

Symposium pour l'électronique & le numérique durables

Le 12 décembre 2024, Grenoble

EN PARTENARIAT AVEC

tech&fest

Vers l'Opérationnalisation de la santé digitale durable

Towards the Operationalization of Sustainable Digital Health

Étude simplifiée et approximative de l'impact et
des bénéfices globaux de la santé connectée

Ernesto Quisbert-Trujillo¹ & Nicolas Vuillerme^{1,2}

1 AGEIS, Université Grenoble Alpes, 38000 Grenoble, France

2 Institut Universitaire de France, 75005 Paris, France

AGEIS

UNIVERSITÉ
Grenoble
Alpes

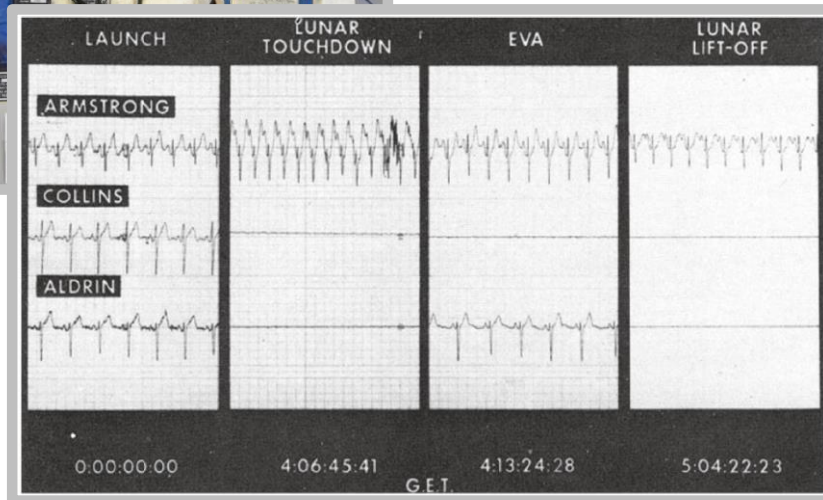


La Santé Digitale comporte de bénéfices et périls pour l'homme et la nature

- La technologie est cruciale pour surmonter les défis majeurs en médecine



Harnais d'instrumentation médicale Apollo avant traitement de conservation [1]



Signal électrocardiographique reçu au Centre de Contrôle de Mission pendant différentes périodes de la mission Apollo 11 (NASA)[2]

- Cependant, l'essor sans contrôle des technologies médicales peut



Changer profondément notre société et...

... Affecter négativement notre environnement



Stratégie mondiale sur la santé numérique 2020-2025



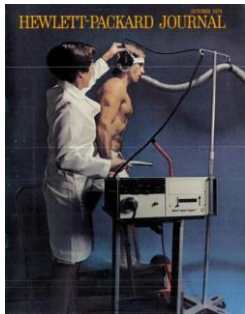
« ... La vision de la stratégie mondiale est d'améliorer la santé pour tous, partout, en accélérant le développement et l'adoption de solutions de santé numérique centrées sur la personne, **appropriées, accessibles, abordables, évolutives et durables**, afin de prévenir, détecter et répondre aux épidémies et pandémies, en développant des infrastructures et des applications permettant aux pays **d'utiliser les données de santé pour promouvoir la santé et le bien-être...** » [3]

Evaluation des Technologies de Santé (Health Technology Assessment)

- **HTA** est un cadre d'évaluation **utilisé pour les autorités sanitaires** pour accepter ou refuser l'introduction d'une **nouvelle technologie** dans nos systèmes de santé
- **HTA** évalue les implications positives et négatives d'une technologie en santé **selon des critères concrets**
 - **Médicales** tels que l'efficacité clinique et sécurité
 - **Sociales** tels que l'équité d'accès et acceptabilité
 - **Économiques** tel que l'efficience
 - **Organisationnelles** tels que l'impact sur les infrastructures et les processus
 - **Éthiques** tels que le respect de la justice et de l'autonomie.
 - Etc.

Evaluation de la durable des Technologies de Santé (Health Technology Sustainability Assessment)

- **L'intégration de l'évaluation écologique des technologies pour la santé dans le cadre HTA fait l'objet de discussions et de débat autour de...**



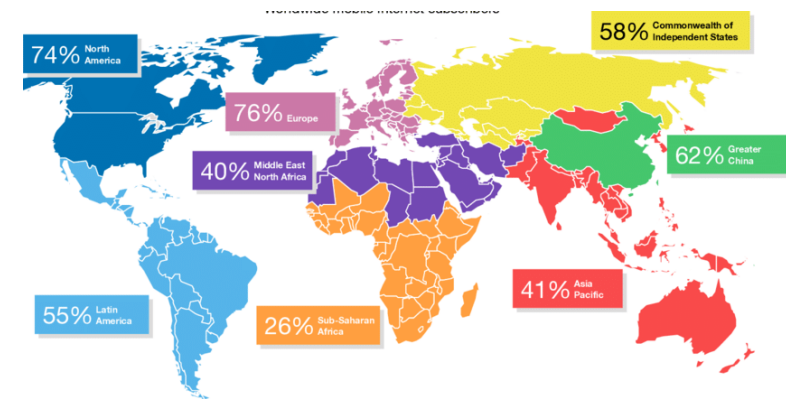
Oxymètre HP
47201A (1980)



BLE Oxymètre Masimo
MightySat (2015)

**L'évolution
rapide de la
technologie**

**Les barrières
éthiques et
dilemmes
fonctionnels**

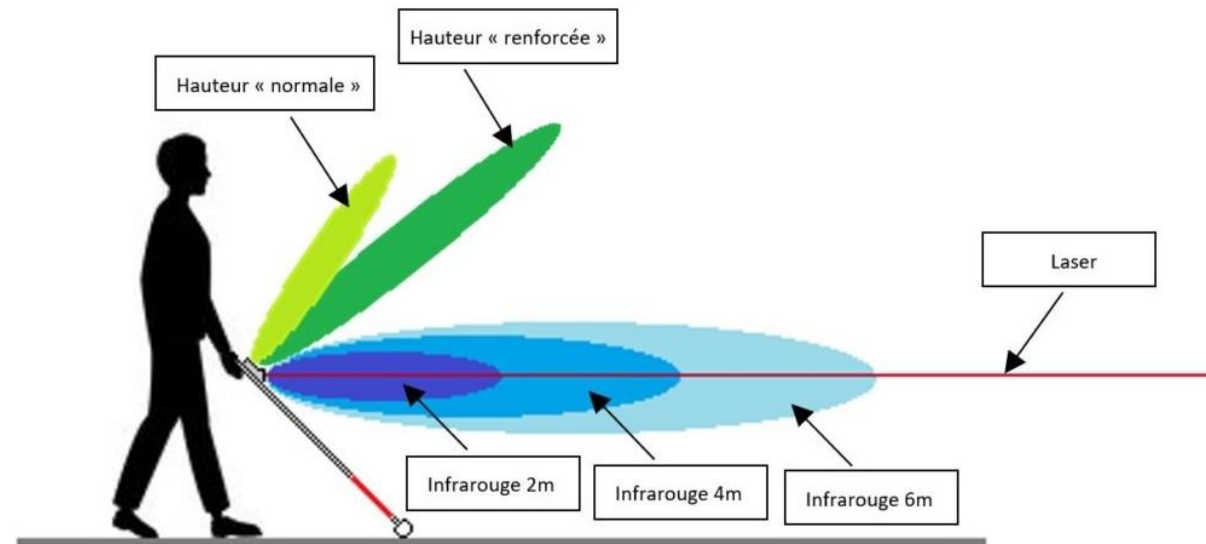


Abonnés mondiaux à l'Internet mobile [4]

