



AGEIS

UNIVERSITÉ
Grenoble
Alpes

END'25
électronique & numérique durables

Impact environnemental de la phase de conception de l'Internet des Objets Médicaux (IoMT)

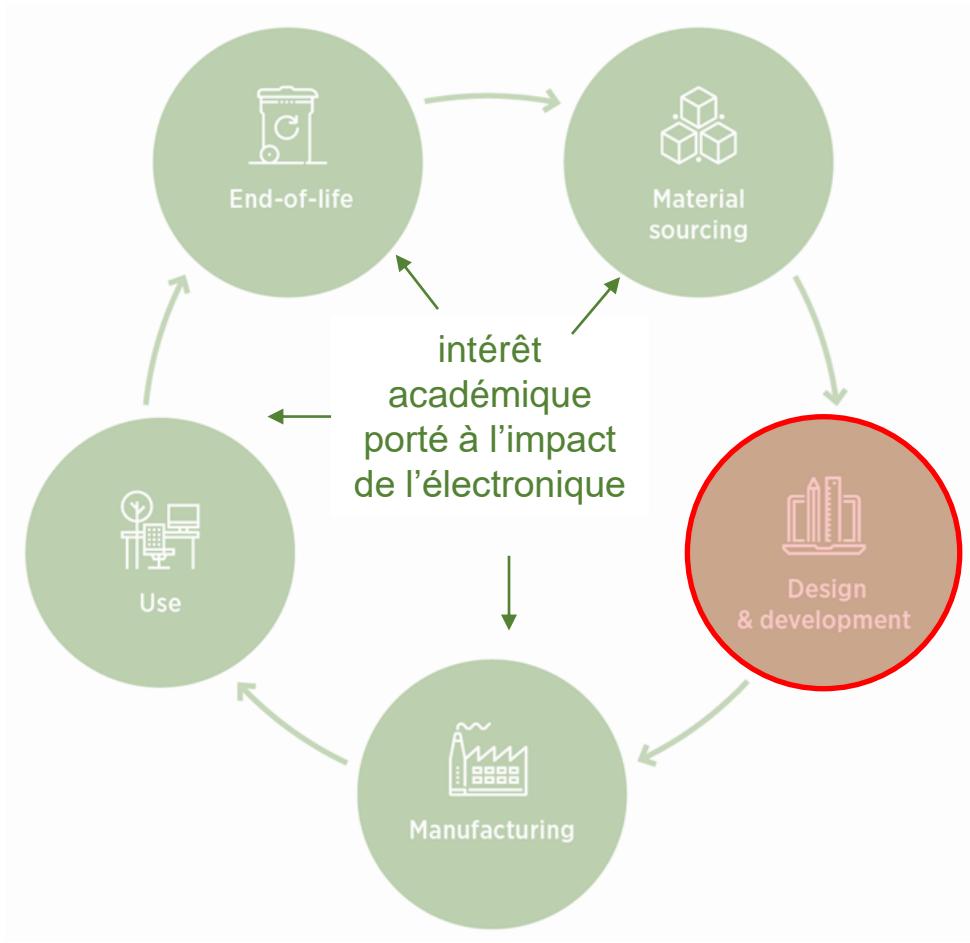
vers la circularité des prototypes, systèmes et dispositifs

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

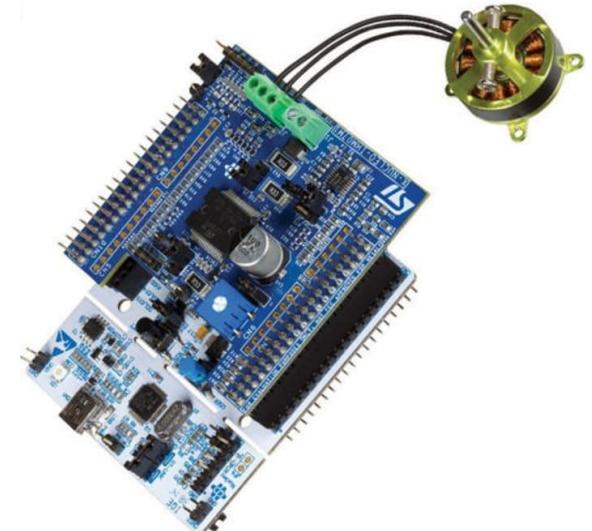
¹ AGEIS, Université Grenoble Alpes, 38000 Grenoble, France

