

Accompagnement au décret tertiaire

Etudiante : Anne-Sophie GIROT

Tuteur académique : Mindjid MAIZIA

Contexte et objectifs

En 2019 entre en vigueur l'obligation Eco-Energie Tertiaire (EET), imposant la réduction des consommations d'énergie de certains bâtiments tertiaires, et ce **dès 2030. Plus de 300 gares sont concernées. L'approche conventionnelle** d'audit énergétique se révélant fastidieuse et coûteuse, elle est **inadaptée face aux enjeux d'échelle et de temporalité imposés par EET**. L'objectif de ce stage est donc de **développer un outil agile, capable de prédire les économies d'énergies observées lors de la mise en œuvre d'une ou plusieurs actions** au sein des gares.

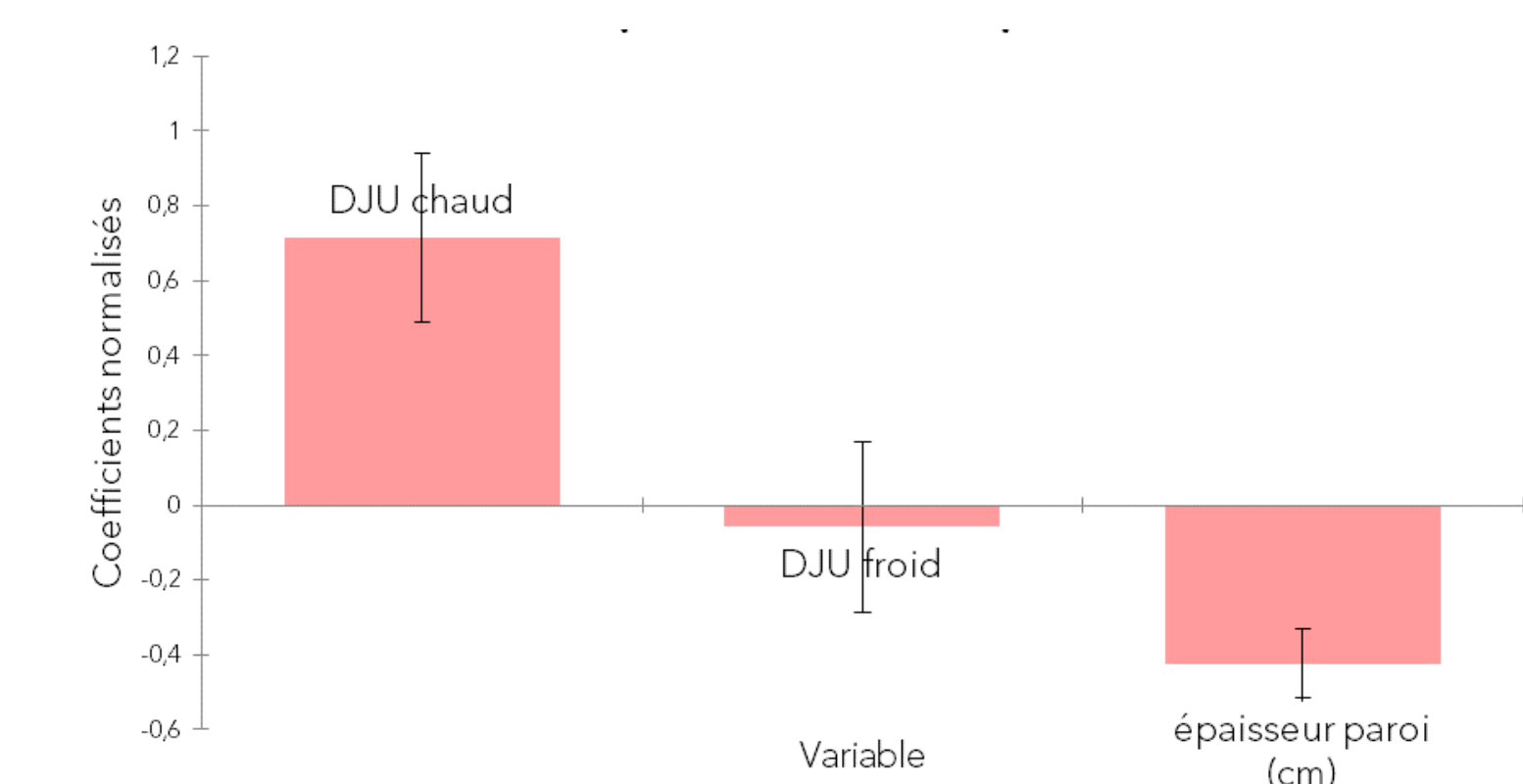
Développement

Construction d'un modèle prédictif adapté aux spécificités du patrimoine, à partir des données de gares modélisées énergétiquement par audit