**Limites méthodologiques dans l'estimation
objective des impact et bénéfices**

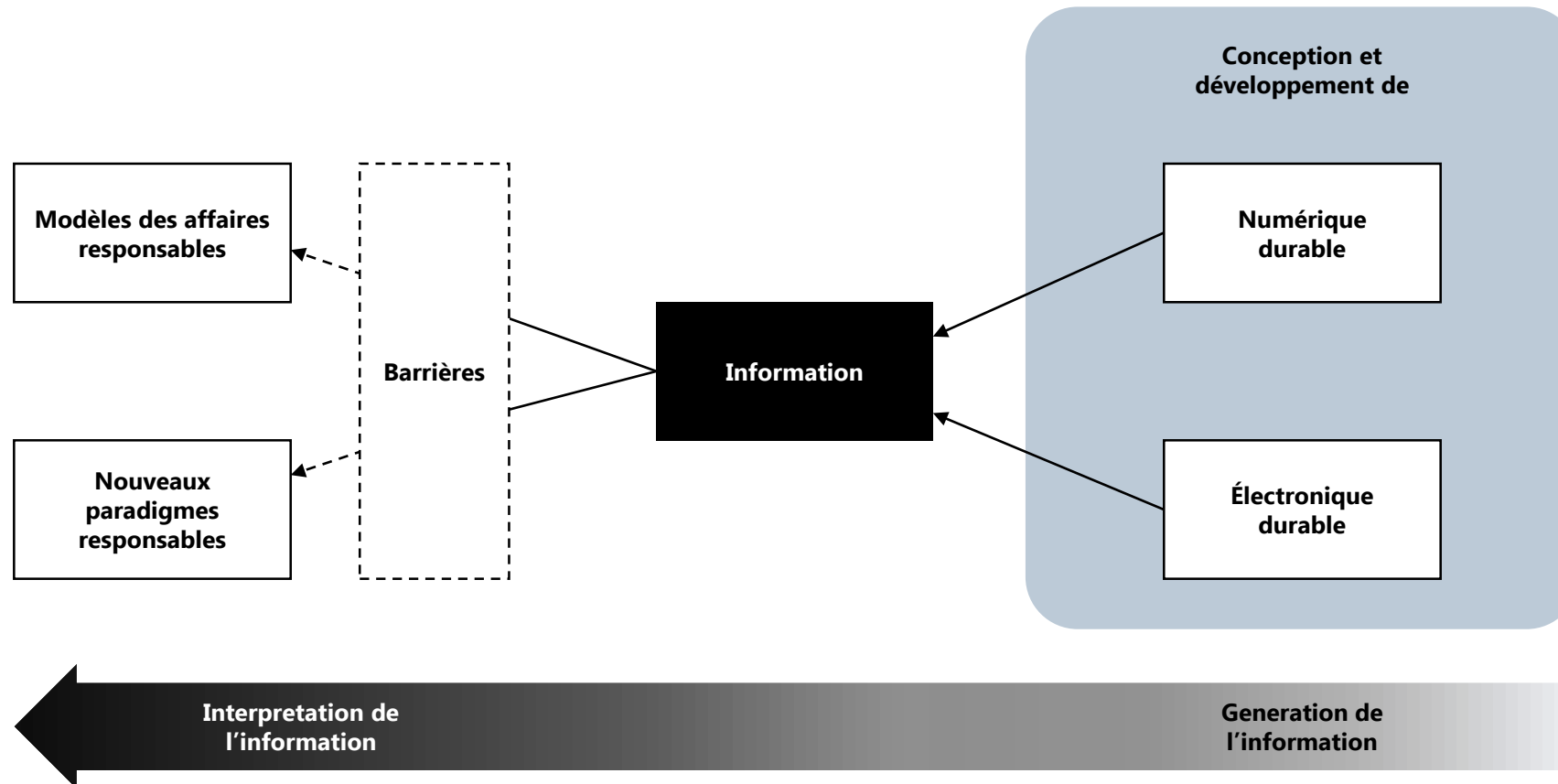
Technologies « Smart » pour la Santé Digitale

- La santé digitale intègre des technologies de l'**Information** et de la **Communication** (TIC) avancées dans les systèmes de santé pour améliorer **leur efficacité**

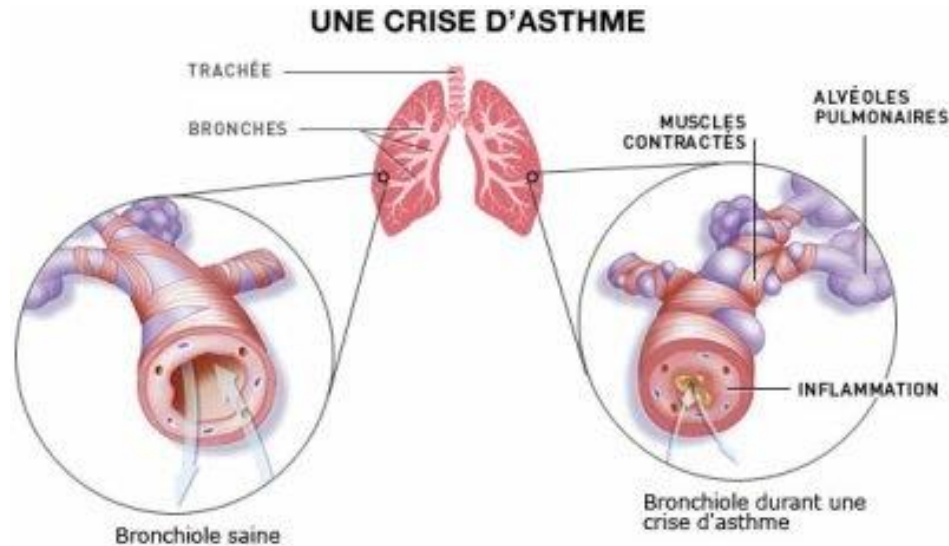


- L'information permet une prise de décision éclairée, une gestion optimale des ressources et des soins de qualité à travers des systèmes avancés de **surveillance en temps réel**

Une approche **pragmatique** basé sur l'**Information** pour l'**évaluation** et la **conception durable** de la **Santé Digitale**

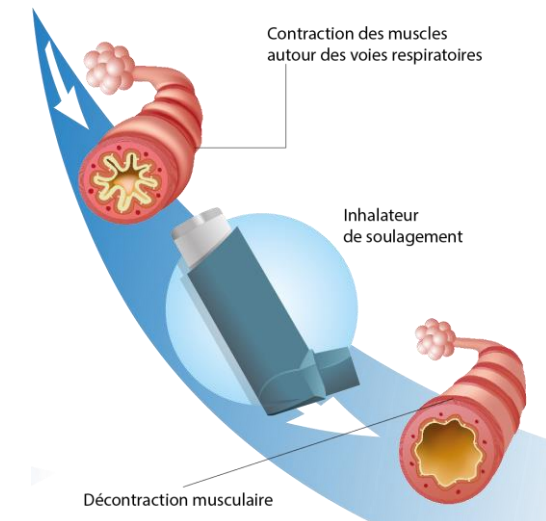
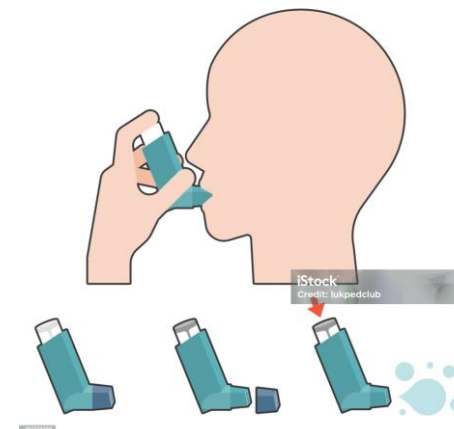


Case d'usage



Contexte: L'asthme est une maladie chronique des voies respiratoires causant une inflammation et un rétrécissement réversible, maîtrisable par un traitement adapté.