² Institut Universitaire de France, 75005 Paris, France

L'impact écologique de la phase de conception des composants électroniques, des dispositifs et des systèmes IoMT n'a pas été étudié



- à des stades très précoces de développement (p. ex., < TRL4), de nombreuses **ressources électroniques sont mobilisées**.
- Et pourtant, ces ressources sont **polyvalentes** et **hautement modulaires**, ce qui favorise considérablement leur réutilisation et/ou leur récupération.



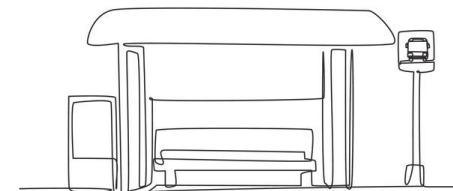
Dans le domaine de la santé numérique, le **potentiel de circularité et l'ampleur de l'impact de la conception restent relatifs**.

- En effet, les ressources sont souvent **surdimensionnées**, précisément pour faciliter le **développement agile** et la **validation...**
- ...Mais l'impact des activités du concepteur **est relatif** et dépend de la manière dont **il utilise ses ressources**.

Activité



Conception



Objectif

- Proof of concept
- Validation dans laboratoire
- Validation dans le terrain
- Etc...

Impact & circularité



Questions de recherche

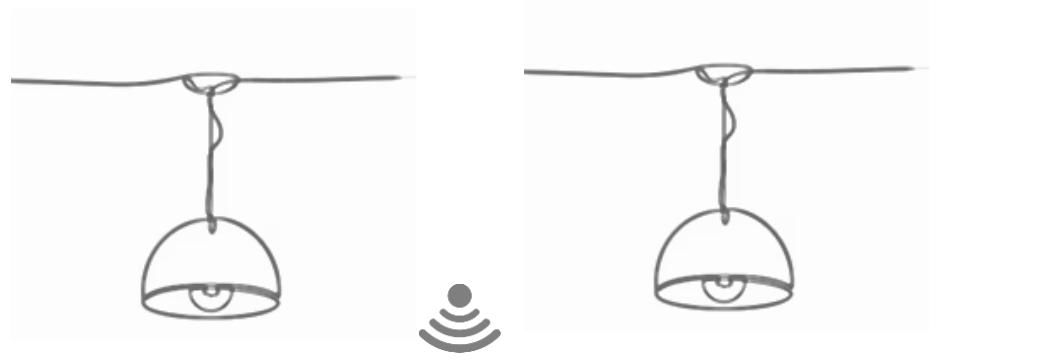
- Quel est l'**impact relatif** de la phase de conception des composants, dispositifs et systèmes IoMT?
- Comment estimer de manière systématique les bénéfices liés à la **polyvalence** et à la **modularité** des ressources mobilisées durant la phase de conception ?

Hypothèse

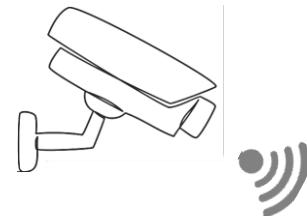
- Sur la base de travaux antérieurs [1], nous supposons que l'analyse de la circularité et l'estimation de l'impact relatif de la phase de conception s'articule **autour des données et des informations circulant** au sein d'un système IoMT.
- Autrement dit, elles reposent sur l'analyse de la **qualité des données**, de la **quantité de données** ainsi que **des informations produites et interprétées** dans un tel système.

