

Localisation et Quantification des fuites d'un masque N95 par Imagerie Infrarouge



Geoffrey Marchais,

Equipe de recherche : Barthelemy Topilko, Mohamed Arbane, Jean Brousseau, Yacine Yadadden, Xavier Maldague, Clothilde Brochot et Ali Bahloul.

- Sommaire

I. Partenaires et membres de l'équipe de recherche

II. Problématique

III. Objectifs

IV. Méthodologie




1. Mise en place des bancs d'essais
2. Exploitation des bases de données

V. Méthode de détection en développement

VI. Conclusion – Suite du projet

VII. Bibliographie

I – Partenaires et membres de l'équipe de recherche

1. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en Sécurité du travail (IRSST) 
2. Université Laval (ULaval) 
3. Université du Québec à Rimouski (UQAR) 

➤ **Ali Bahloul**, *chercheur*



➤ **Clothilde Brochot**, *chercheur*

➤ **Xavier Maldague**, *professeur et chercheur*



➤ **Jean Brousseau**, *professeur et chercheur*



➤ **Yacine Yaddaden**, *professeur et chercheur*

➤ **Barthélemy Topilko**, *étudiant à la maîtrise en ingénierie*

➤ **Mohamed Arbane**, *étudiant à la maîtrise en ingénierie*

➤ **Geoffrey Marchais**, *étudiant à la maîtrise en ingénierie*

II – Problématique

Le test d'ajustement quantitatif (ou **Quantitative Fit Test - QNFT**) consiste à essayer différents masques et à choisir le meilleur ajusté à un visage, il fonctionne avec un compteur de particules. Celui-ci détermine un **facteur** (le **Facteur d'ajustement** ou **Fit Factor**) entre le nombre de particules à l'extérieur et à l'intérieur du respirateur.

La pandémie de COVID-19 a mis en lumière plusieurs problématiques :

- **Le Fit Check**, ou test d'étanchéité, est la vérification à réaliser par chaque usage avant l'utilisation d'un masque, celui-ci présente une faible fiabilité [1]
- Peu d'utilisateurs ne font pas cette vérification de manière adéquate (près de 50%) [2]
- Les méthodes actuelles pour la détection de fuites sont limitées [3]

Une méthode alternative, **l'imagerie infrarouge (IR)** :

- Visualisation **des variations de température** autour du joint facial [4], celle-ci a déjà montré sa capacité à localiser des fuites [5],[6],[7]. *Principe physique utilisé : la différence de température entre l'expiration (36°C) et l'inspiration humaine (22°C).*
- **Aucune étude** n'a démontré sa capacité à **localiser et quantifier automatiquement** une fuite sur les masques de type N95.

III – Objectifs

- Concevoir trois **bancs d'essai** pour l'étude précise de fuites calibrées en **environnement contrôlé** et **non contrôlé**.
- Créer des **bases de données complètes** (données **IR, RGB et QNFT**) de plusieurs scénarios de fuite(s) sur des pièces faciales filtrantes (PFF) N95.
- Développer une **méthode** pour localiser et quantifier les fuites sur un masque N95, puis rendre **cette détection automatique** par **intelligence artificielle**. Développer cette méthode sur un système simple dans un premier temps, puis complexifier le système d'étude.
- Concevoir **une station d'analyse portable** intégrant cette méthode de détection complète des fuites d'un PFF N95 puis la tester sur le terrain (laboratoires, hôpitaux...).

IV - Méthodologie

1. Mise en place des bancs d'essais

Trois systèmes étudiés, avec la conductivité thermique du matériau le constituant :

1. **Le Plan**, en PEHD, $\lambda_{PEHD} = 0.4-0.43 \text{ W} \cdot \text{m}^1 \cdot \text{K}^{-1}$ [8]
2. **Le Mannequin**, en caoutchouc vulcanisé : $\lambda_{\text{caoutchouc_vulcanisé}} = 0.36-0.4 \text{ W} \cdot \text{m}^1 \cdot \text{K}^{-1}$ [9]
3. **Le Sujet Humain**, peau humaine : $\lambda_{\text{peau_humaine}} = 0.4-0.45 \text{ W} \cdot \text{m}^1 \cdot \text{K}^{-1}$ [10]



Figure 1 : Les trois systèmes étudiés

Complexité graduelle des systèmes étudiés → meilleure compréhension des fuites :

Système	Géométrie	Respiration	Fuite(s)	Mouvements	Vues nécessaires
1	Simple	Contrôlée	Contrôlée(s)	Non	1
2	Complexe	Contrôlée	Contrôlée(s)	Non	4
3	Complexe	Non Contrôlée	Non Contrôlée(s)	Oui	4