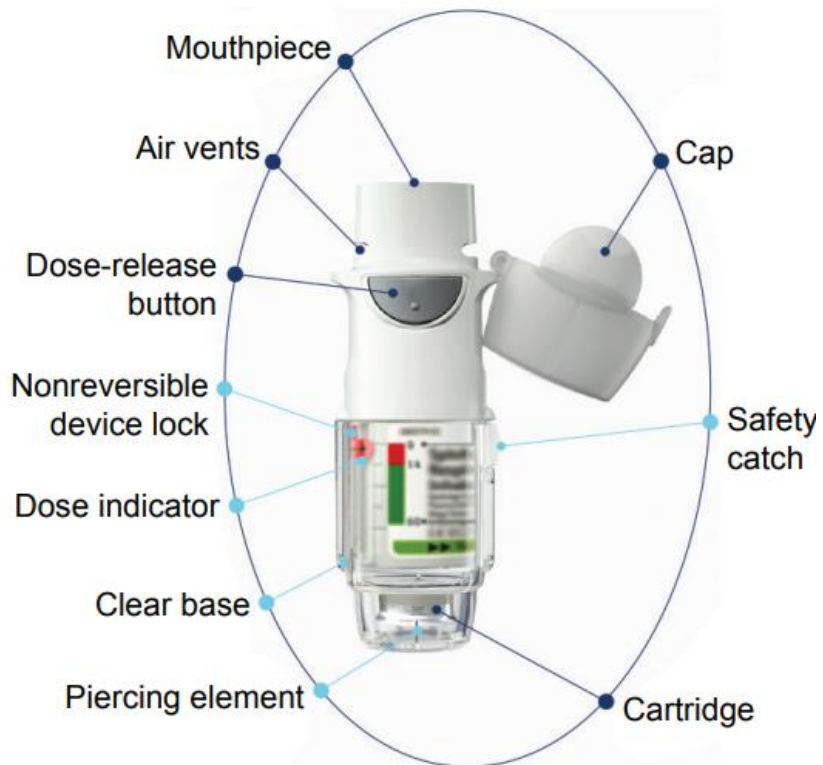
Inhalateurs: Les inhalateurs délivrent des bronchodilatateurs ou des corticostéroïdes, réduisant l'inflammation et relaxant les bronches pour améliorer rapidement la respiration.



Dispositif de référence [5]

Respimat

- Respimat™ est un inhalateur conçu pour traiter l'asthme et la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO)



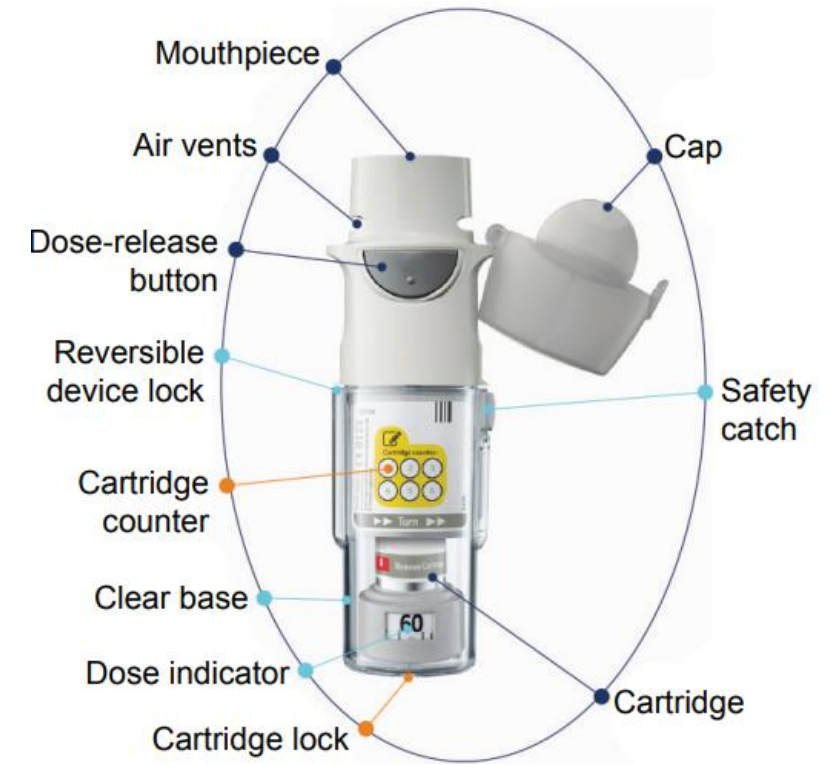
Respimat réutilisable

- Respimat réutilisable™ comprend un mécanisme de verrouillage réversible qui permet sa réutilisation

● Inchangé

● Changé

● Nouveau



HTA de référence [6]

Antécédents: Echantillon de 365000 patients

Méthode

- **Modèle d'impact budgétaire:** Il calcule le nombre annuel d'inhalateurs utilisés dans l'échantillon étudiée sur 5 ans (**dès 2019 à 2023**).
- Calcule de **Empreinte Carbone par Produit (CFP)** à partir de données réel de production et du marché
- Application du Coût Social des émissions Carbone (SCC) de **40 € / ton CO2**

Unité fonctionnelle: Production et élimination des inhalateurs jetables et réutilisables

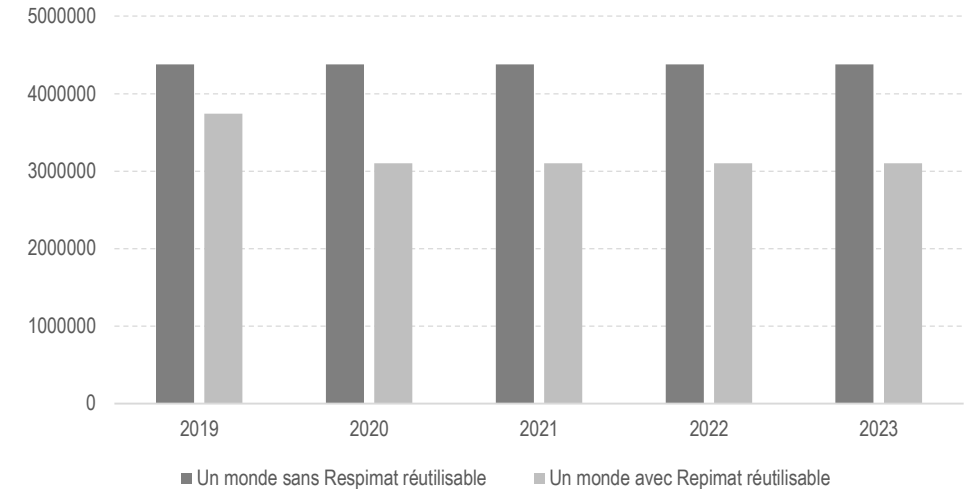
Suppositions

- En 2019, seulement 50% des patients utilisent les inhalateurs réutilisable
- À partir de 2020, tous utilisent les inhalateurs réutilisables
- Les inhalateurs réutilisables ont un CFP supérieur de 3% aux inhalateurs jetables

