

Problématique

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 usager avant l'utilisation d'un masque, celui-ci présente une faible fiabilité [1].
- Un grand nombre d'utilisateurs **ne font pas** cette vérification de manière adéquate (près de 50%). [2]
- Les méthodes actuelles pour la détection de fuites sont limitées : pas de localisation, ni de quantification, ni de visualisation et ni d'automatisation.

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

- Elle repose sur la visualisation **des variations de température** autour du joint facial [3], celle-ci a déjà montré sa capacité à localiser des fuites [4],[5].
- **Aucune étude** n'a démontré sa capacité à **localiser et quantifier automatiquement** une fuite sur les masques de type N95.

Objectifs

- ✓ Concevoir des **bancs d'essai** pour l'étude précise de fuites calibrées en environnement contrôlé et non contrôlé.
- ✓ Créer des **bases de données** complètes (données : Infrarouge **IR**, Red-Green-Blue **RGB** et Tests d'ajustement quantitatif **QNFT**) de plusieurs scénarios de fuite(s) sur un masque N95.
- ✓ Développer une **méthode** pour localiser et quantifier les fuites sur un masque N95, puis rendre cette **détection automatique** par **intelligence artificielle**.
- ✓ Concevoir **une station d'analyse portable** intégrant cette méthode de détection complète des fuites d'un masque N95 puis la tester sur le terrain.

Méthodologie

Trois systèmes ont été étudiés (Fig. 1), leur matériau a été sélectionné en fonction de leur conductivité thermique (λ), proche de $\lambda_{peau humaine}$:

1. **Le Plan**, en PEHD : $\lambda = 0.4-0.43 \text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$
2. **Le Mannequin**, en caoutchouc vulcanisé : $\lambda = 0.36-0.4 \text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$
3. **Le Sujet Humain**, peau humaine : $\lambda = 0.4-0.45 \text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$