Tableau 1 : Complexité d'étude de chaque système

IV - Méthodologie

1. Mise en place des bancs d'essais – Plan et Mannequin

→ Créer une respiration humaine

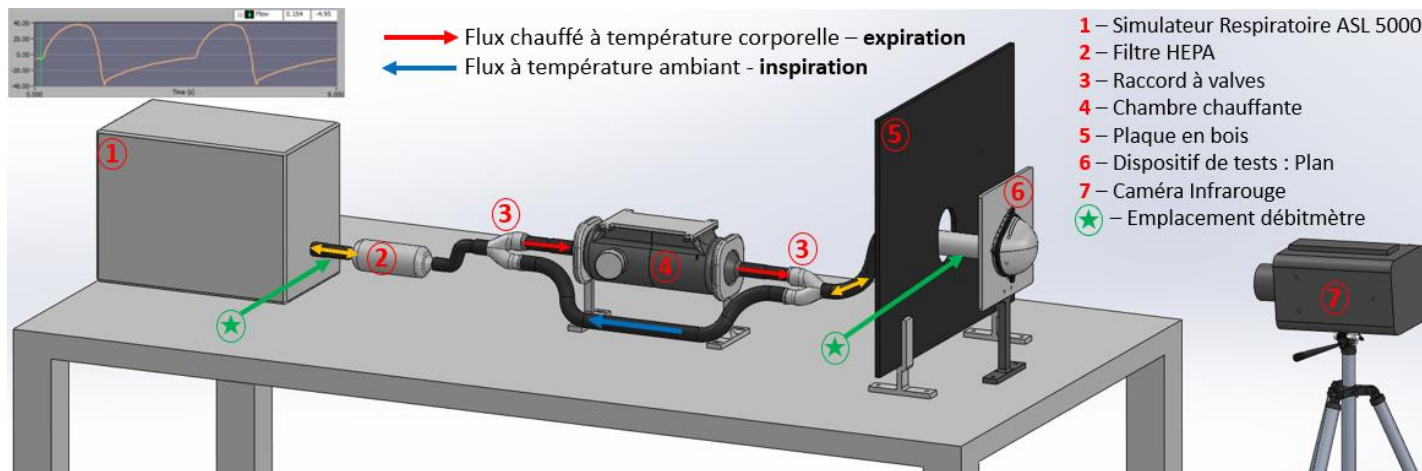


Figure 2 : Modélisation du banc d'essai pour reproduire la respiration humaine

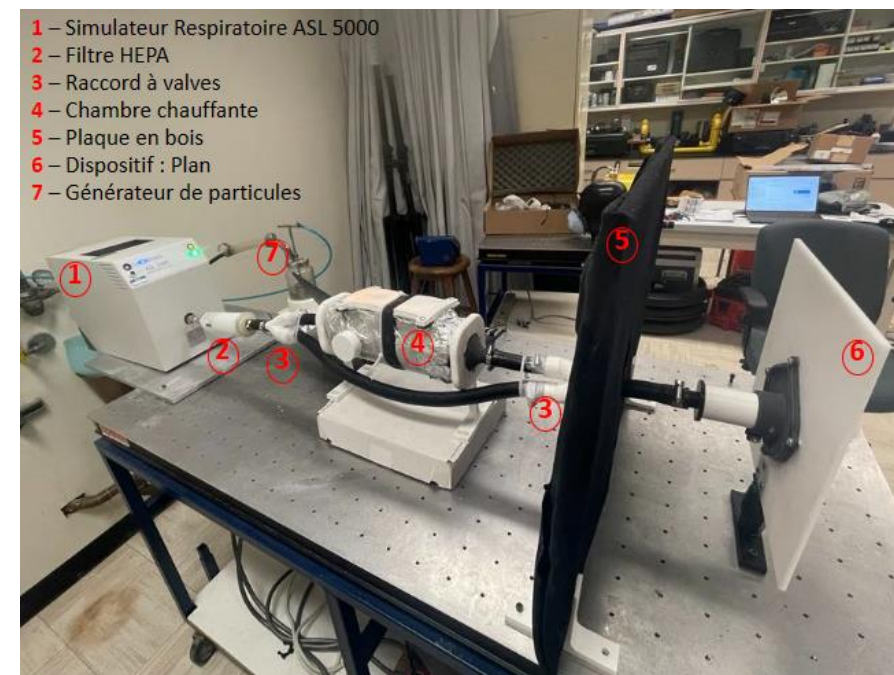


Figure 3 : Banc d'essai pour reproduire fidèlement la respiration humaine

Validation des deux bancs d'essai plan et mannequin selon trois aspects :

- ✓ **Étanchéité du système** (★)
- ✓ **Température respiratoire** (Fig. 4)
- ✓ **Nombre de particules générées**