Nous allons réaliser une **évaluation environnementale** et une **analyse comparative** et individuelle de **trois cas d'étude** à trois échelles d'application distinctes, dans le contexte du suivi de l'**activité physique quotidienne** de patients

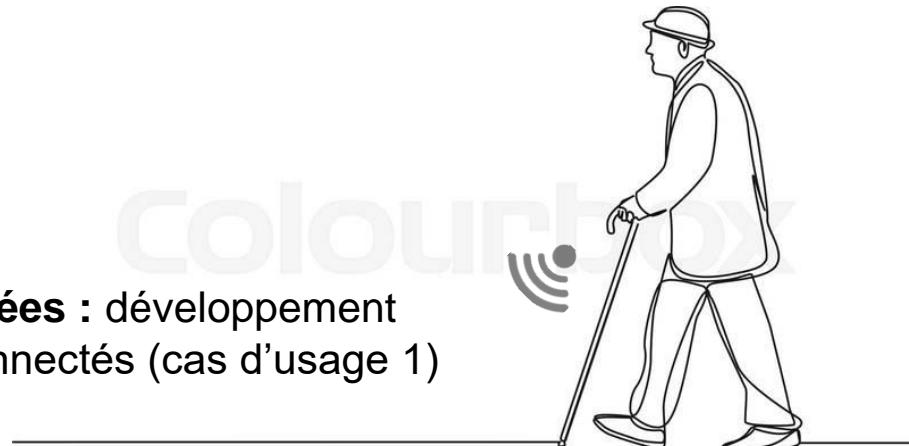
Génération et interprétation de l'information
développement de systèmes domotiques (cas d'usage 3)



Qualité des données
développement de
capteurs d'imagerie
(cas d'usage 2)



Quantité de données : développement
de podomètres connectés (cas d'usage 1)



Cas d'usage 1: développement de podomètres connectés



Activité: Validation des prototypes (smartbands pour le comptage de pas)

Resource mobilisé: Actigraph GT9X (disp. référentiel)



Benchmarking

- L'actigraph GT9X et le prototype (Sendor ID Inc.) sont placés au poignet de cinq patients.

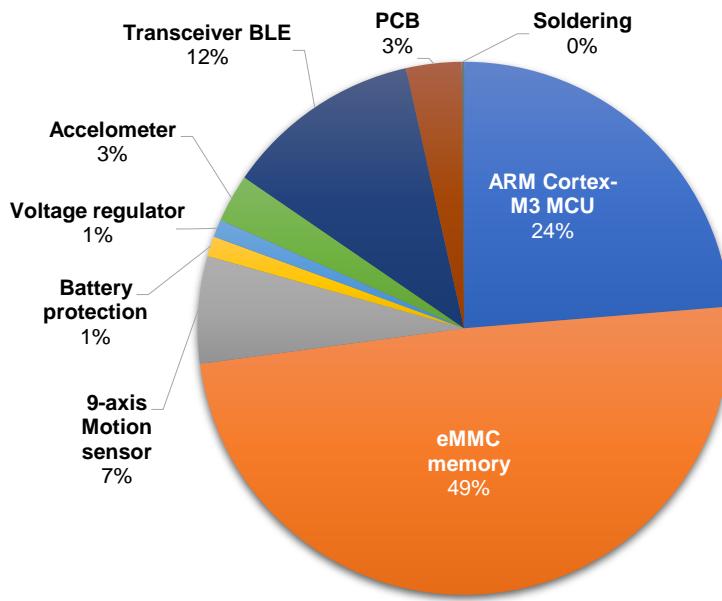
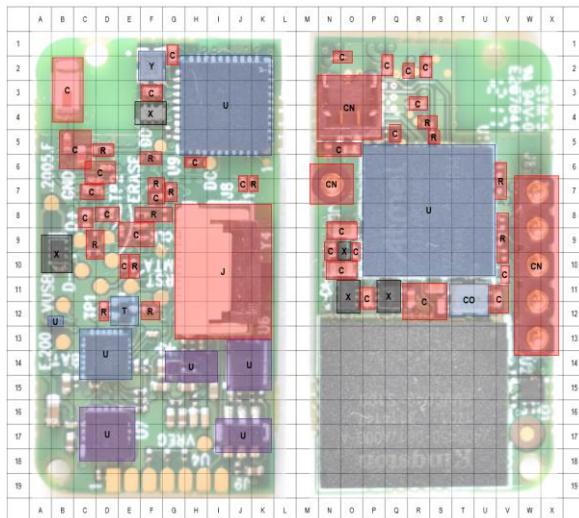


- Les données brutes disponibles des deux dispositifs [1] sont préparées et comparées.

