

Conception paramétrique

Mise au point d'un outil d'optimisation multi-objectifs orienté émissions de CO₂, confort et coût.

AREP

école
normale
supérieure
paris-saclay

Travaux de stage

Contexte & objectif

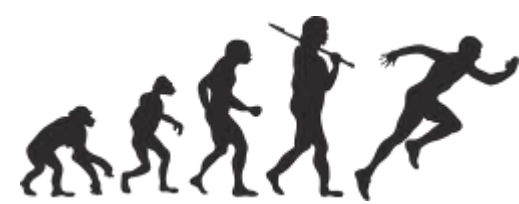
En 2018, le secteur du bâtiment était responsable de 39% des émissions mondiales et apparaît donc comme une cible naturelle à la décarbonation. En France, la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) vise une réduction de 50% des émissions d'ici 2030 et 90% d'ici 2050 dans le secteur du bâtiment.

Aujourd'hui, pour comptabiliser les émissions de CO₂ d'un bâtiment, l'analyse de cycle de vie est utilisée. Même si cette méthode est précise, elle n'est pas pratique pour explorer et comparer différentes variantes. Face à ce constat, L'hypercube°AREP propose de développer un outil d'exploration et de comparaison rapide utilisable dès le début du projet afin d'atteindre plus facilement les objectifs de décarbonation.

Outil développé

Outils d'optimisation

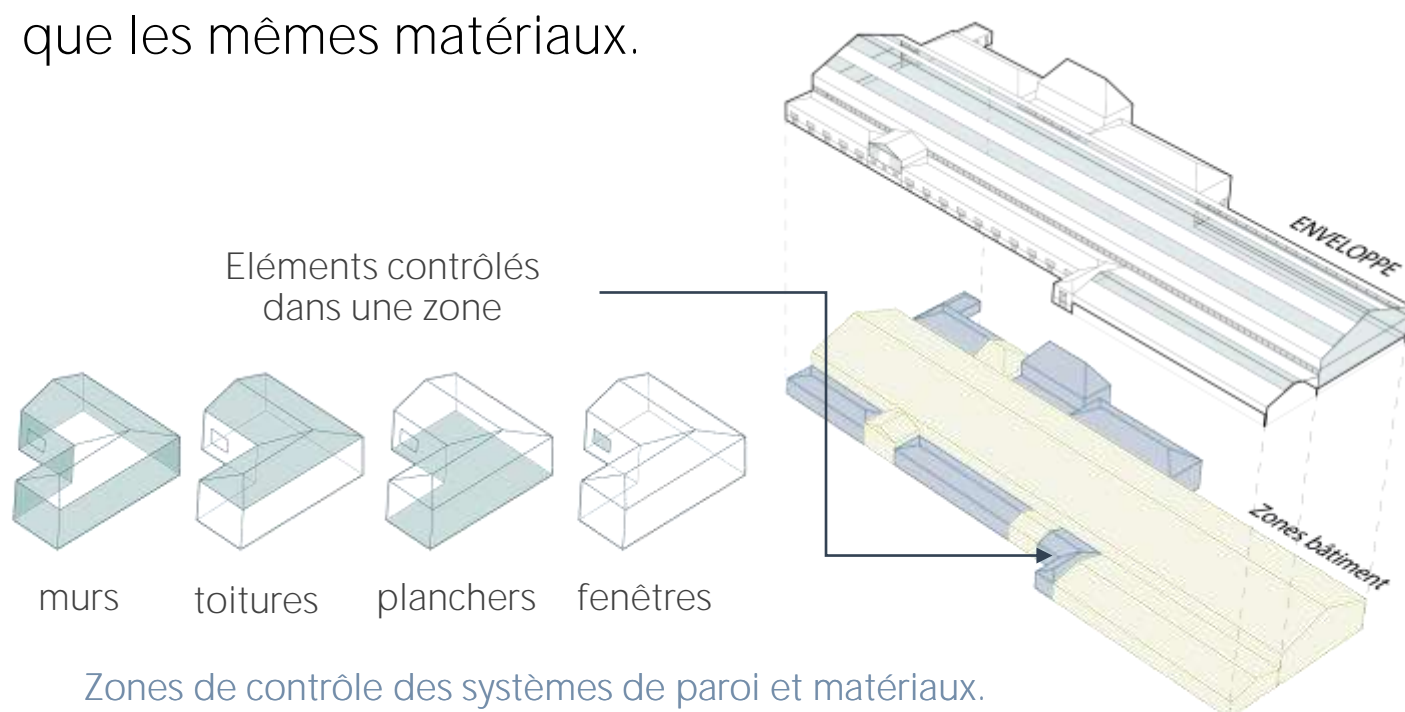
L'Algorithme génétique est un processus d'optimisation itératif se basant sur le concept d'évolution d'une population. A chaque itération, l'algorithme explore plusieurs variantes du bâtiment, il les note en fonction des critères mis en place. A la prochaine itération, une nouvelle population de variantes est constituée en gardant les meilleures variantes de l'itération précédente et en créant de nouvelles variantes via des mécanismes de recombinaison.