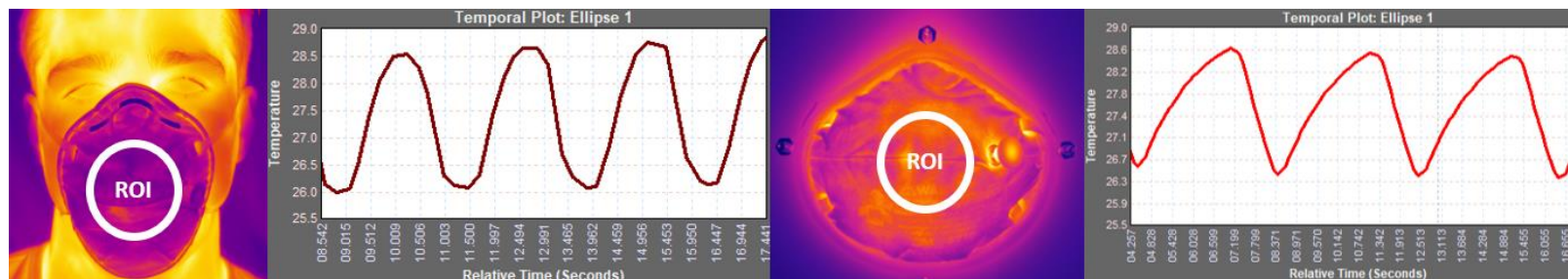


Figure 4 : Validation de l'aspect « Température respiratoire » ; ROI = Region Of Interest

IV - Méthodologie

1. Mise en place des bancs d'essais – Plan et Mannequin

→ Contrôler les fuites, leur taille, leur nombre et leur emplacement

- Les systèmes 1 et 2 possèdent chacun 3 pièces :

- La pièce trouée (rouge)
- Un masque N95 (gris)
- Le serreur (vert)

- La pièce trouée (rouge) permet d'insérer dans les trous soit :

- Un bouchon
- Une aiguille calibrée de diamètre connu (de 3,5mm à 0,84mm)

- Le serreur (vert) permet d'assurer l'étanchéité du masque N95 et le contrôle total des fuites.