Premier modèle : approche *statistique*

Nous choisissons de produire un méta modèle, dépendant d'un nombre limité de critères. Les données utilisées pour la construction de notre modèle sont générées à partir du modèle ClimAudit d'une gare type. Nous choisissons de partir sur un modèle couramment usité en Machine Learning, la régression multilinéaire. Ce modèle est choisi pour sa compréhensivité et sa facilité de mise en œuvre.

$$\text{constante} + \text{DJU_chaud} * \text{coeffDJUchaud} + \text{ep_mur_ext} * \text{coeff_épaisseur} = \text{gain (kWh/m}^2\text{)}$$



Formule initiale déduite de l'analyse des coefficients normalisés et de leurs incertitudes, action isolation des murs extérieurs par l'intérieur (A. Girot, 2023)

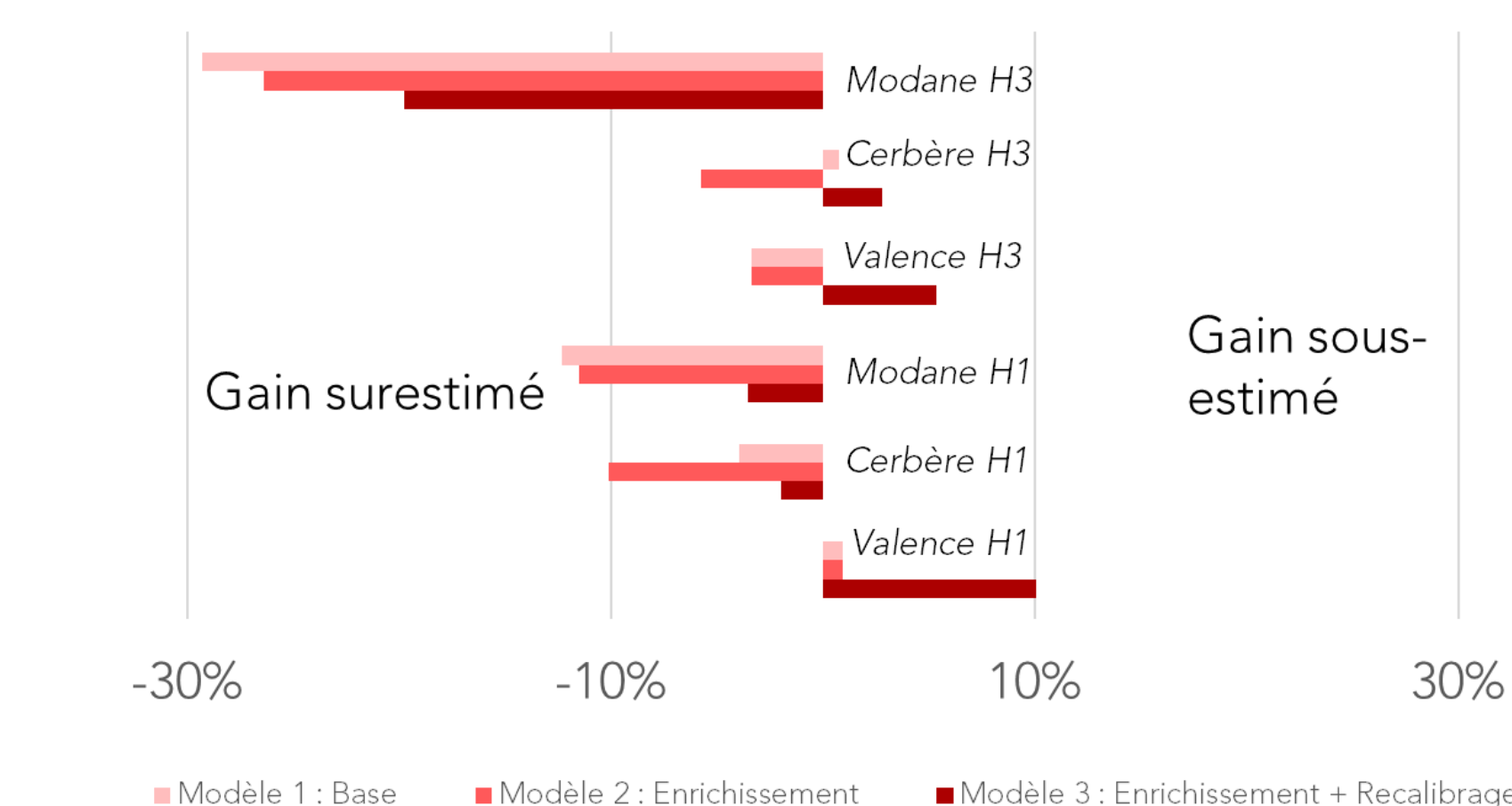
Corrections: approche *ingénierie*

Les formules sont ensuite testées sur d'autres systèmes, afin d'en éprouver la répliquabilité. Nous appliquons le protocole de production de données sur d'autres gares auditées et comparons ces données aux résultats prédits par nos formules. En cas d'erreur, plusieurs approches sont envisagées :