Cas d'usage 1: développement de podomètres connectés

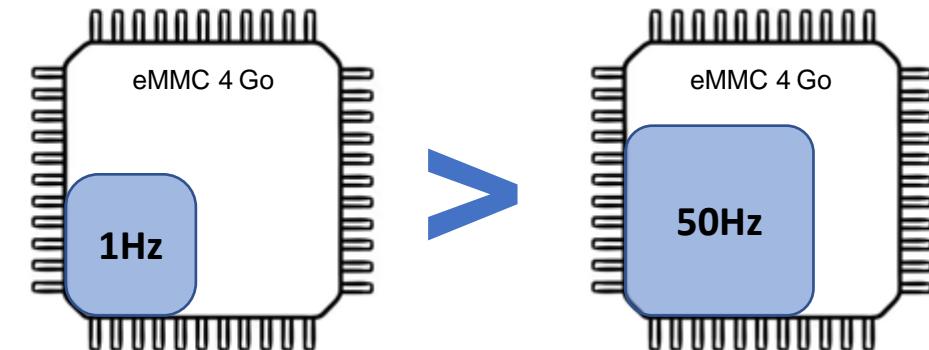
Méthodologie: évaluation environnementale (ACV) de la carte électronique du dispositif référentiel

Résultats: 1,72 kg CO₂-eq (À peu près l'équivalent de parcourir 14 km en voiture)



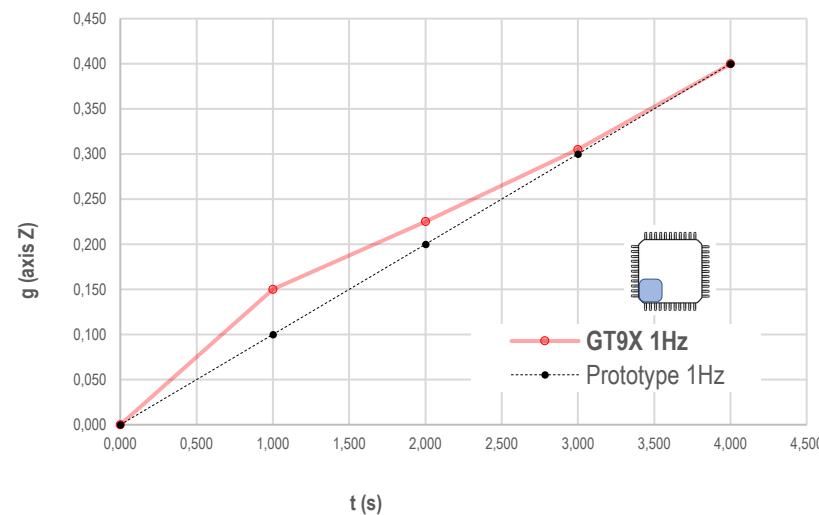
Près de la moitié de l'impact est attribuée à la mémoire eMMC 4 Go... !

... Mais cet **impact est relatif** et dépend de la manière de réaliser la validation du prototype



Analyse comparatif préliminaire: Plus la fréquence d'échantillonnage du dispositif référentiel est élevée, plus l'impact relatif est faible et meilleure est la validation du prototype, mais moins d'espace mémoire pour suivre les mouvements des patients pendant plusieurs jours.