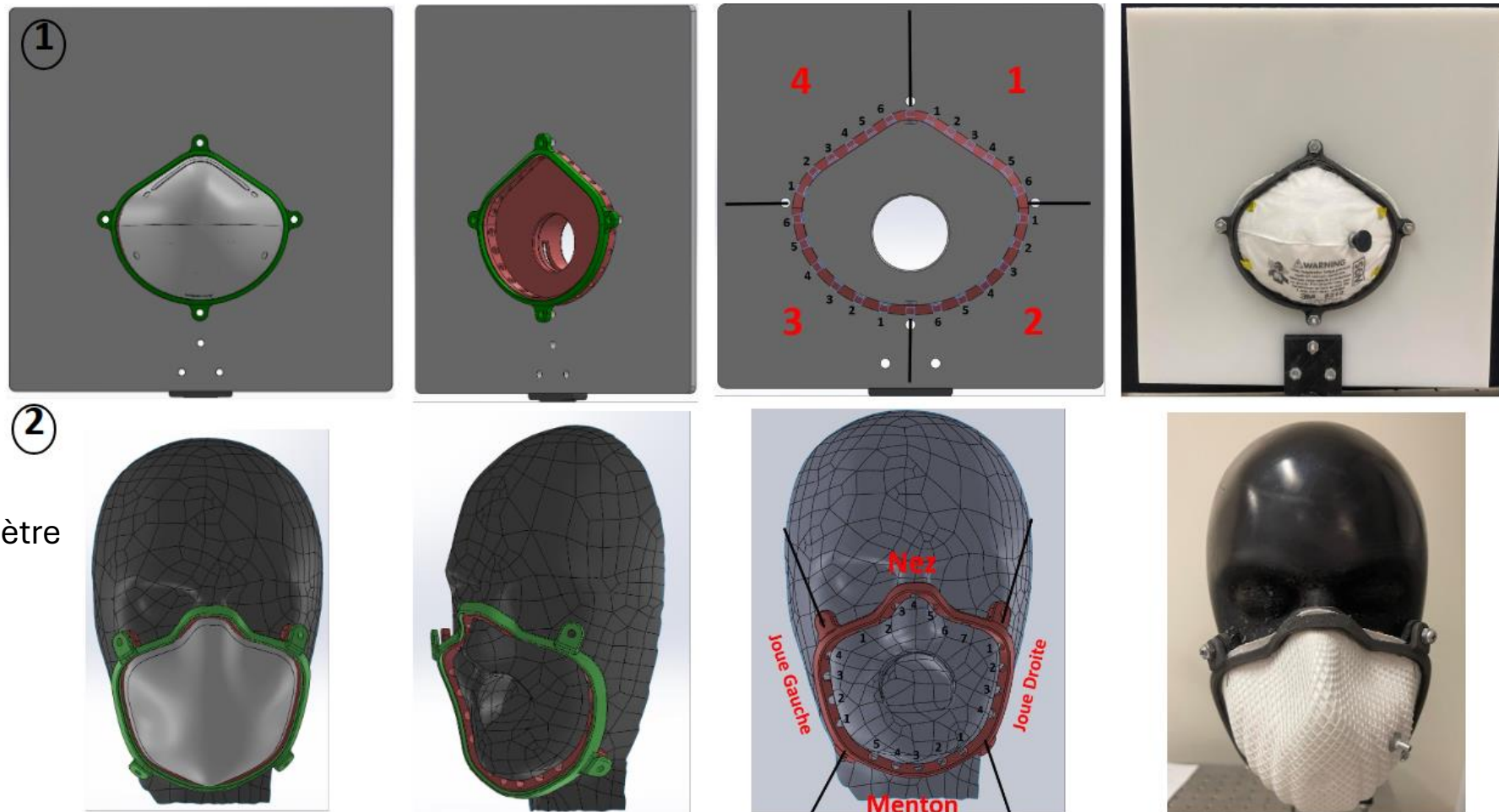


Figure 5 : Dispositifs pour le contrôle des fuites sur les systèmes 1 et 2

IV - Méthodologie

1. Mise en place des bancs d'essais – Sujets Humain

→ Enregistrer des vidéos RGB et IR de personnes portant des N95

- Le visage humain se déplace lors d'une respiration
- Des codes informatiques appliqués aux vidéos RGB permettent le suivi de ces mouvements
- Un transfert des informations aux vidéos IR permet le suivi des points intéressants
→ calibration et synchronisation
- La fusion de données → meilleure précision + robustesse des résultats.

Conception du système d'imagerie :