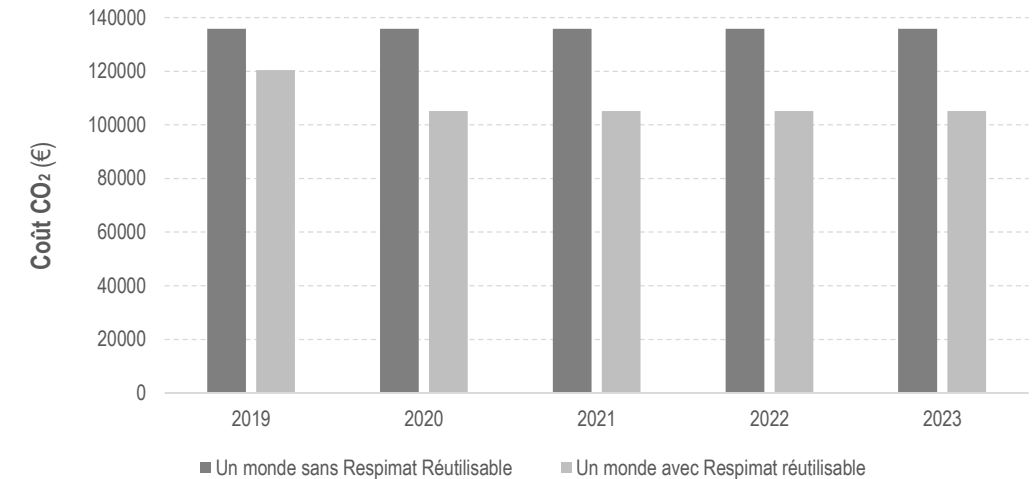
Résultats

- Plus de 5,7 millions de dispositifs inhalateurs économisés dans 5 ans
- Réduction des émissions de carbone de 3450 tonnes
- Diminution du coût sociétal des émissions de 130 000 €

Nombre des inhalateurs



Estimation de l'impact environnemental





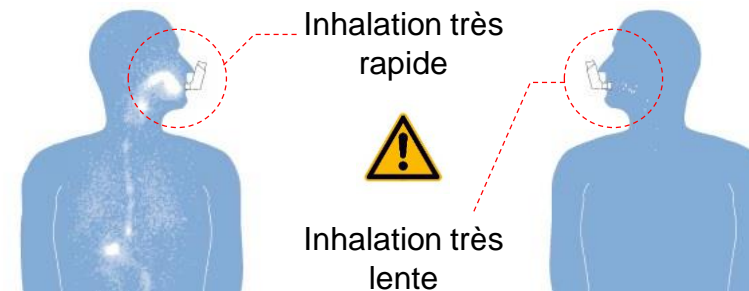
Compte tenu de la **réutilisation** de l'inhalateur Respimat, envisager son évolution vers un dispositif « **Smart** » pourrait offrir des solutions innovantes **aux défis majeurs** du traitement des maladies broncho pneumatiques, telles que **l'asthme**

Prototype « Smart » possible pour Respimat réutilisable



Le contexte: les médicaments de maintien réduisent l'inflammation chronique des voies respiratoires, prévenant ainsi les crises et **stabilisant l'asthme sur le long terme**

La problématique: Une technique d'inhalation inadéquate **limite l'efficacité de ces médicaments**, compromettant le contrôle de l'asthme et augmentant les risques de complications à long terme



La solution: surveiller et **corriger la technique d'inhalation** conformément aux **recommandations spécifiques de chaque médicament**

Dispositif Smart de référence [7]

AirPro Digihaler®



Description

- AirPro Digihaler est un inhalateur multidose numérique doté d'un module électronique intégré qui fournit aux patients et aux professionnels de santé des retours sur les paramètres d'inhalation, tels que l'utilisation, l'adhésion et la technique

Principe de fonctionnement

- Capteurs MEMS de pression
- Différentiel de pression (principe de Bernoulli)



Fonction principale: facilite l'accompagnement au patient

- Rappels d'administration de médicament
- Historique d'utilisation
- Analyse de l'utilisation

Évaluation comparative HSTA de référence

Antécédents: Echantillon 365000 patients

Méthode

- **ACV simplifié à partir de données d'Ecoinvent**
 - **Production et élimination** de la carte électronique
 - **Production** d'un batterie Lithium (CR2025)

Unité fonctionnelle: Production et élimination des inhalateurs réutilisables Smart

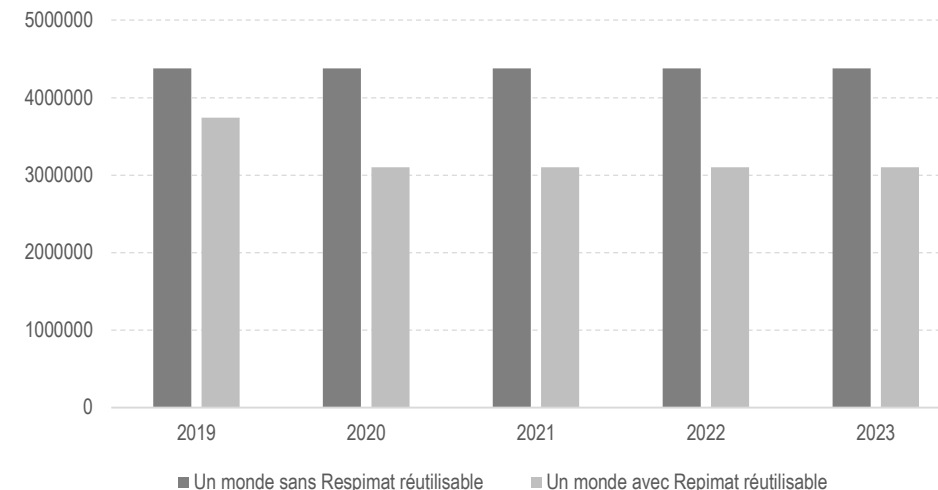
Hypothèses

- Le diamètre de la carte électronique est 2 cm
- Le poids de la carte électronique est 1,024 grs

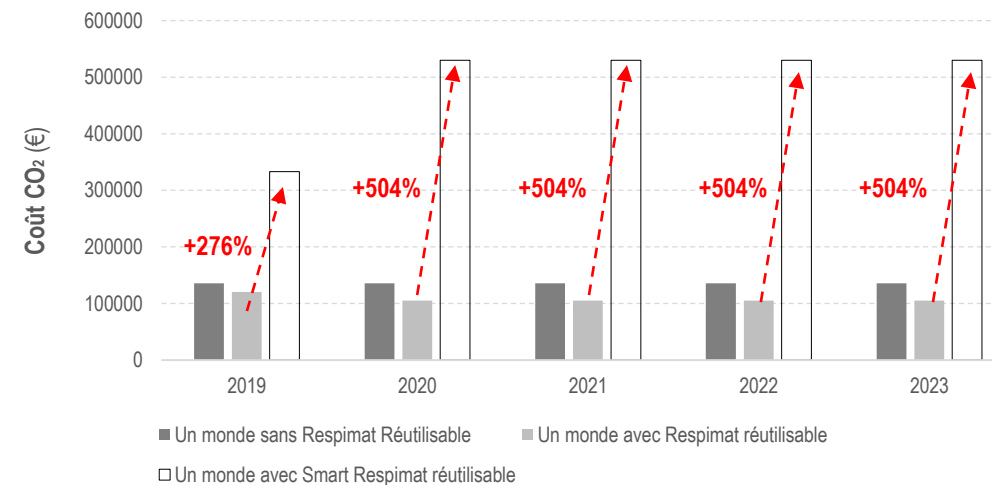
Résultats

- Une augmentation importante des émissions de carbone de plus de 5000 tonnes en 2019 et de plus de 10000 tonnes à partir de 2020
- Une augmentation importante du coût sociétal des émissions de 1911390 €

