



SPOTLIGHT  
MODÈLE DE PARC  
IMMOBILIER

Natasa Vulic, Sven Eggimann, Matthias Sulzer, Martin  
Rüdisüli, Robin Mutschler, Kristina Orehounig  
13 décembre 2022

2050  
**Avenir énergétique**

## Contexte

Les besoins énergétiques saisonniers globaux du parc immobilier suisse (bâtiments résidentiels et bâtiments de services) sont calculés à l'aide de simulations horaires sur la base d'archétypes représentatifs (*bottom-up*). Les profils horaires pour l'énergie thermique (chauffage, refroidissement, eau chaude) et les besoins en électricité de ces archétypes sont calculés en fonction des bâtiments, puis extrapolés afin de déterminer les pics de demande et la consommation annuelle actuelle ainsi que les besoins pour 2030, 2040 et 2050 aux niveaux régional et national.

## Base de données pour la caractérisation de tous les bâtiments habités

Une vaste base de données, rassemblant et combinant différentes sources, a été créée à des fins d'analyse du parc immobilier suisse. Le Registre fédéral des bâtiments et logements (RegBL), qui fournit, pour les bâtiments habités, des informations sur le type de bâtiment, l'ancienneté et le nombre d'étages, constitue la base la plus volumineuse en la matière. OpenStreetMap<sup>1</sup> a été utilisé pour la surface au sol des bâtiments. Comme les ensembles de données respectifs ne permettent pas de donner des attributs complets à tous les bâtiments analysés, la base de données des bâtiments a été complétée par interpolation spatiale. Par ailleurs, les informations relatives aux zones climatiques suisses ont-elles aussi été complétées. Tous les bâtiments suisses peuvent ainsi être répartis dans l'une des six zones climatiques, l'une des cinq classes d'âge et l'un des neuf types de bâtiments.

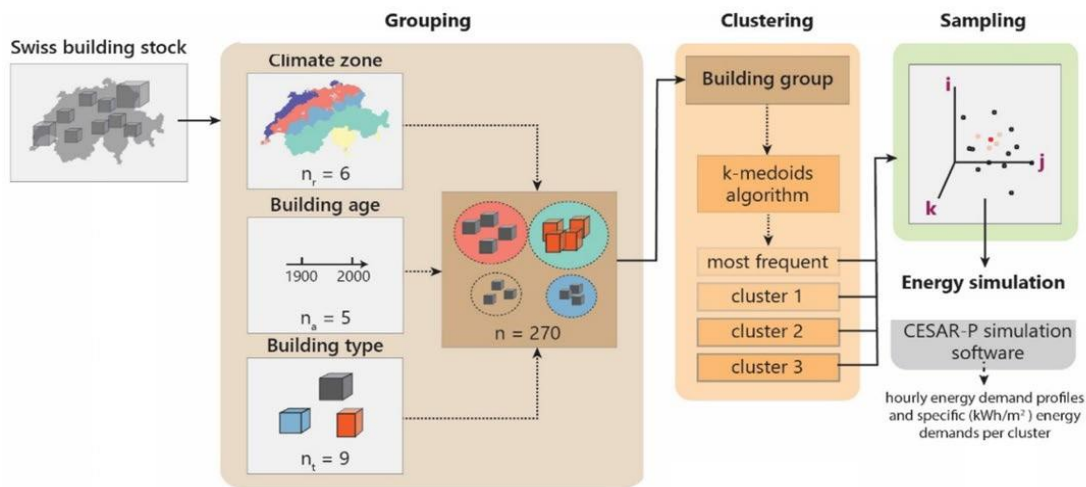
## Synthèse des principaux ensembles de données utilisés pour la représentation du parc immobilier suisse.

