
- Finaliser le modèle humain
- Générer un nombre important de séquences sur les trois modèles avec des scénarios différents pour alimenter les bases de données
- Améliorer les différents modèles en incluant des modules supplémentaires comme la prise en compte de la pression de contact ou encore la filtration des particules
- *Automatiser une méthode de détection et de quantification des fuites sur un masque N95 par intelligence artificielle*
- *Intégration de cette méthode à une station d'analyse portable rapide et efficace utilisable en milieu professionnel*

Merci de votre
attention !



V – Bibliographie

1. F. Crespel and J.-C. Morisset, “Les plastiques techniques,” Available: <https://www.h7g6.fr/data/article/79/les-plastiques-techniques>, Access 2024/03.
2. J. Blumm and A. Lindemann, “Characterization of the thermophysical properties of molten polymers and liquids using the flash technique,” *High Temp. High Press*, vol. 35, no. 36, p. 627, 2003.
3. M. Xu, P. Lee, and D. Collins, “The critical importance of mask seals on respirator performance: An analytical and simulation approach,” *PLoS One*, vol. 16, no. 2, p. e0246720, 2021.
4. P. Tsilingiris, “Thermophysical and transport properties of humid air at temperature range between 0 and 100 c,” *Energy Conversion and Management*, vol. 49, no. 5, pp. 1098–1110, 2008.