Nombre des inhalateurs



Estimation de l'impact environnemental

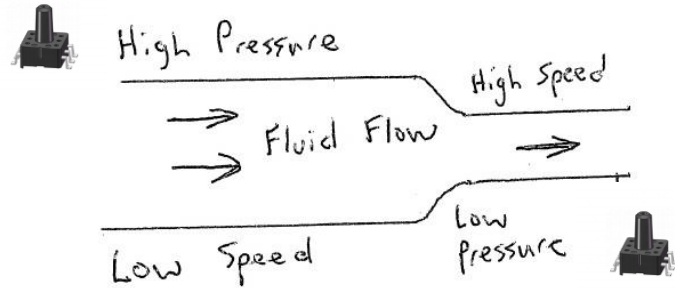


? Mais qu'en est-il **des bénéfices** ?

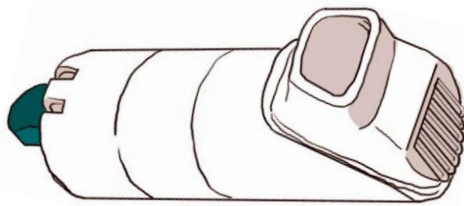
? Comment quantifier **la contribution** de Respimat Smart réutilisable à **l'amélioration de la technique d'inhalation**?

Interprétation du différentiel de pression

Capteur MEMS
de pression
($P_{initial}$)



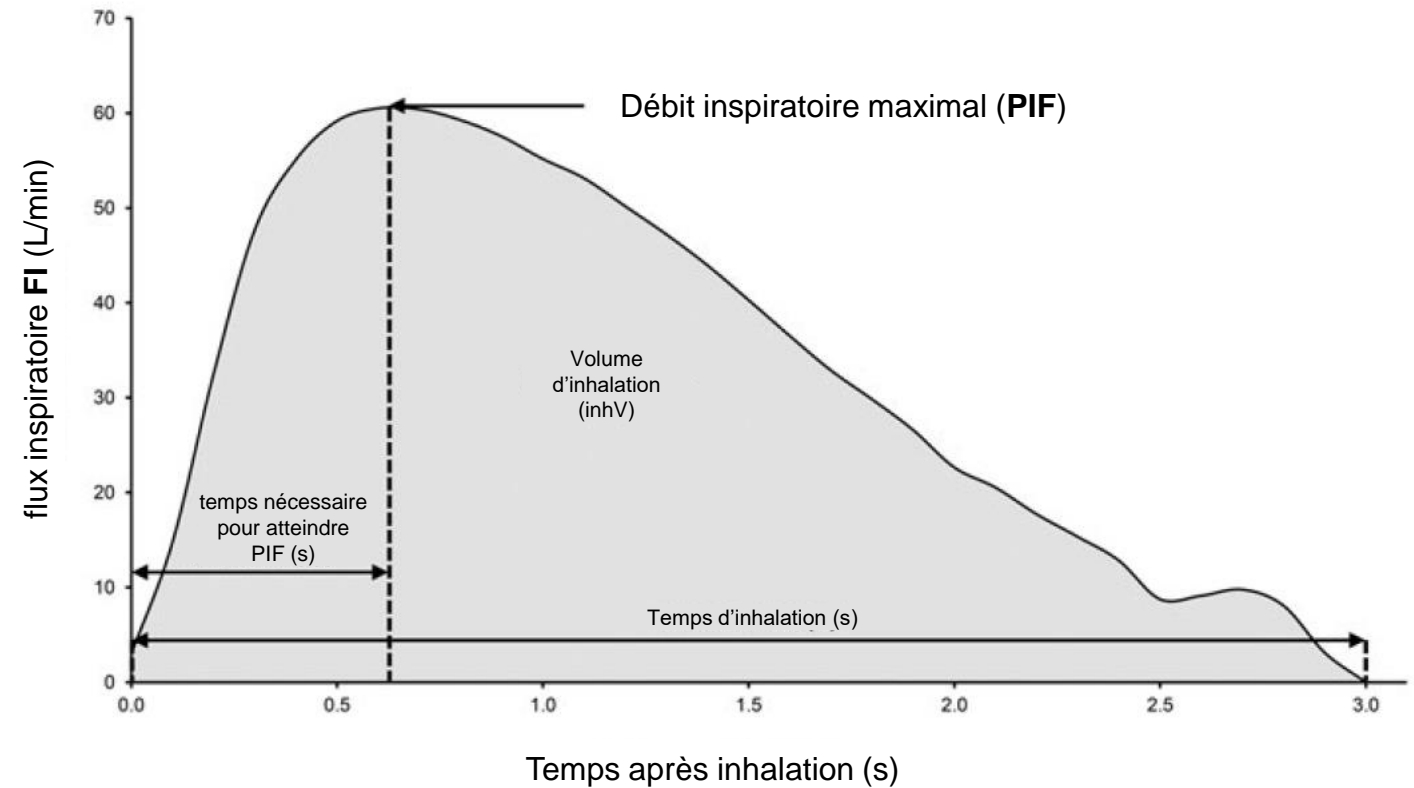
Capteur MEMS
de pression
(P_{finale})