Enrichissement - Rajout de variables. Les rajouts se font selon des modèles physiques existants

Recalibrage - Rajout d'un coefficient réducteur /multiplicateur afin de minimiser l'erreur moyenne

Révision - Abandon de la formule statistique, report total vers des modèles physiques



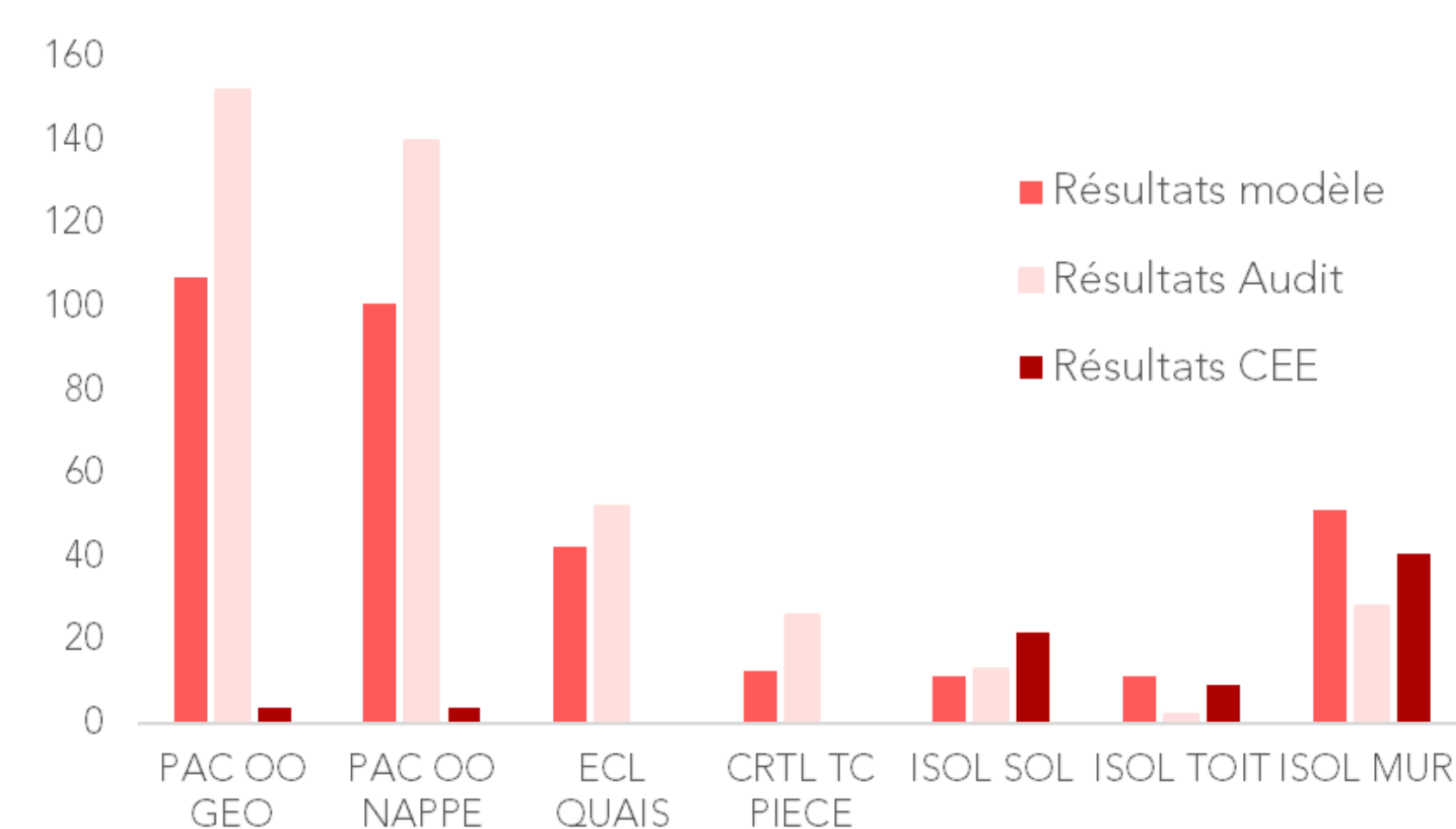
Erreur relative avec valeur de référence, modèle de base et versions corrigées, action remplacement des menuiseries (A-S. Girot, 2023)

Validation : approche *benchmark*

Les formules finales sont couplées à des quantités afin d'avoir un ordre de grandeur des économies d'énergies réalisables sur nos gares.