Nom	Attributs	Source
Registre fédéral des bâtiments et logements (RegBL)	Type de bâtiment, âge du bâtiment, nombre d'étages	Office fédéral de la statistique
OpenStreetMap	Surface au sol	Contributeurs OSM
swissBUILDINGS3D2.0	Hauteur du bâtiment	swisstopo
STATENT	Type de bâtiment	Office fédéral de la statistique
CH2018	Région climatique	MétéoSuisse

<sup>1</sup> Comme OpenStreetMap a été utilisé pour la surface au sol des bâtiments, l'identification du bâtiment peut différer par rapport au RegBL: par exemple, dans le RegBL, une maison jumelée se compose de deux points de données, alors que dans OpenStreetMap, les deux bâtiments représentent une seule et même surface au sol.

## Regroupement et clustering des bâtiments

Dans un premier temps, l'ensemble des bâtiments suisses (env. 2,1 millions) sont regroupés en fonction du type de bâtiment, de l'âge de celui-ci et de la zone climatique. Puis, dans un deuxième temps, des clusters sont formés dans les 270 groupes résultant de cette classification, à l'aide de l'algorithme des k-médoides. Un maximum de quatre clusters est créé par groupe. Ces deux opérations permettent de calculer des indicateurs représentatifs pour 756 archétypes de bâtiments.



Au sein de chaque cluster, les simulations énergétiques sont effectuées pour 50 bâtiments représentant le mieux le cluster. Ces valeurs sont calculées pour obtenir des valeurs spécifiques au cluster. Trois dimensions, expliquées en détail dans Eggimann et al. (2022), sont utilisées pour le clustering: la surface, la compacité et la densité du bâtiment. Les dimensions sont normalisées pour chaque bâtiment individuel avant le clustering. La sélection des 50 bâtiments les plus représentatifs est effectuée en fonction de la distance (virtuelle) de l'espace dimensionnel par rapport au centre de gravité du cluster (centroïde). Ces étapes méthodologiques permettent d'attribuer chaque bâtiment à l'un des 756 archétypes de bâtiments recensés et de déterminer la consommation totale et les profils de demande horaires à l'aide de la surface de référence énergétique et des valeurs de demande spécifiques simulées (kWh/m<sup>2</sup>).