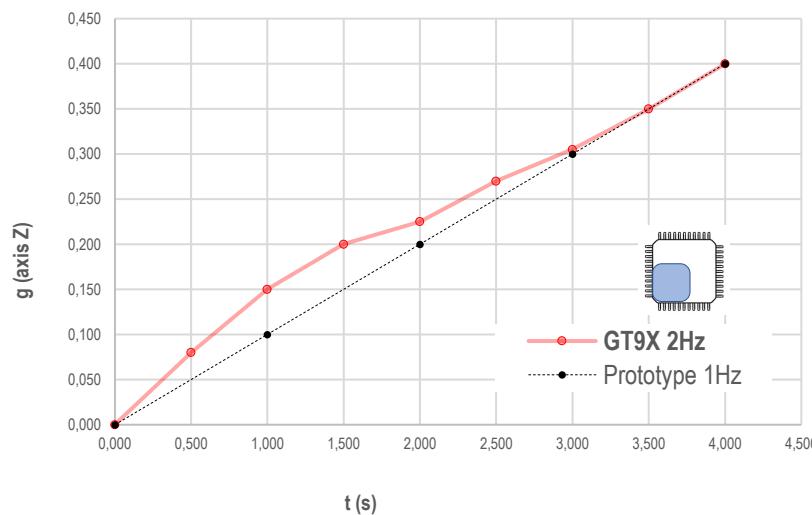
Exemple de validation RSME du prototype



RSME: 0,025478

Impact mémoire: 100%

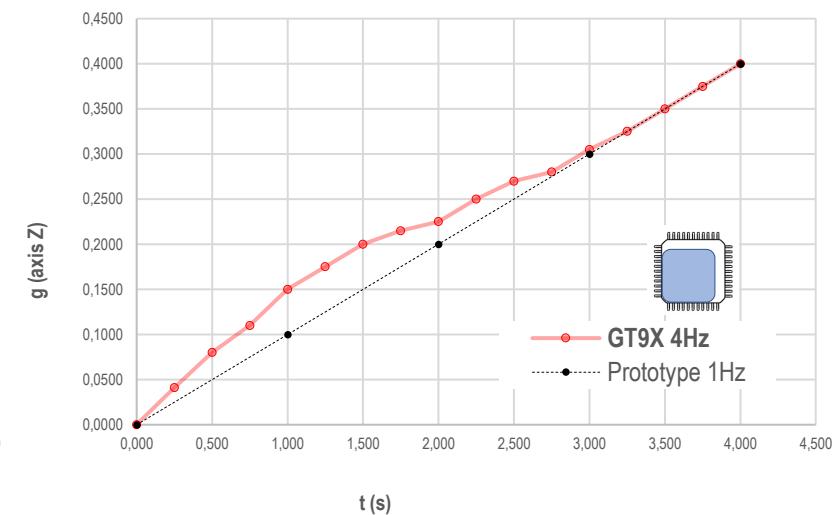
Période de suivi: ???



RSME: 0,027788

Impact mémoire: 99%

Période de suivi: ???



RSME: 0,027845

Impact mémoire: 97%

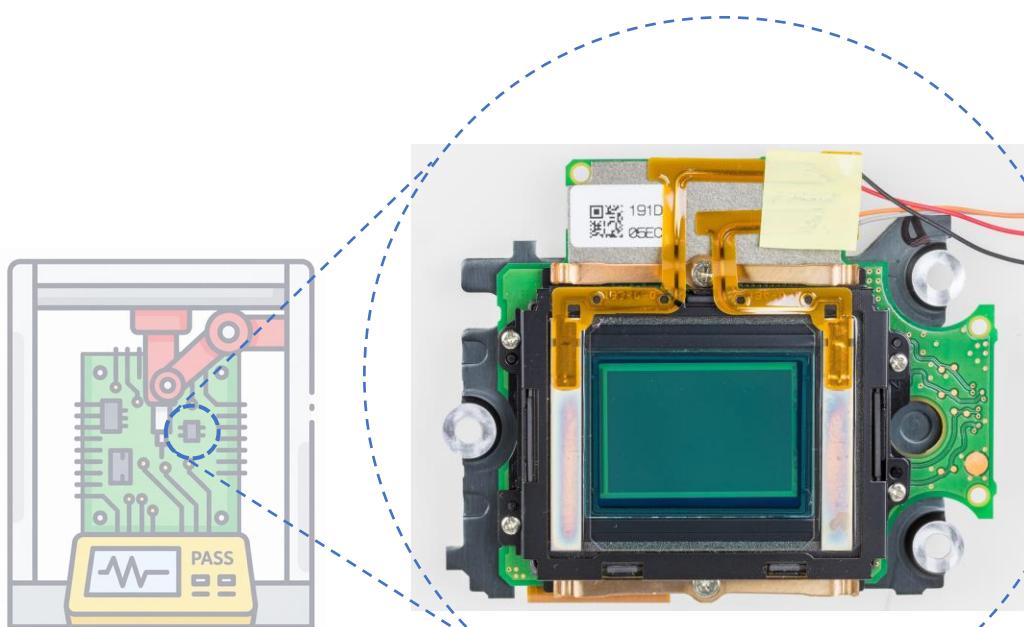
Période de suivi : ???