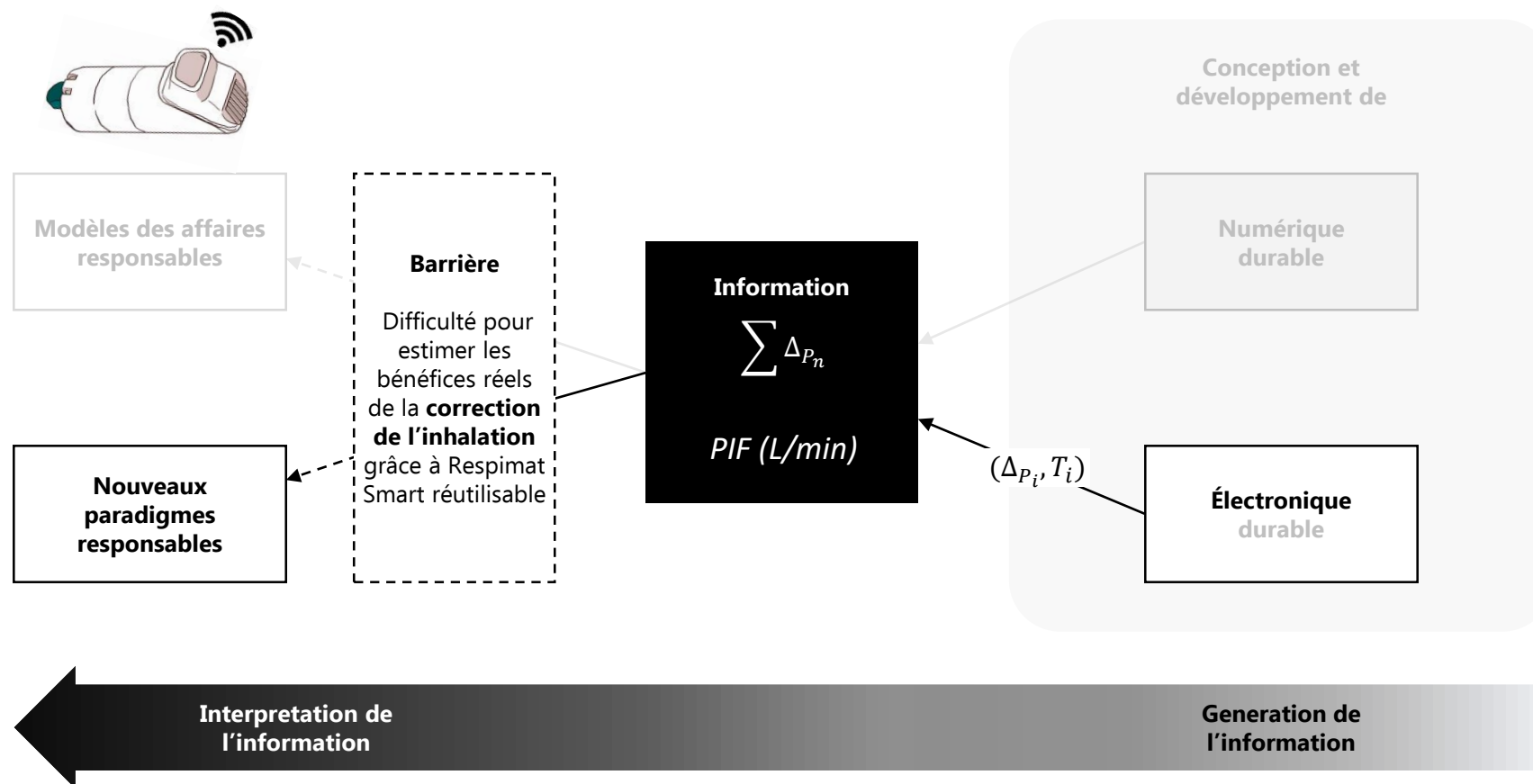
$$FI = C \cdot \sqrt{\Delta P}$$

Esquisse d'un possible prototype
RespiMat Smart réutilisable

Information actuelle générée par le
dispositif de référence (AirPro Digihaler) [8]



Estimation HSTA d'un possible prototype Respimat réutilisable



Estimation HSTA

Antécédents

- 365000 patients
- **Médicament:** Spiriva™ (PIF recommandé **4,8 L/min** pour les nourrissons et **8 L/min** pour les enfants)

Méthode: Simulation de l'apprentissage annuel d'inhalation sur la base de l'agrégation et l'évolution de la variabilité du différentiel de pression (Δ_p)

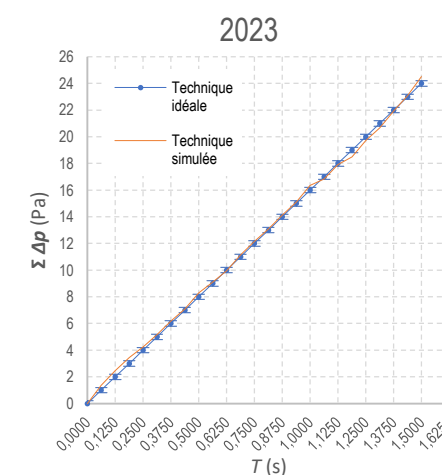
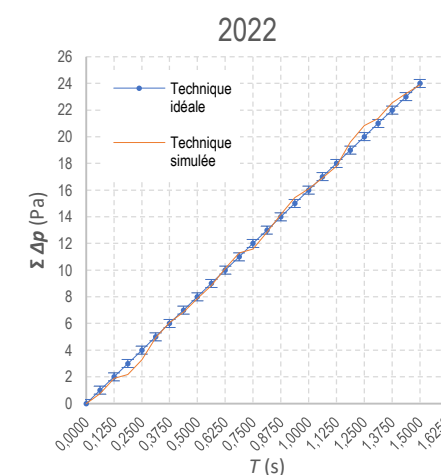
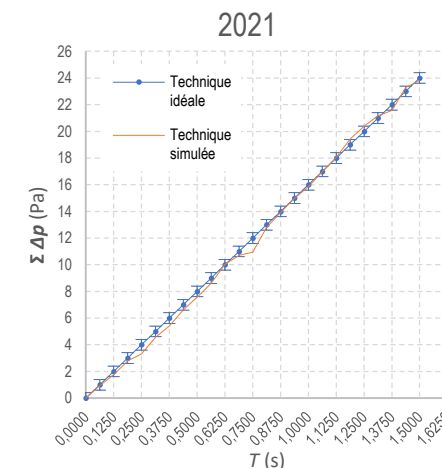
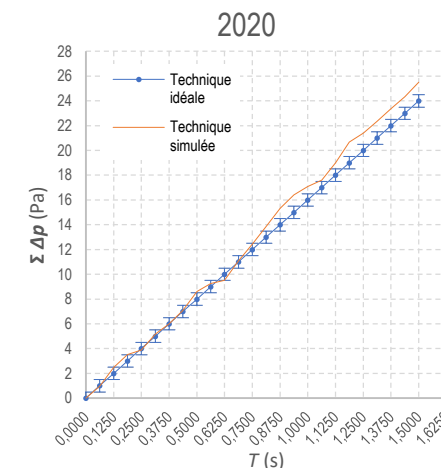
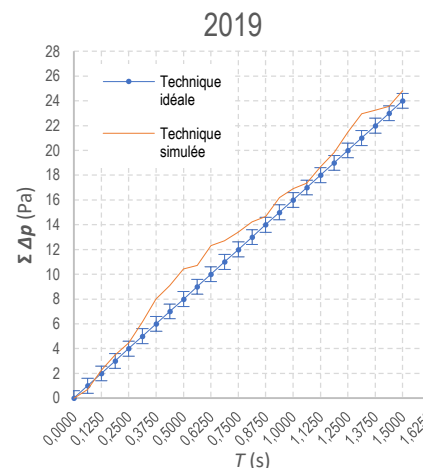
Unité fonctionnelle: Production, **utilisation** et élimination des inhalateurs

Smart réutilisables

Suppositions

- La variabilité du différentiel de pression est plus élevée chez un nourrisson, car un enfant **contrôle consciemment son flux inspiratoire**
- Si le taux d'inhalation maximal simulé **se rapproche de la valeur optimale recommandée par le fabricant du médicament**, cela indique une **amélioration de la technique d'inhalation du patient**, avec une vitesse d'inhalation moyenne se rapprochant de la valeur optimale sur un intervalle de temps donné.
- Si la technique a amélioré, **la variabilité du différentiel de pression diminue**
- **Si, au bout de 5 ans**, la technique d'inhalation s'améliore (c'est-à-dire si le différentiel de pression accumulé se rapproche de la valeur idéale permettant un PIF optimal), alors **le bénéfice d'une assimilation complète du médicament aura compensé le coût supplémentaire de la carte électronique.**

Simulation de l'apprentissage annuel d'inhalation d'un nourrisson (6 à 12 mois)



Résultats HTSA à partir de la simulation

(nourrisson entre 6 à 12 mois)