Afin d'en vérifier doublement la cohérence, les résultats obtenus sont comparés aux valeurs obtenues par audit et par fiche CEE. Les tests ne révèlent pas d'erreur systémique et nos résultats se rapprochent des valeurs CEE ou des valeurs audit.

Les formules étant validées, nous décidons que les critères recensés conditionnent les données à relever sur terrain.



Gains totaux en kWh selon action et méthode de calcul, gare de Sélestat (A-S. Girot, 2023)

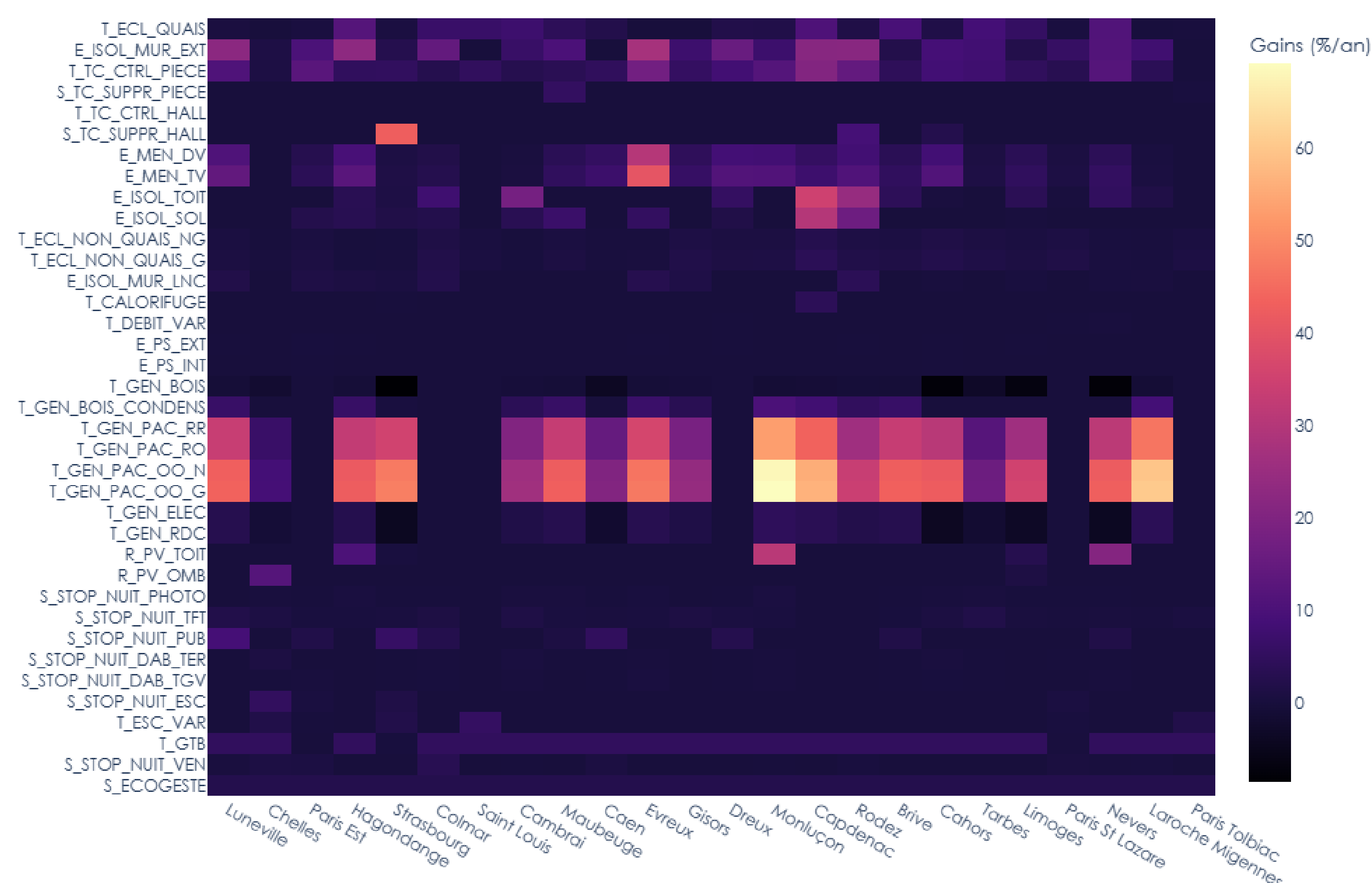
Application

Mise en application du modèle sur des gares non précédemment modélisées et pistes pour la combinaison des actions

Mise en application

Notre modèle est mis en application sur l'ensemble des gares visitées et non précédemment auditées. Les gains sont rapportés aux données de consommation des gares, provenant de bases de données externes.