Cas d'usage 2: développement de capteurs d'imagerie



Activité: Test des capteurs d'image

Resource mobilisé: Banc de caractérisation modulaire



Méthodologie: évaluation environnementale (ACV) des trois cartes électroniques qui composent le banc de caractérisation (principale, puissance et analogique)

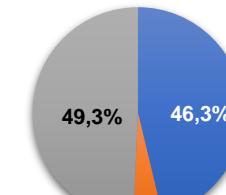
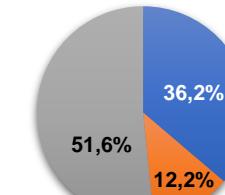
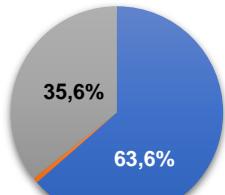
Résultats

● Connecteurs

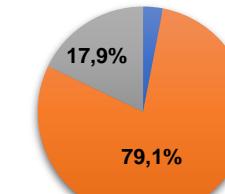
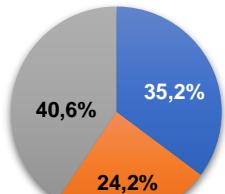
● Circuits intégrés

● Le reste

Épuisement de ressources



Réchauffement climatique



Principale

Puissance

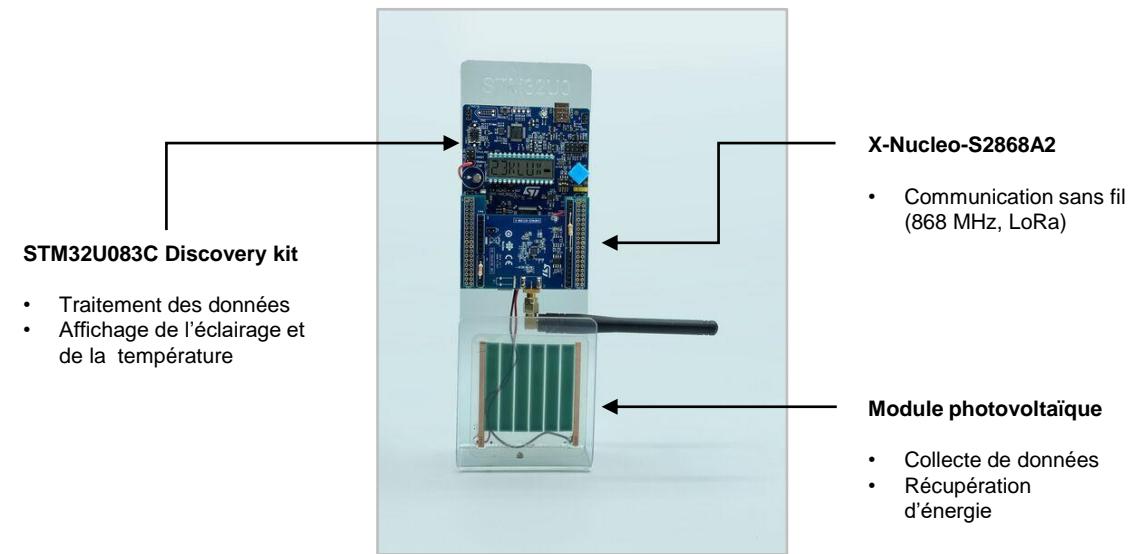
Analogique

Cas d'usage 3: développement de systèmes domotiques



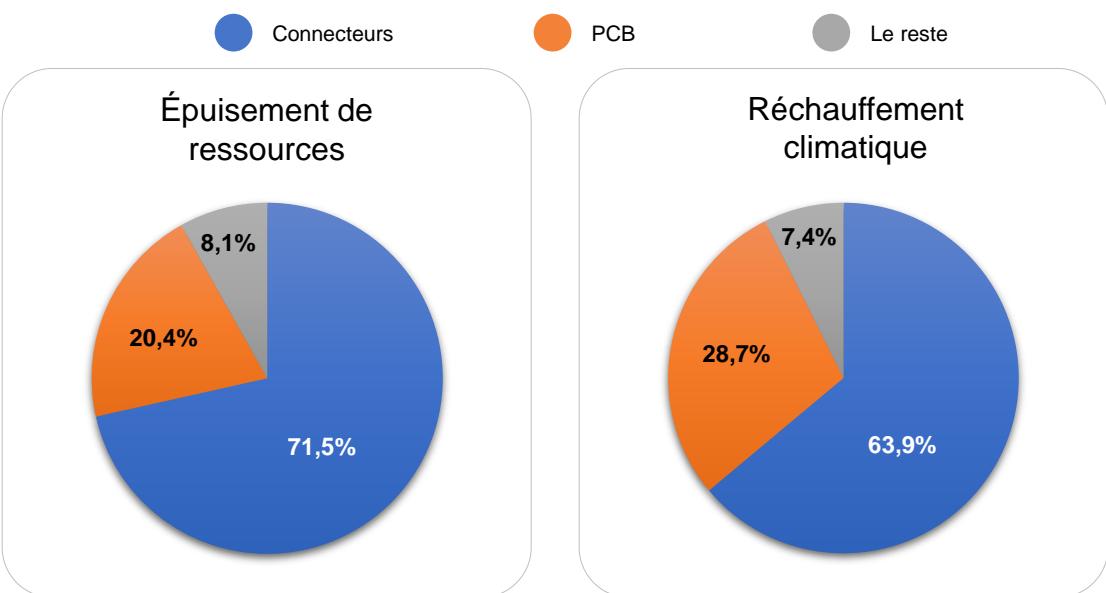
Activité: Développement d'une preuve de concept (système d'éclairage connecté et autonome TRL3)

Resource mobilisé: Démonstrateur IoT autonome qui mesure l'éclairement lumineux et la température d'une salle



Résultats

- L'impact se concentre principalement sur les **connecteurs Morpho** et **Arduino**.



- Ces connecteurs offrent une grande **polyvalence**, une **modularité accrue** et un **couplage 1:1**. Toutefois, l'ensemble des contacts n'est pas utilisé



END'25

électronique & numérique durables



AGEIS
UNIVERSITÉ
Grenoble
Alpes



MINI
Grenoble Alpes



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

Travaux antérieurs

[1] Quisbert-Trujillo, E., & Vuillerme, N. (2025). Towards the Operationalization of Health Technology Sustainability Assessment and the Early Eco Design of the Internet of Medical Things. *Sensors*, 25(13), 3839.

Références

[2] Martín-Martín, J., Jiménez-Partinen, A., De-Torres, I., Escriche-Escuder, A., González-Sánchez, M., Muro-Culebras, A., ... & Cuesta-Vargas, A. I. (2022). Reliability study of inertial sensors Lis2Dh12 compared to Actigraph Gt9X: Based on free code. *Journal of Personalized Medicine*, 12(5), 749.