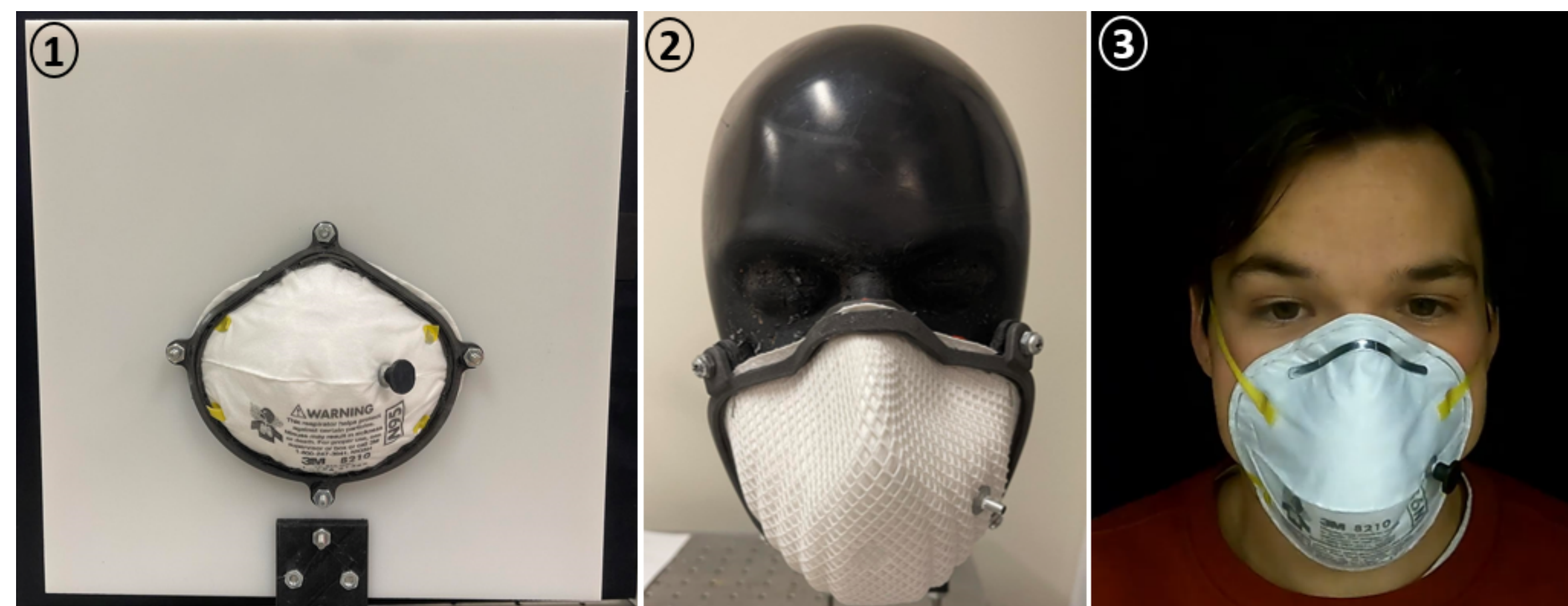


FIGURE 1 – Les trois systèmes étudiés

Chaque système permet **une étude approfondie** et **une meilleure compréhension des fuites** sur un masque N95 à un niveau de complexité d'étude graduelle (Table 1).

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

Support financier : **MITACS (IT37899)** et **IRSST (2022-0008)**

Modélisation et Conception

Pour l'étude de ces **trois systèmes**, il est impératif de mettre en place un banc d'essai pour chaque système, certains dispositifs (Table 2) nécessitent donc d'être conçus.

Système	Respiration Humaine	Dispositif pour le contrôle des fuites	Système d'imagerie
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓

Le dispositif reproduisant le plus fidèlement **la respiration humaine** a été conçu à l'aide du **Simulateur Respiratoire ASL 5000®** et d'**une chambre chauffante** (Fig. 2).

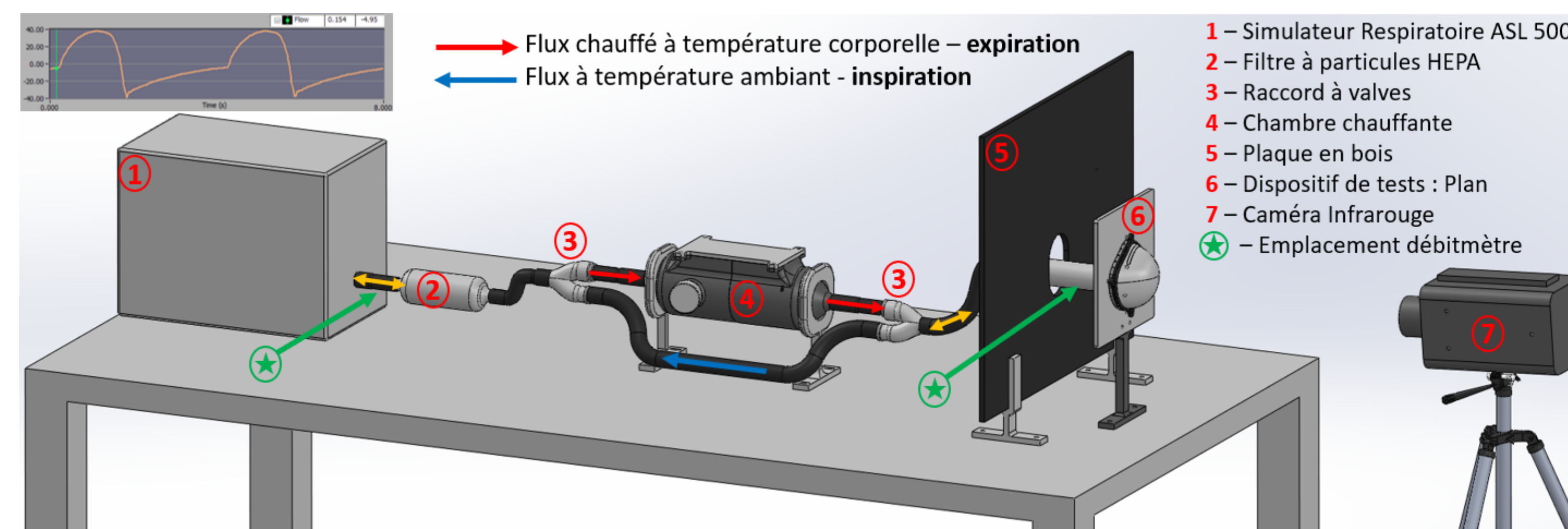


FIGURE 2 – Dispositif pour reproduire la respiration humaine

Les dispositifs (Fig. 3), conçus pour les systèmes (1) et (2), permettent un contrôle total des fuites : nombre, emplacement et taille.