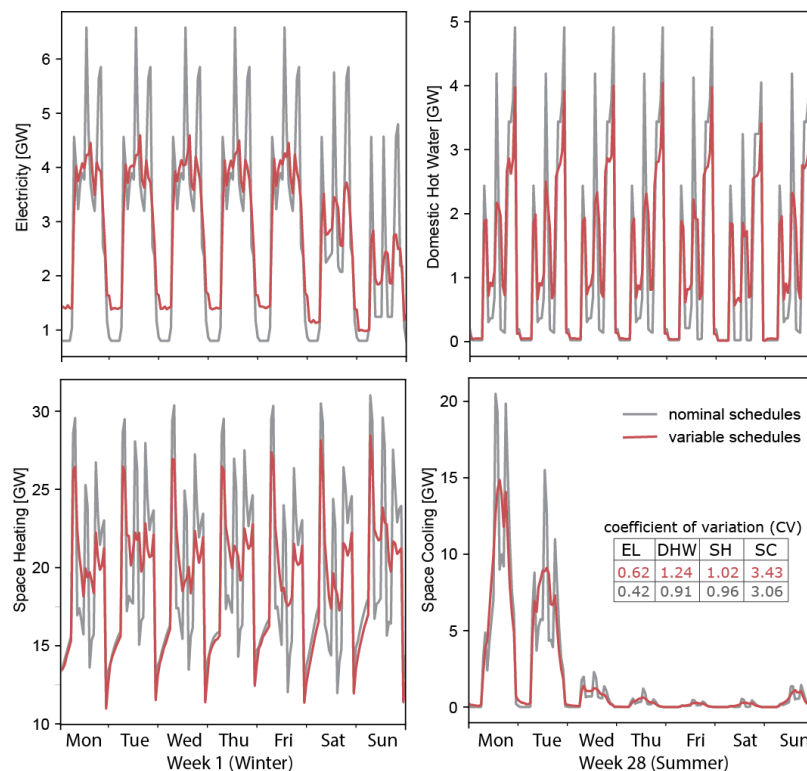
## Simulation énergétique

Les valeurs des besoins énergétiques horaires spécifiques (énergie de chauffage thermique, énergie de refroidissement thermique eau chaude et électricité) sont calculées pour chaque archétype à l'aide du logiciel CESAR-P (Orehounig et al., 2022). Les estimations des besoins énergétiques nationaux qui en résultent sont comparées avec les statistiques nationales (figure 3, «without past retrofit»). Les besoins de chauffage des bâtiments généralement surestimés sont notamment corrigés en tenant compte des assainissements historiques. Les hypothèses concernant le nombre de bâtiments, la date de la rénovation et le type d'assainissement (par exemple toit, mur, sol, fenêtres) sont basées sur les conclusions de Streicher et al. (2018) selon le type et l'âge du bâtiment.

## Besoins énergétiques nationaux

Dans chaque cluster, les profils horaires spécifiques sont mis à l'échelle avec la surface de référence énergétique (EBF) correspondant à ce cluster, en fonction du parc immobilier. Cette extrapolation est possible pour différentes résolutions spatiales (par exemple commune, arrondissement, canton ou pays). Ensuite, les profils de demande spécifiques à chaque cluster sont agrégés afin d'obtenir les profils de demande du parc immobilier pour l'unité géographique considérée. Une résolution spatiale au niveau du bâtiment est en principe possible, bien qu'elle exige davantage de calculs et qu'elle soit soumise à des incertitudes plus élevées en raison de l'approche retenue.

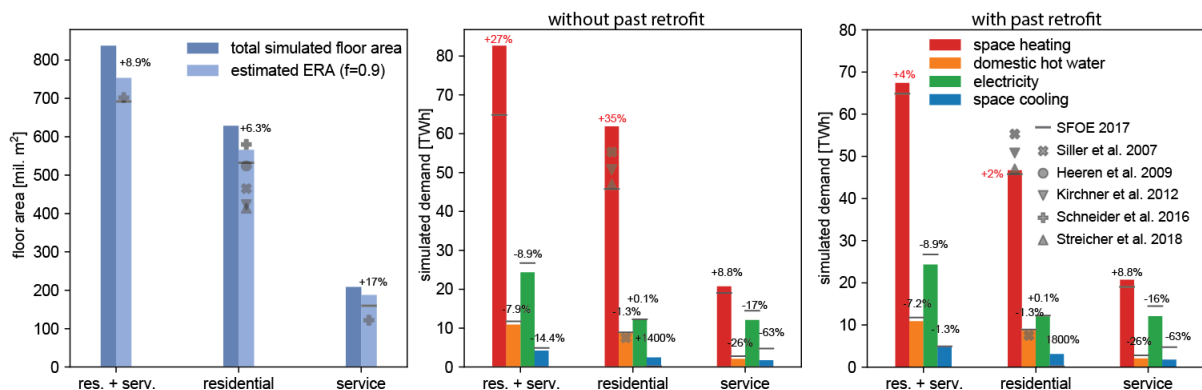
Différents profils horaires sont utilisés pour réduire les effets d'agrégation des pics de charge lors de l'extrapolation. La variabilité des profils de demande est déterminée par cluster de 50 comportements différents de bâtiment et d'utilisateur. La figure 2 montre les besoins agrégés par heure de la Suisse sur une période d'une semaine, avec des profils de demande nominaux et variables. Des pics de puissance considérables et irréalistes sont observés lorsque l'on utilise des profils nominaux (c'est-à-dire sans tenir compte de la variabilité). Les caractéristiques des profils de demande sont conservées, mais la coïncidence des pics est réduite, du moins dans une certaine mesure. Ce comportement se reflète également dans les valeurs plus faibles des coefficients de variation.



Comparaison des profils de demande horaires agrégés (c'est-à-dire extrapolés) pour le parc immobilier suisse avec les profils de charge variables (lignes rouges) et nominaux (lignes grises). Le tableau en regard du graphique résume les coefficients de variation (CV) pour chacun des profils: électricité (EL), eau chaude (DHW), chauffage des locaux (SH) et refroidissement des locaux (SC). Les besoins annuels en énergie sont identiques pour les profils nominaux et variables.