Le Méta-modèle est une fonction qui, à partir d'une base de données (entrées/sorties), est capable d'extrapoler la valeur d'une sortie (confort) pour une nouvelle entrée (variante du bâtiment). Dans notre cas, le méta-modèle nous permet de s'affranchir de la simulation thermique dynamique sous EnergyPlus afin de calculer le confort.

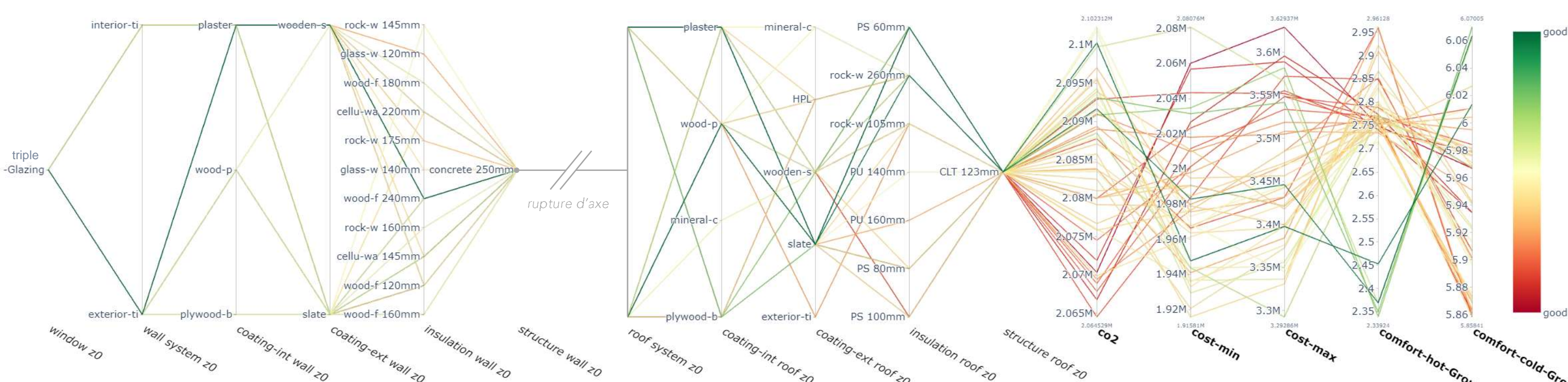
Modélisation

Les systèmes d'isolation et les matériaux les constituant sont contrôlés par zone dans le bâtiment. Par exemple dans une zone, tous les murs ont le même système d'isolation ainsi que les mêmes matériaux.