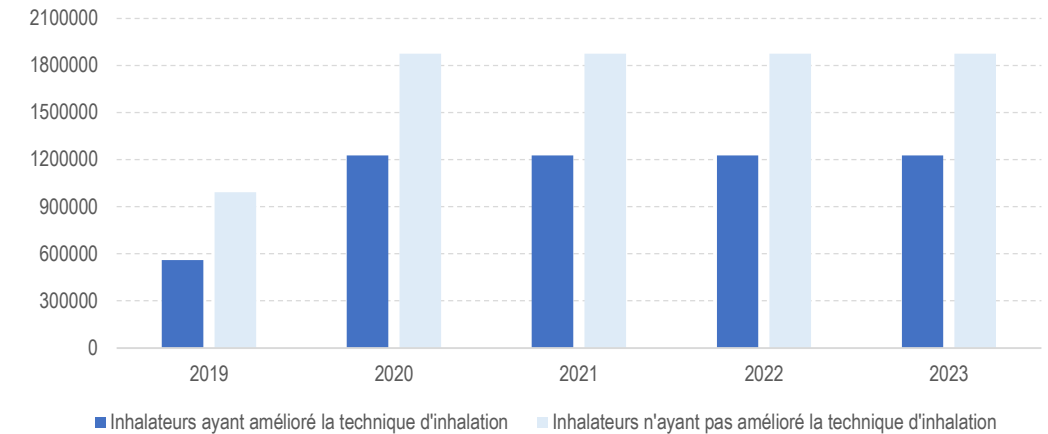
- À partir d'une faible variabilité initiale du différentiel de pression, il a été observé que :
 - 40 %** des inhalateurs Smart réutilisables ont amélioré la technique d'inhalation de nourrisson **entre 2019 et 2023**
 - 36 %** ont amélioré la technique d'inhalation **entre 2020 et 2023**

Cela signifie que:

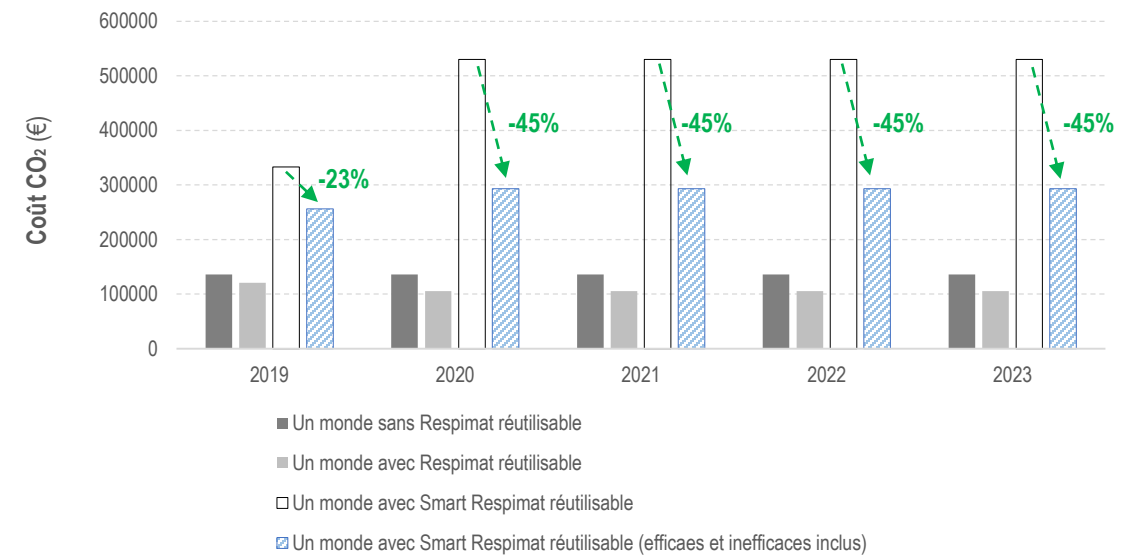
- Le SCC de seulement **559018 inhalateurs** Smart réutilisables a été compensé **depuis 2019**.
- Et celui de **1226840** depuis **2020**.
- Dans tous les cas, l'impact des inhalateurs Smart réutilisables **reste supérieur à celui des inhalateurs réutilisables**

Cependant, l'impact des premiers **en 2019 a été considérablement atténué**, car l'utilisateur a eu plus de temps pour améliorer la technique grâce à ces dispositif intelligents

Nombre des inhalateurs Smart réutilisables efficaces et inefficaces dans le coaching d'inhalation infantile (6 à 12 mois)



Analyse intégrale HSTA des inhalateurs Smart réutilisables dans le coaching d'inhalation infantile (6 à 12 mois)



Résultats HTSA à partir de la simulation

(enfant entre 2 à 5 ans)

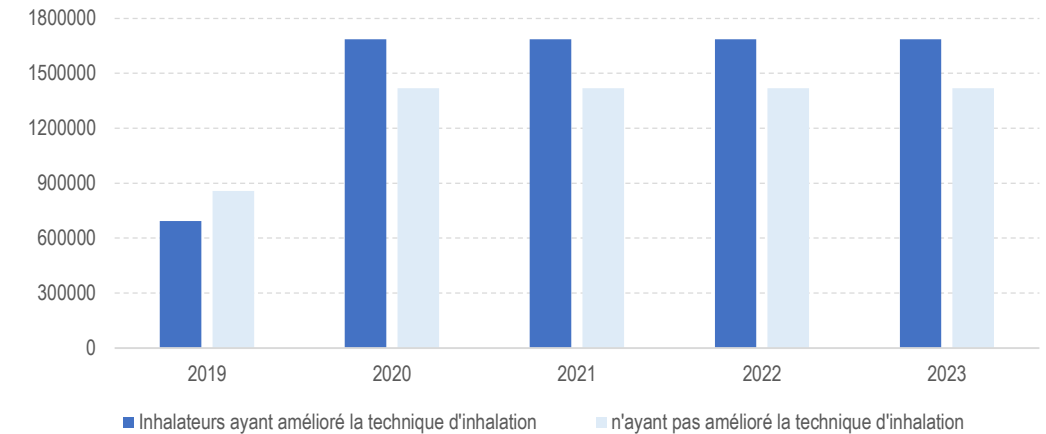
- À partir d'une faible variabilité initiale du différentiel de pression, il a été observé que :
 - 54 %** des inhalateurs Smart réutilisables ont amélioré la technique d'inhalation de nourrisson **entre 2019 et 2023**
 - 45 %** ont amélioré la technique d'inhalation **entre 2020 et 2023**

Cela signifie que:

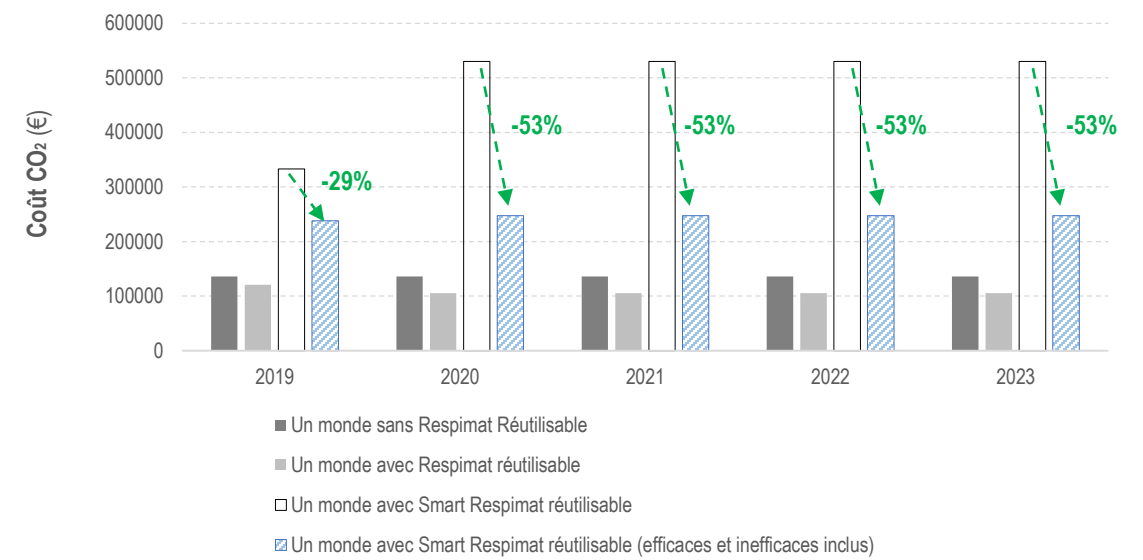
- Le SCC de seulement **693522 inhalateurs** Smart réutilisables a été compensé **depuis 2019**.
- Et celui de **1684854** depuis **2020**.
- Dans tous les cas, l'impact des inhalateurs Smart réutilisables **reste supérieur à celui des inhalateurs réutilisables**