Cette figure présente également **le système d'imagerie** utilisé avec les sujets humains pour l'enregistrement des vidéos IR et RGB.

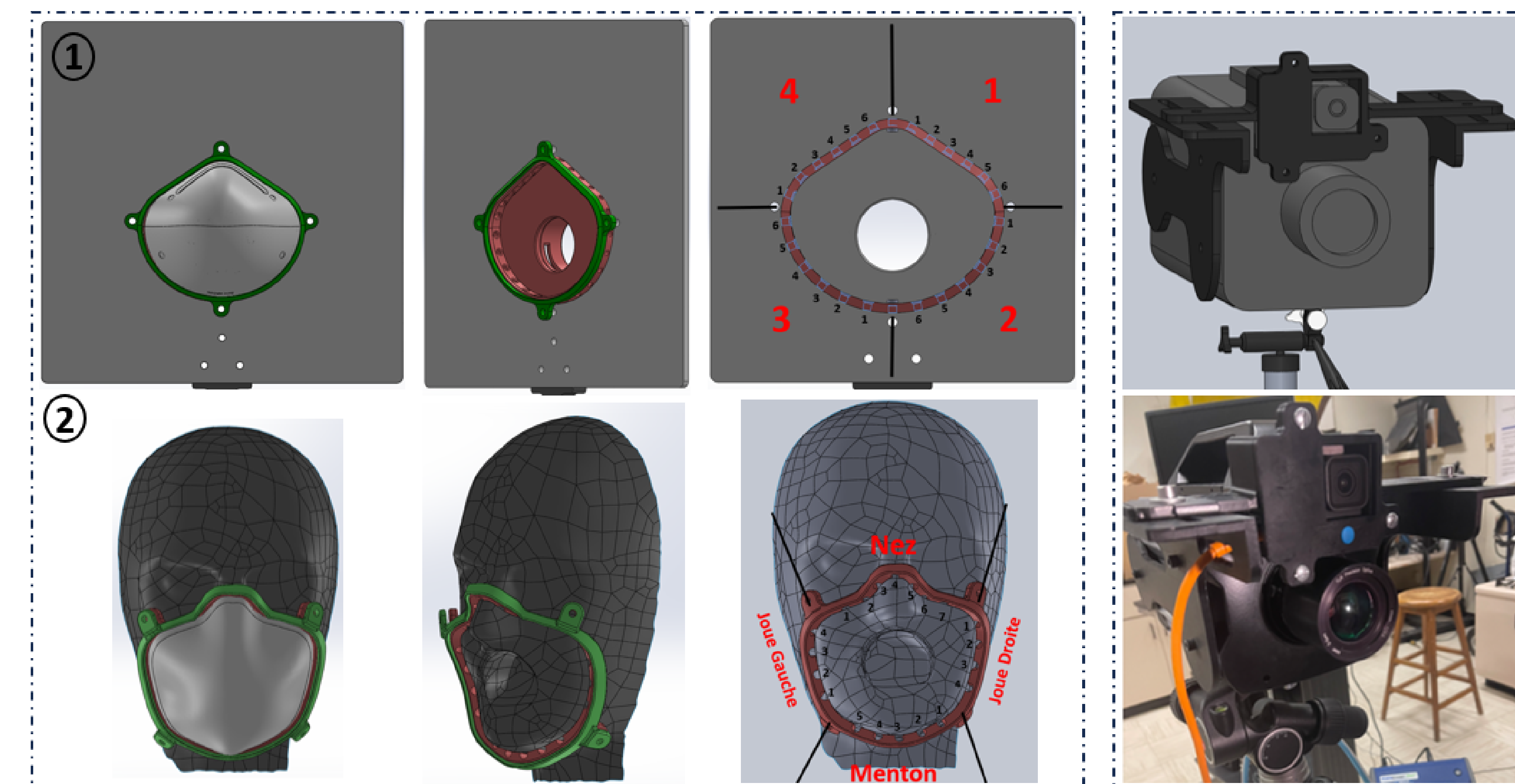


FIGURE 3 – Dispositifs pour le contrôle des fuites / Système d'imagerie

Validation

Les **bancs d'essai** pour les systèmes (1) et (2) ont nécessité des tests de validation selon trois aspects :