1. Une caméra RGB – GoPro Hero 9 – 1920*1080 – 30Hz
2. Une caméra IR – FLIR X8501sc – 1280*1024 – 20 à 30Hz

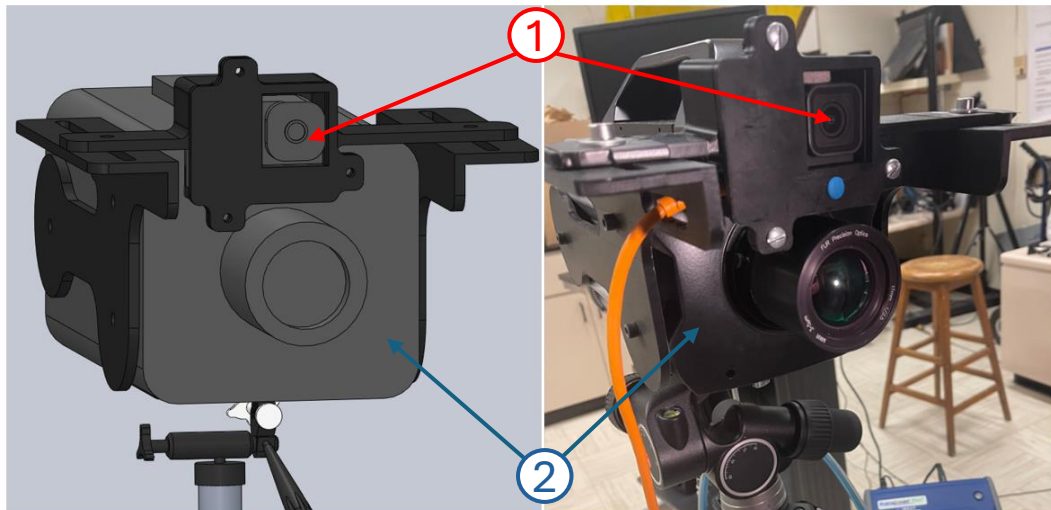


Figure 6 : Système d'imagerie

→ Quantifier les fuites d'un masque N95 porté par un participant

- Un compteur de particules, utilisé comme référence : Portacount™ modèle 8038



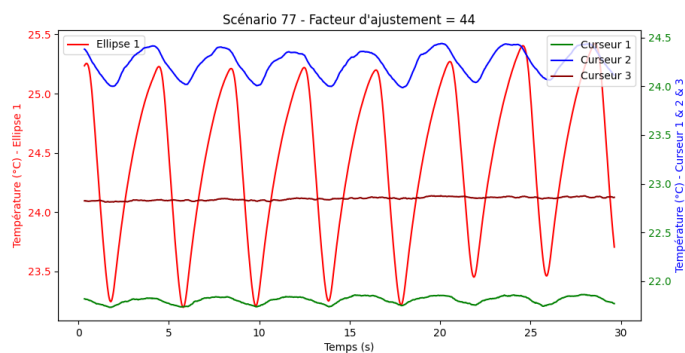
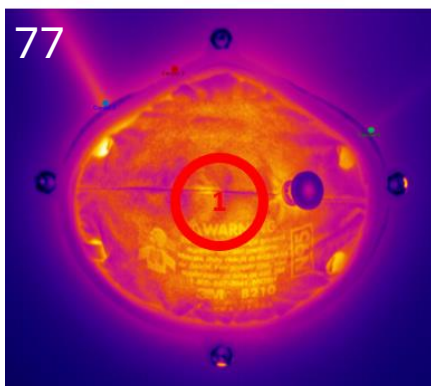
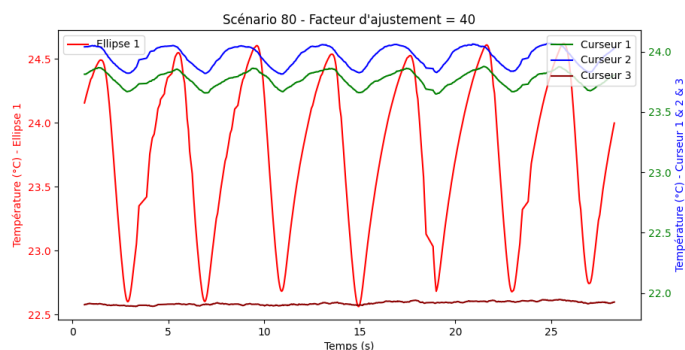
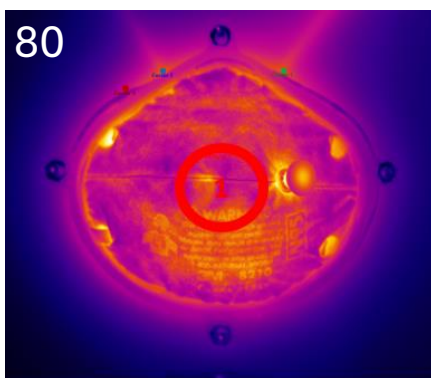
Figure 7 : Installation finale pour participants humains

IV - Méthodologie

2. Exploitation des bases de données – Plan et mannequin

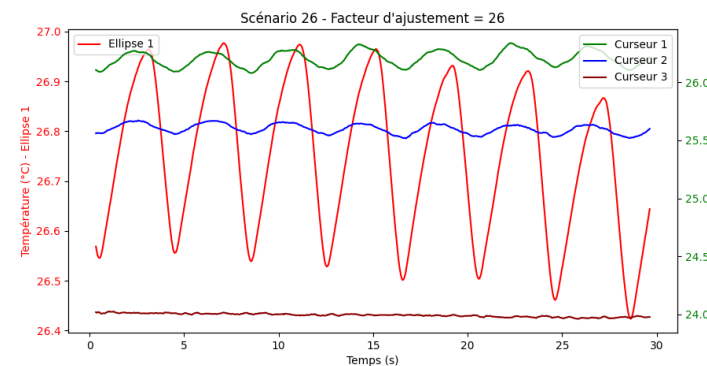
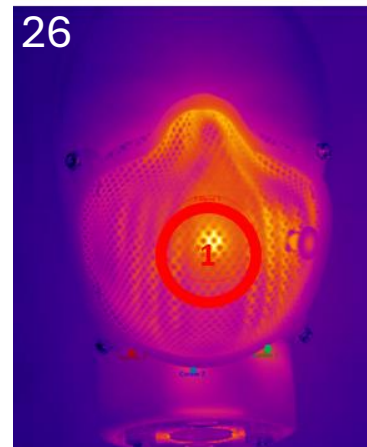
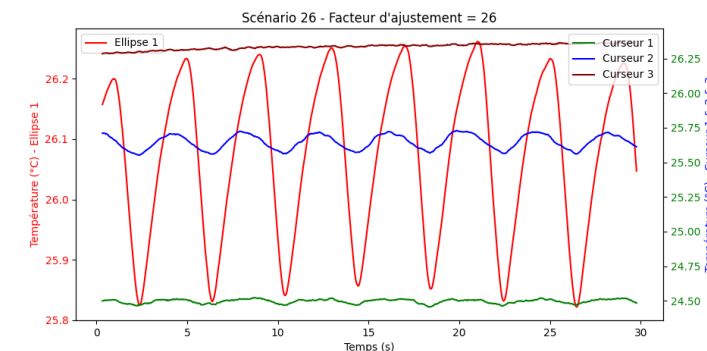
Système 1 - 67 scénarios :