L'analyse graphique montre que l'ordre de priorité des actions reste inchangé comparativement aux résultats des audits. Les ordres de grandeur d'économies d'énergie concordent également avec les valeurs trouvées dans les audits réalisés. Nous remarquons cependant des valeurs aberrantes ponctuelles, qui s'expliquent notamment par des relevés de terrain inhabituels.

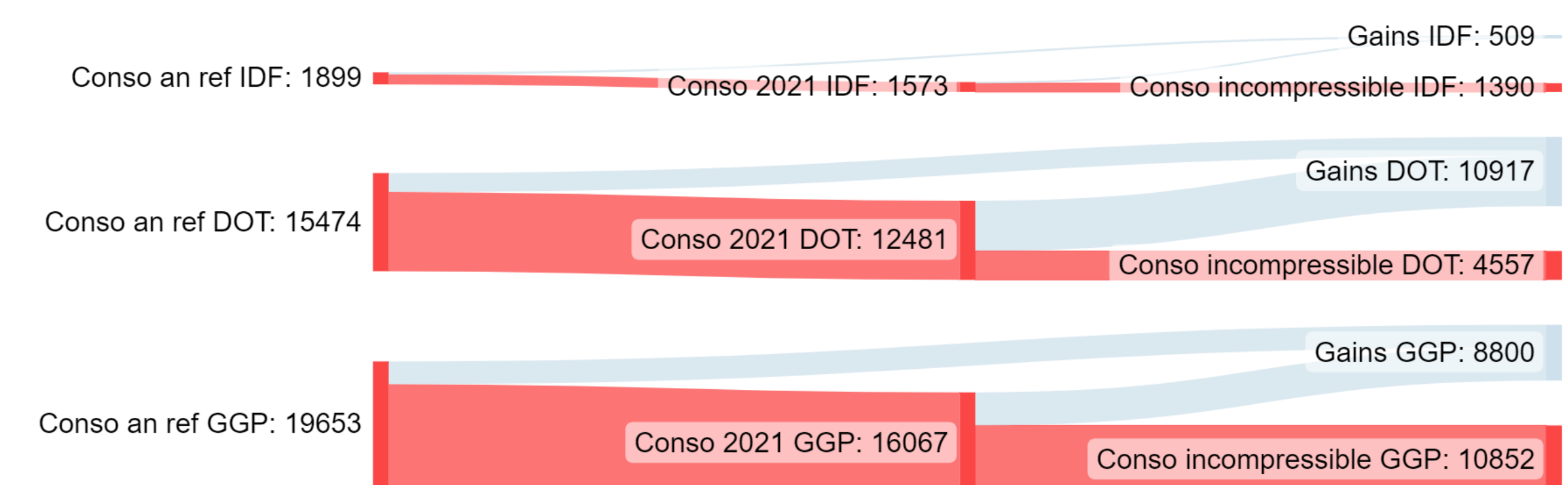


Pistes pour la combinaison des actions

Une approche multiplicative des gains relatifs est testée comme piste pour le calcul des gains observés lors de la mise en œuvre de l'ensemble des actions. L'ensemble des actions les plus favorables sont retenues pour la multiplication. Les gains totaux et consommations incompressibles sont calculés selon les données de consommations de l'année de référence et les dernières données de consommation disponibles.

Les gains et consommations des gares visitées sont ensuite regroupés selon trois catégories : grandes gares parisiennes (GGP), gares Ile-de-France (IDF) et gares hors Ile-de-France (DOT). On observe que les gares situées en GGP et IDF ont des consommations finales plus incompressibles que les gares DOT.

Ces résultats montrent les difficultés de notre modèle à expliquer les consommations et identifier les économies potentielles de certaines gares, notamment les GGP.



À gauche : Heatmap - gains rapportés à la consommation selon action et gare (A.Girot, 2023)

À droite : Consommations et gains en MWh selon catégorie des gares testées (A.Girot, 2023)