- ✓ **Débit respiratoire**, testé avec deux débitmètres (*) - Fig. 2
- ✓ **Température respiratoire**, testée avec une caméra IR - Fig. 4
- ✓ **Nombre de particules générées**, testé avec le compteur de particules : **PortaCount®**

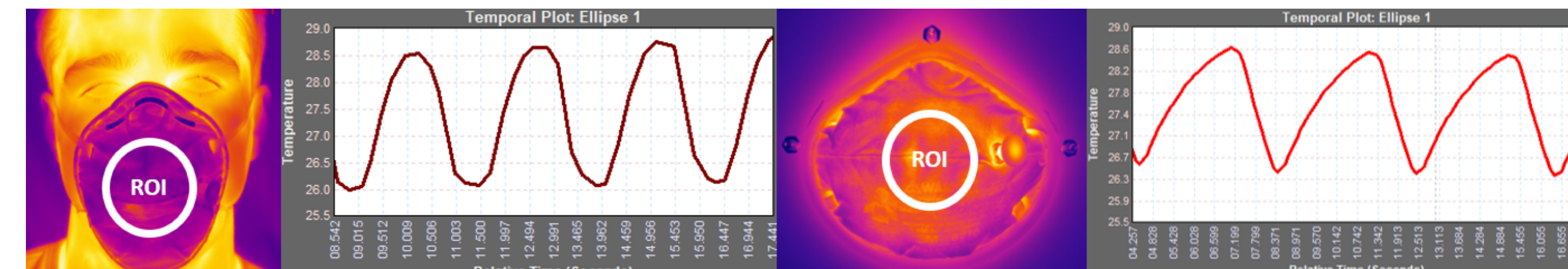


FIGURE 4 – Validation de l'aspect température respiratoire. ROI = Region Of Interest

Résultats

Chaque scénario des trois bases de données (Fig. 5) comprend un **facteur d'ajustement** permettant de quantifier les fuites, obtenu avec le **PortaCount®**, ainsi que **les détails** des fuites contrôlées.