- 2 à 0 fuite
- 45 à 1 fuite
- 15 à 2 fuites
- 5 à 3 fuites



Système 2 - 32 scénarios :

- 2 à 0 fuite
- 15 à 1 fuite
- 10 à 2 fuites
- 5 à 3 fuites



IV - Méthodologie

2. Exploitation des bases de données – Sujets Humains

Participant 35

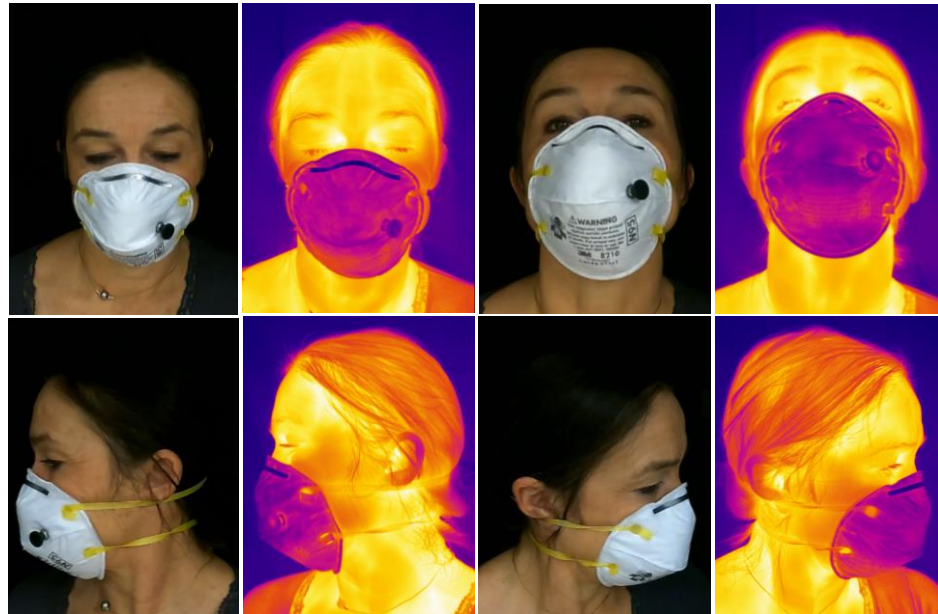
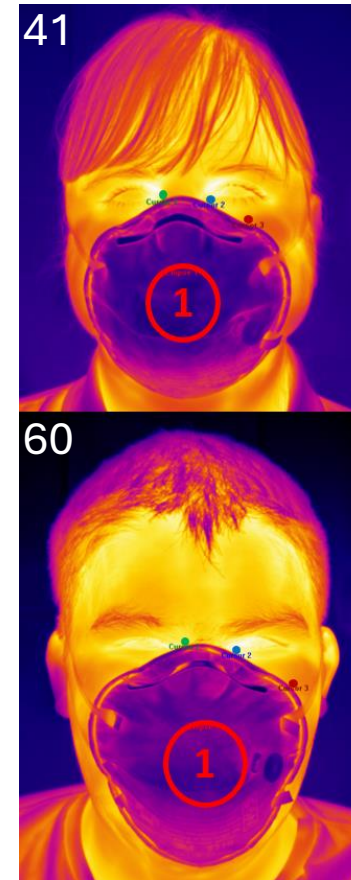


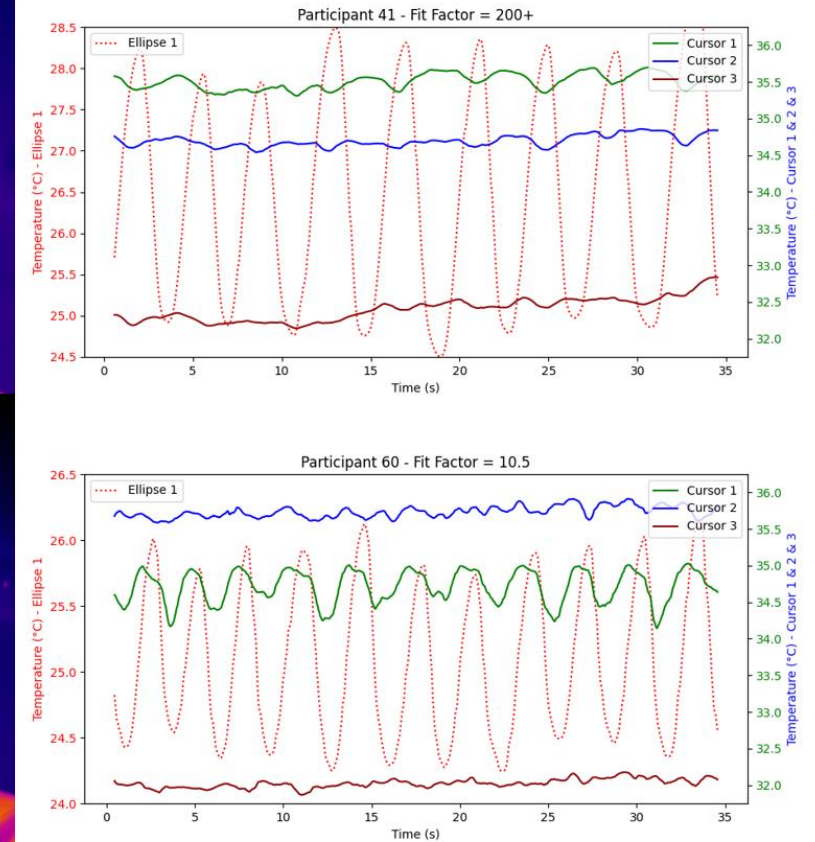
Figure 8 : Différentes positions prises par les participants
Fuite(s) non-contrôlée(s) - Facteur d'ajustement = 110