## Validation

Les besoins énergétiques nationaux pour l'électricité, le refroidissement et le chauffage sont calculés sur la base de l'analyse des regroupements et des clusters ainsi que de la simulation de la demande d'énergie spécifique à chaque bâtiment. L'extrapolation des besoins en énergie est basée sur 36 616 bâtiments individuels simulés, soit environ 2% de l'ensemble des bâtiments considérés. La figure 3 compare la surface de plancher en Suisse calculée avec les estimations de la surface de référence énergétique (SRE) tirées d'autres études. Les statistiques nationales de l'énergie mises à disposition par l'OFEN sont utilisées pour la validation des résultats ascendants. La SRE est calculée à partir de l'ensemble de la surface simulée, en prenant pour hypothèse un facteur moyen de surface chauffée de 0,9. Pour l'année de simulation 2016, les besoins annuels cumulés pour les bâtiments résidentiels et les bâtiments de services s'élèvent à 67,9 TWh pour le chauffage, à 10,9 TWh pour l'eau chaude, à 4,8 TWh pour le refroidissement et à 24,4 TWh pour l'électricité («with past retrofit»). Les besoins en électricité indiqués ne prennent en compte que les processus dans les bâtiments (éclairage, cuisine, appareils et TIC). Les besoins en chauffage électrique des locaux, en eau chaude sanitaire et en refroidissement des locaux sont pris en compte dans les catégories de consommation correspondantes: chauffage des locaux, eau chaude et refroidissement des locaux. Les besoins électriques de l'OFEN pour la réfrigération sont convertis en besoins de refroidissement des locaux en prenant pour hypothèse un COP de 3 pour la machine frigorifique.



Comparaison des surfaces de référence énergétiques (SRE) estimées et des besoins globaux de la Suisse avec les ouvrages spécialisés, avec et hors assainissements passés du parc immobilier d'habitation. Les différences en pourcentage entre notre étude et l'Office fédéral de l'énergie sont indiquées (source: OFEN, 2017, Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2016 nach Verwendungszwecken (Analyse de la consommation énergétique suisse entre 2000 et 2016 en fonction de l'application, en allemand).

## Besoins énergétiques nationaux à venir

Les futurs besoins énergétiques pour le chauffage des bâtiments, l'eau chaude, le refroidissement et l'électricité dans les bâtiments sont déterminés sur la base de leur évolution dans les «Perspectives énergétiques 2050+» (PE 2050+). De la même manière que pour la détermination du besoin en électricité de base, les valeurs des besoins PE 2050+ sont adaptées aux valeurs actuelles en fonction de l'évolution démographique. Il en résulte un pourcentage de variation des futurs besoins annuels en énergie des bâtiments par rapport aux besoins actuels (2018). Les profils horaires obtenus dans le modèle de bâtiment sont mis à l'échelle de manière linéaire sur la base du pourcentage d'écart. Dans les scénarios «offensif», l'évolution des besoins énergétiques est choisie conformément au scénario ZÉRO base des PE 2050+,

tandis que dans les scénarios «défensif», elle est modélisée en fonction de la valeur moyenne des scénarios ZÉRO base et «poursuite de la politique énergétique actuelle» (PPA).

### **Informations complémentaires**

Le modèle du parc immobilier et la validation spatio-temporelle de la méthode utilisée sont documentés en détail dans Eggimann, S., Vulic, N., Rüdüsüli, M., Mutschler, R., Orehounig, K., Sulzer, M., 2022. Spatiotemporal upscaling errors of building stock clustering for energy demand simulation. Energy Build. 258, 111844. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111844> (en anglais)

### **Citation**

Vulic, N., Eggimann, S., Sulzer, M., & et al. (13.12.2022): Spotlight Modèle de parc immobilier. Dans: Association des entreprises électriques suisses AES (13.12.2022): «*Avenir énergétique 2050*». Scénarios pour l'avenir énergétique et climatique. URL: [www.avenirenergetique2050.ch](http://www.avenirenergetique2050.ch).