Visualisation des données de sortie

L'algorithme fournit un groupe de solutions qui peut être exploré grâce à la visualisation en coordonnées parallèles : une variante est représentée par un chemin, sur lequel se

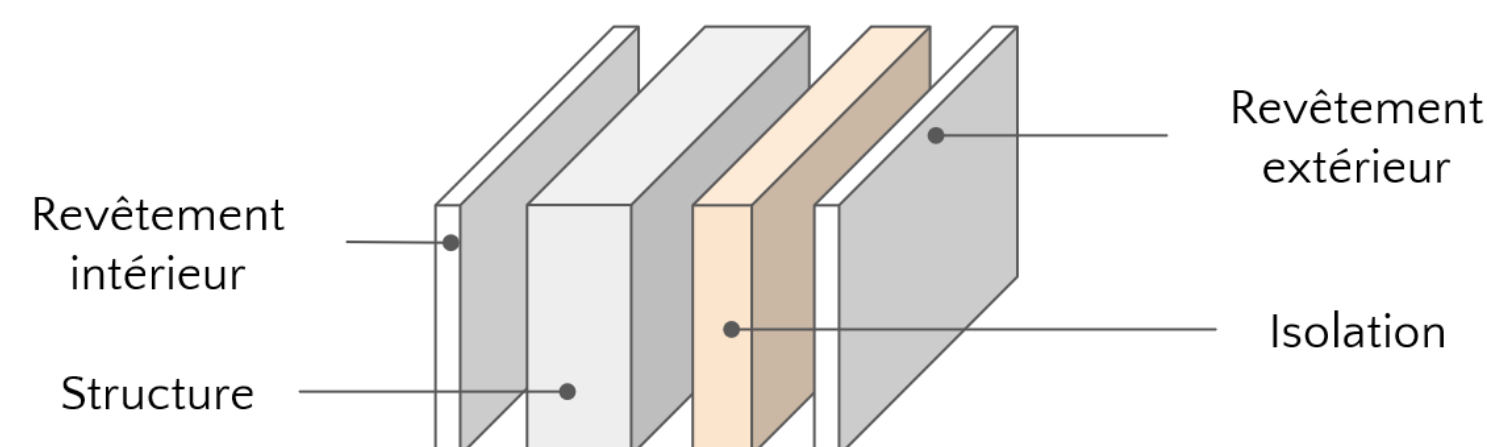


Visualisation en coordonnées parallèles des meilleures variantes pour un cas d'étude : l'Atrium. (seuls les matériaux utilisés pour les meilleurs variantes sont affichés)

Méthodologie

1. **Définition du périmètre d'étude, des objectifs et des variables** : pour chaque variante de bâtiment les matériaux et les systèmes de paroi changent. La forme du bâtiment et son orientation restent inchangées.
2. **Mise au point d'un système d'encodage/décodage** pour transformer les données de la maquette 3D (systèmes de paroi et matériaux) en une représentation pratique pour l'étape suivante.
3. **Développement d'un algorithme génétique** pour l'optimisation multi-objectif (carbone, confort, c.
4. **Utilisation d'un méta-modèle** de Krigeage pour estimer le confort afin d'accélérer les temps de calculs.