Participants	Masques N95	Vidéos	Données
62	4 testés par participant	Calibrées	≈500 fit tests réalisés
36 femmes	7 testés en totalité	Synchronisées	+1000 vidéos RGB
26 hommes	3 constructeurs :	Durée : 35 sec	+1000 vidéos IR
26 jours de collecte	3M / Moldex / HoneyWell	RGB : 1920*1080 IR : 1280*1024	>85% de fiabilité Poids : 8To

Tableau 2 : Chiffres sur la base de données avec les sujets humains



Participant Number	N95 Type	Fit Factor	Leak Feeling
60	8210	10.5	Left Nose
41	8210	200+	No Feeling



- Cette base de données sera mise à la disposition de la communauté scientifique grâce à la publication d'un article dans **une revue spécialisée**, et la mise en ligne d'un **site web** dédié : saferespirator.uqar.ca

IV – Méthode de détection complète en développement

1. Division du **joint facial** en N Regions Of Interest (ROI), par exemple N = 100 (Fig. 9).
2. Traitement du signal **Température** sur chaque ROI (lissage du signal + filtration de fréquences précises).
3. Extraction du ΔT ($\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$) pour **chaque ROI**.
4. Traçage du graphique ΔT en fonction des **ROIs**. Ce graphique donnera **la position, la largeur et l'intensité des fuites(s)**.

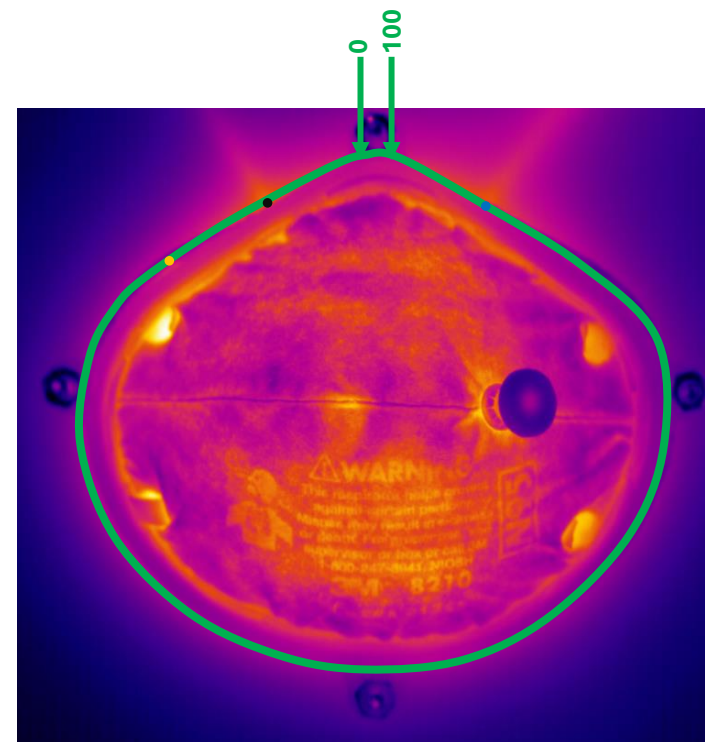
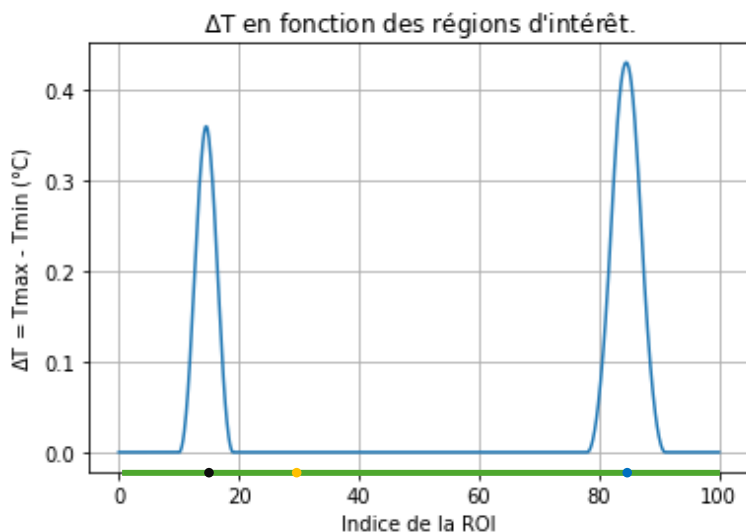