Cependant, l'impact des premiers **en 2019 a été considérablement atténué**, car l'utilisateur a eu plus de temps pour améliorer la technique grâce à ces dispositif intelligents

Nombre des inhalateurs Smart réutilisables efficaces et inefficaces dans le coaching d'inhalation infantile (2 à 5 ans)



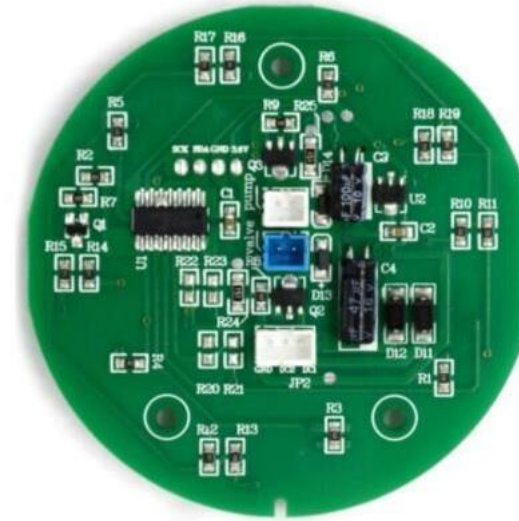
Analyse intégrale HSTA des inhalateurs Smart réutilisables dans le coaching d'inhalation infantile (2 à 5 ans)



Discussion

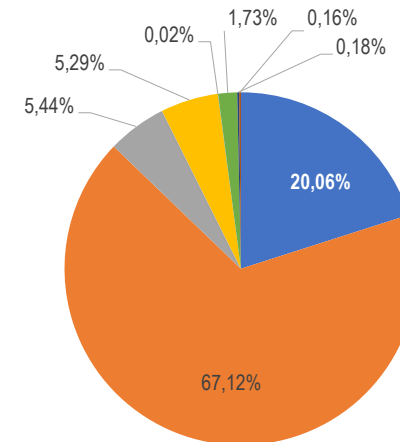
Estimation sommaire de l'impact environnemental de la carte électronique

- **3,12 kg CO₂-eq** pour la production et commercialisation d'une **carte électronique de 2 cm de diamètre**
- **295 gr CO₂-eq** pour la production d'une **batterie lithium CR2025**
- **30 mg CO₂-eq** pour l'élimination de la carte électronique de **1,024 gr**

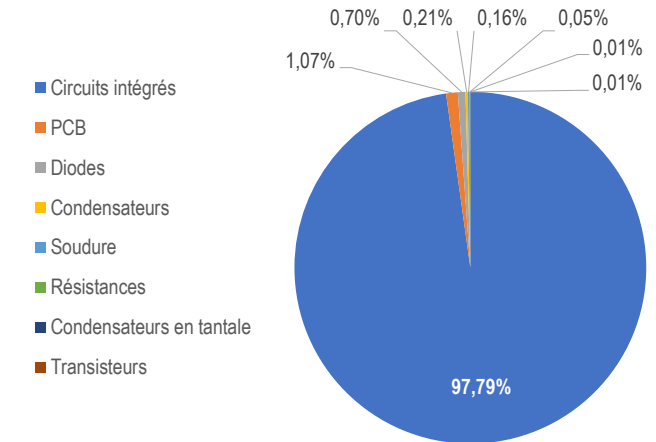


ei ecoinvent

Production et assemblage de 1 m² d'une carte électronique pour des **applications mobiles** (double face, sans plomb).



Composition du PCB



Contribution de l'impact

Conclusions et perspectives

- La Santé Digitale **comporte de bénéfices** et **périls** pour **l'homme** et la **nature**
- La prise de conscience des risques liés à la santé connectée conduit à un **renforcement de sa régulation...**
- ... Et au développement des cadres et des **méthodologies d'estimation intégrale** des avantages et désavantages des nouvelles technologies
- L'analyse coût-bénéfice de la Santé Digitale **est complexe et difficile à appliquer**
- Cependant, Une approche pragmatique basé sur une analyse de la **génération de données** et de **l'interprétation de l'Information** peut faciliter l'évaluation et la conception durable de la Santé Digitale
- Dans le cadre de notre recherche, **nous adopterons cette approche** pour évaluer de manière systématique et globale de nouveaux dispositifs intelligents dans le contexte **des maladies neurodégénératives.**

Symposium pour l'électronique & le numérique durables

Le 12 décembre 2024, Grenoble



ernesto.quisbert@univ-grenoble-alpes.fr
nicolas.vuillerme@univ-grenoble-alpes.fr

AVEC
tech&fest



Symposium pour l'électronique & le numérique durables

Le 12 décembre 2024, Grenoble

EN PARTENARIAT AVEC
tech&fest

Références

- [1] National Air Space Museum. Smithsonian. Disponible sur <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/inventing-apollo-spaceflight-biomedical-sensors>
- [2] Nangalia, V., Prytherch, D. R., & Smith, G. B. (2010). Health technology assessment review: Remote monitoring of vital signs-current status and future challenges. *Critical Care*, 14, 1-8.
- [3] Global strategy on digital health 2020-2025. WHO. Disponible sur <https://www.who.int/docs/default-source/documents/g4dhd2a9f352b0445bafbc79ca799dce4d.pdf>
- [4] Sapiezynski, P., Pruessing, J., & Sekara, V. (2020). The fallibility of contact-tracing apps. arXiv preprint arXiv:2005.11297.
- [5] Dhand, R., Eicher, J., Hänsel, M., Jost, I., Meisenheimer, M., & Wachtel, H. (2019). Improving usability and maintaining performance: human-factor and aerosol-performance studies evaluating the new reusable Respimat inhaler. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 509-523.
- [6] Ortsäter, G., Borgström, F., Baldwin, M., & Miltenburger, C. (2020). Incorporating the environmental impact into a budget impact analysis: the example of adopting RESPIMAT® re-usable inhaler. *Applied Health Economics and Health Policy*, 18, 433-442.
- [7] Levy, M. L., Kocks, J. W., Bosnic-Anticevich, S., Safioti, G., Reich, M., Depietro, M., ... & Chrystyn, H. (2024). Uncovering patterns of inhaler technique and reliever use: the value of objective, personalized data from a digital inhaler. *NPJ Primary Care Respiratory Medicine*, 34(1), 23.
- [8] Chrystyn, H., Saralaya, D., Shenoy, A., Toor, S., Kastango, K., Calderon, E., ... & Safioti, G. (2022). Investigating the accuracy of the Digihaler, a new electronic multidose dry-powder inhaler, in measuring inhalation parameters. *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery*, 35(3), 166-177.