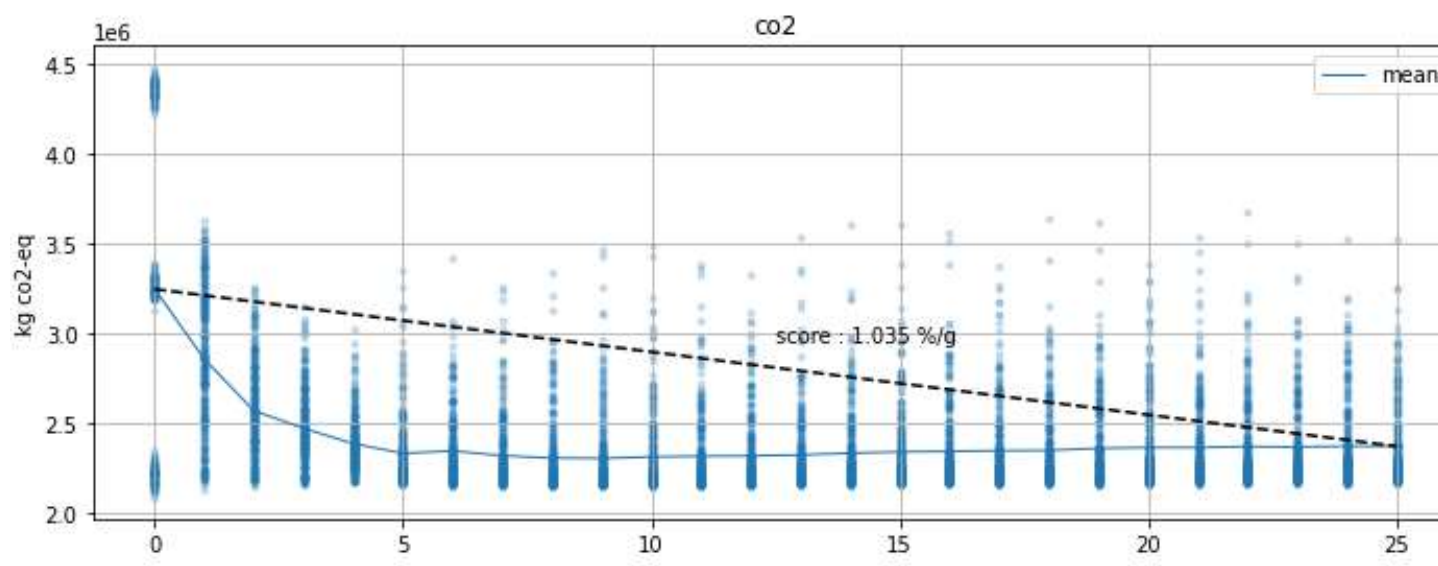
Les systèmes de paroi utilisés sont prédéfinis (ITI¹, ITE², etc) mais de nouveaux peuvent être ajoutés par l'utilisateur. Les matériaux constitutifs sont choisis dans la base de données d'AREP. Pour assurer la compatibilité entre les matériaux et les systèmes de paroi, un système de tags sur les matériaux a été mis en place.



Exemple d'un système de paroi à 4 couches pour mur.

Validation

L'algorithme a été testé sur le cas de l'Atrium. Premièrement, l'algorithme converge de façon satisfaisante : les objectifs sont en moyenne optimisés de 25%. Sur la figure ci-dessous, chaque point bleu représente une variante à une itération donnée. La moyenne (trait continu bleu) diminue au fur et à mesure des itérations.



Optimisation des émissions de CO₂ au fur et à mesure des itérations.

lisent, pour chaque élément, le système de paroi et ses matériaux, puis (à la fin) les valeurs des objectifs associées.

Étudiant	Arthur Calvi
Niveau d'études	Master 2
Spécialité	Génie Civil & Energie
Tuteurs école	Assaad Zoughaib, Farid Benboudjema
Durée	6 mois
Période	02/2021 – 08/2021
Entité AREP	L'hypercube°AREP
Tuteurs AREP	Edouard Walther

EMC2B



L'outil développé permet d'estimer les émissions carbone des matériaux et de leur mise en œuvre dans le bâtiment.

Ainsi, un grand nombre de configurations de systèmes de paroi et de matériaux peuvent être rapidement comparées au sens :

- Des émissions de CO₂ #Carbone
- Du confort des usagers #Climat
- Du coût des matériaux et de la mise en œuvre #Matière

Glossaire

ITI : isolation thermique intérieure
ITE : isolation thermique extérieure

Références

- [T. Abergel, J. Dulac, I. Hamilton, M. Jordan, and A. Pradeep.] Global status report for buildings and construction. Technical report, IEA, 2019
- [T. B. P. JUSSELMÉ.] Data-driven method for low-carbon building design at early stages. PhD thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2020.
- [S. Longo, F. Montana, and E. Riva Sanseverino.] A review on optimization and cost-optimal methodologies in low-energy buildings design and environmental considerations
- [J. P. Kleijnen.] Kriging metamodeling in simulation : A review. European Journal of Operational Research, 192(3) :707–716, 2009
- [K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan.] A fast and elitist multiobjective genetic algorithm : Nsga-ii. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6(2) :182–197, 2002