Figure 9 : Contour du joint facial

IV – Conclusion / Suite du projet

- ✓ **Trois bases de données complètes créées** (données IR, RGB et QNFT) sur les trois systèmes présentés.
- ✓ Une méthode de détection complète pour localiser et quantifier les fuites sur un masque N95.
- Valider cette méthode de **détection complète** sur le système 1 (*plan*) + validation par modélisation multiphysiques (*partie de Barthélemy*).
- Tester cette méthode sur les 2 autres systèmes (*mannequin et sujet humains*), en y ajoutant la complexité de ces derniers :
 - Nombre de vues pour capturer le joint facial en entier égal à 4
 - Les mouvements des sujets humains
 - La géométrie d'un visage humain
- Automatiser cette méthode par **intelligence artificielle** (*partie de Mohamed*).
- Intégration de cette méthode à une **station d'analyse portable**. Cette station devra être développée pour rendre la prise de vidéos **RGB et IR rapide et automatique**. Elle devra également rendre possible l'installation d'autres modèles de caméras infrarouge, dans le but de tester cette méthode de détection avec des caméras de **moins bonnes qualités et moins chères**.
- Tester cette station d'analyse portable sur **le terrain** : hôpitaux, laboratoires...

Merci de votre
attention !



IV – Bibliographie

1. A. Regli, A. Sommerfield, and B. von Ungern-Sternberg, “The role of fit testing n95/ffp2/ffp3 masks: a narrative review,” *Anaesthesia*, vol. 76,no. 1, pp. 91–100, 2021.
2. Y. J. Huh, H. M. Jeong, J. Lim, H. Y. Park, M. Y. Kim, H. S. Oh, and K. Huh, “Fit characteristics of n95 filtering facepiece respirators and the accuracy of the user seal check among koreans,” *infection control & hospital epidemiology*, vol. 39, no. 1, pp. 104–107, 2018.
3. J. Kerl, M. Wenzel, and D. Köhler, “Thermal imaging of mask leakage during pressure-controlled ventilation (bipap therapy),” *Somnologie*, vol. 8, no. 3, pp. 83–86, 2004.
4. R. J. Roberge, W. D. Monaghan, A. J. Palmiero, R. Shaffer, and M. S.Bergman, “Infrared imaging for leak detection of n95 filtering facepiece respirators: a pilot study,” *American journal of industrial medicine*, vol. 54, no. 8, pp. 628–636, 2011.
5. J. B. Dowdall, I. T. Pavlidis, and J. Levine, “Thermal image analysis for detecting facemask leakage,” in *Thermosense XXVII*, vol. 5782. SPIE, 2005, pp. 46–53
6. P. Harber, J. Su, A. D. Badilla, R. Rahimian, and K. R. Lansey, “Potential role of infrared imaging for detecting facial seal leaks in filtering facepiece respirator users,” *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 12, no. 6, pp. 369–375, 2015
7. “1910.134 App A - Fit Testing Procedures (Mandatory). | Occupational Safety and Health Administration.” [Online]. Available: [1910.134 App A - Fit Testing Procedures \(Mandatory\).](https://www.osha-slc.gov/1910.134-App-A-Fit-Testing-Procedures-Mandatory) | [Occupational Safety and Health Administration \(osha.gov\)](https://www.osha-slc.gov/1910.134-App-A-Fit-Testing-Procedures-Mandatory)
8. M. Jurion, “H7g6.fr, le site des concepteurs.” [Online]. Available: <https://www.h7g6.fr/data/article/79/les-plastiques-techniques>
9. Bilans-Thermiques.fr, «Conductivité et résistance thermique des matériaux isolants» [Online]. Available : [Conductivité et résistance thermique des matériaux isolants \(bilans-thermiques.fr\)](https://bilans-thermiques.fr)
10. P. J. Rodriguez de Rivera, M. Rodriguez de Rivera, F. Socorro, J. A.Calbet, and M. Rodriguez de Rivera, “Advantages of in vivo measurement of human skin thermal conductance using a calorimetric sensor,”*Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 147, no. 18, pp.10 027–10 036, 2022.