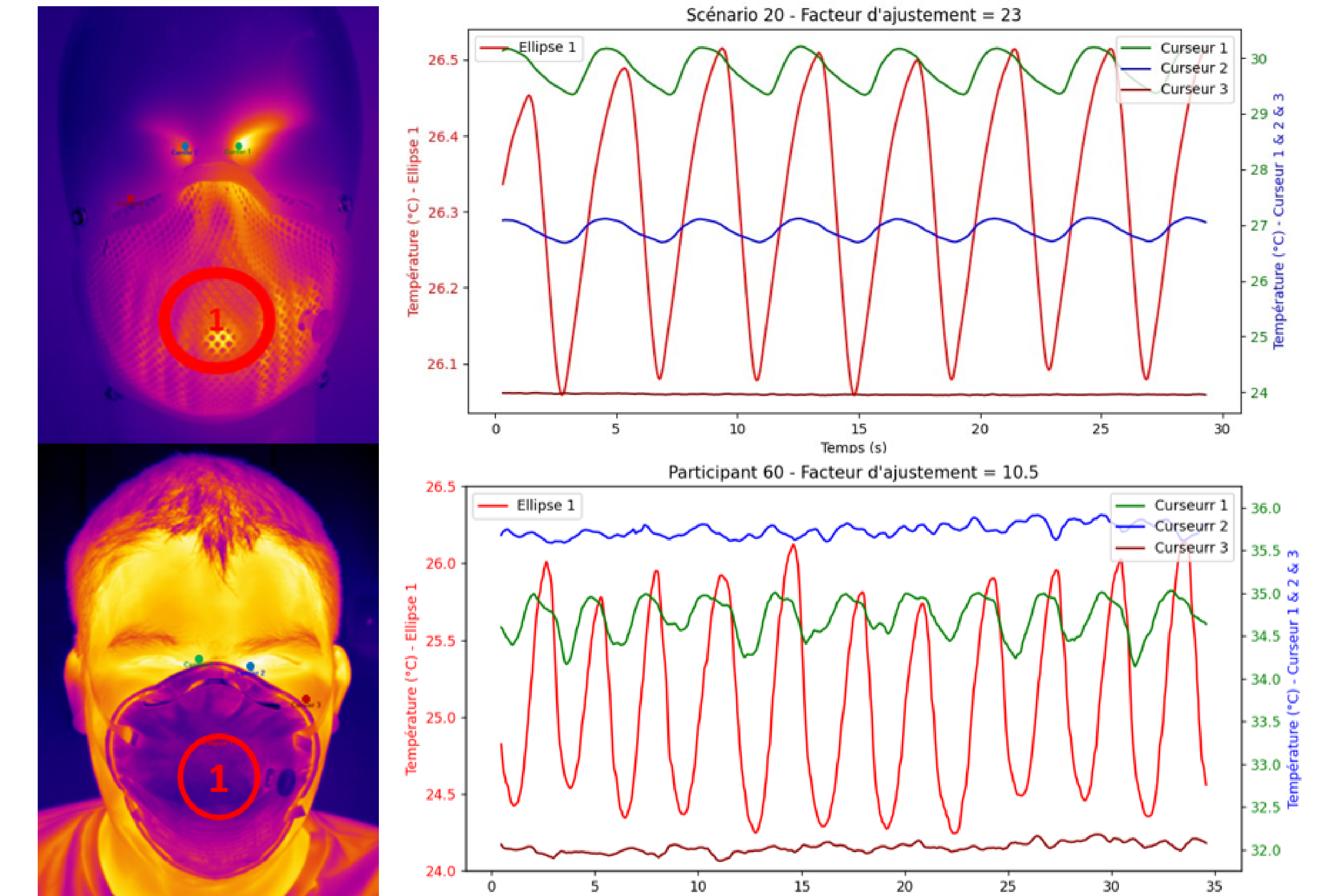


FIGURE 5 – Suivi des températures sur un échantillon des bases de données

- **L'Ellipse 1 Rouge** permet le suivi de la température moyenne sur la **région du masque**, elle permet de connaître **la fréquence respiratoire** de chaque participant.
- Chaque **Curseur** (3px*3px) permet le suivi de la température sur **1 ROI** autour du joint facial, un ΔT non nul indique **la présence d'une fuite** et plus le ΔT est important, plus **la fuite l'est**.

Conclusion

- ✓ Trois bases de données complètes créées :
- La base de données sur les sujets humains (Table 3) sera mise à la disposition de la **communauté scientifique** grâce à la publication d'un **article dans une revue spécialisée**, et d'un **site web dédié**.

TABLE 3 – Quelques chiffres sur la base de données avec les sujets humains

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

- ✓ Une méthode de détection complète en développement :
 1. Division du **joint facial** en N Regions Of Interest (ROI).
 2. Traitement du signal **Température** sur chaque ROI (lissage du signal + filtration de fréquences précises), et extraction du ΔT ($\Delta T = T_{max} - T_{min}$) pour chaque ROI.
 3. Traçage du graphique ΔT **en fonction des ROIs**, ce graphique donnera **la position et la largeur** des fuite(s).
- **Automatisation** de cette méthode par **intelligence artificielle**.
- Intégration de cette méthode dans **une station d'analyse portable**, qui sera testée sur le terrain (**hôpitaux, laboratoires...**).

Références

- [1] A Regli, A Sommerfeld, and BS von Ungern-Sternberg. The role of fit testing n95/ffp2/ffp3 masks : a narrative review. *Anaesthesia*, 76(1) :91-100, 2021.
- [2] Yu Jung Huh, Hye Min Jeong, Juhye Lim, Ha Yan Park, Min Young Kim, Hong Sang Oh, and Kyungmin Huh. Fit characteristics of n95 filtering facepiece respirators and the accuracy of the user seal check among koreans. *Infection control & hospital epidemiology*, 39(1) :104-107, 2018.
- [3] Jens Kerl, Markus Wenzel, and Dieter Köhler. Thermal imaging of mask leakage during pressure-controlled ventilation (bipap therapy). *Somnologie*, 8(3) :83-86, 2004.
- [4] Raymond J Roberge, William D Monaghan, Andrew J Palmiero, Ronald Shaffer, and Michael S Bergman. Infrared imaging for leak detection of n95 filtering facepiece respirators : a pilot study. *American journal of industrial medicine*, 54(8) :628-636, 2011.
- [5] Jonathan B Dowdall, Ioannis T Pavlidis, and James Levine. Thermal image analysis for detecting facemask leakage. In *Thermosense XXVII*, volume 5782, pages 46-53. SPIE, 2005.