

FLEXIBILITÉ ÉNERGÉTIQUE

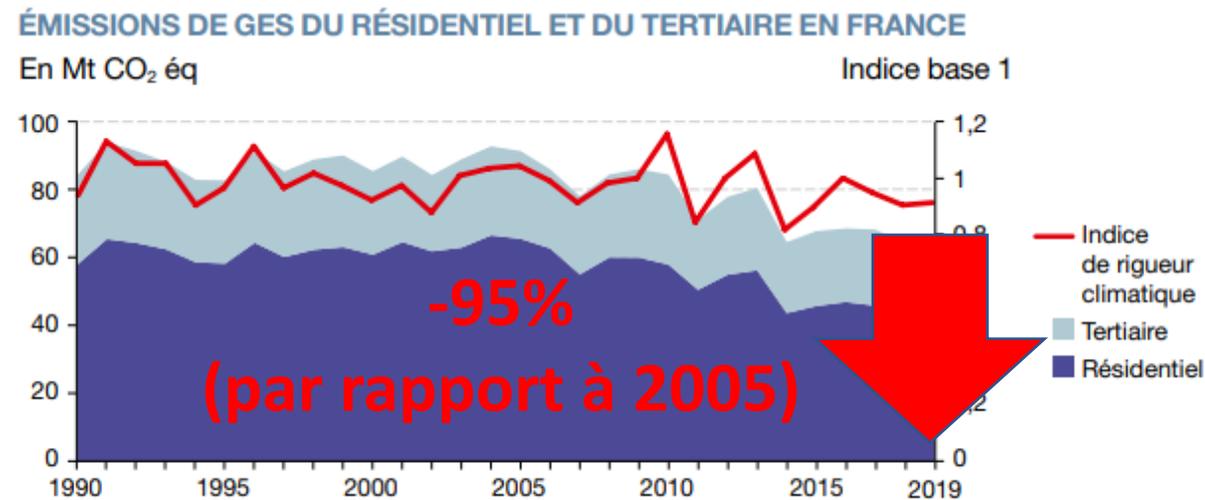
DE LA NÉCESSITÉ DE MIEUX INTÉGRER LES OCCUPANTS

JÉRÔME LE DRÉAU
(LA ROCHELLE UNIVERSITÉ, LASIE UMR CNRS 7356)

*Séminaire Grenoble energy transition academy
PT Green (27/10/2022)*

Le secteur du bâtiment en 2050

La SNBC implique de viser un budget carbone restreint à 5 MtCO₂e en 2050 pour être compatible avec la neutralité carbone

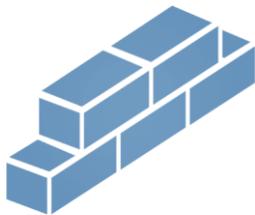
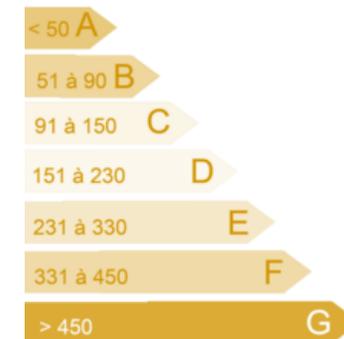
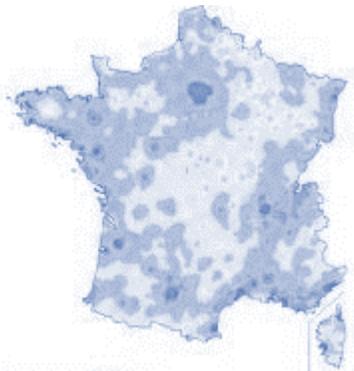


Sources : AEE, 2021 ; SDES, d'après Météo-France

Les leviers d'émissions GES

$$\text{CO}_2 = \text{Population Française} \times \text{Surface moyenne} \times \left[\text{Comportement énergétique} \times \text{Efficacité énergétique} \times \text{Intensité carbone de l'énergie} + \text{Matériaux} \right]$$

$[t_{CO_2}/an]$ $[hab]$ $[m^2/hab]$ $[-]$ $[kWh/m^2.an]$ $[t_{CO_2}/kWh]$ $[t_{CO_2}/m^2.an]$



Sommaire

1. La flexibilité énergétique des bâtiments

- a. Pourquoi ?
- b. Comment ?
- c. La flexibilité et les bâtiments



2. Utiliser la donnée pour modéliser (la flexibilité) des occupants

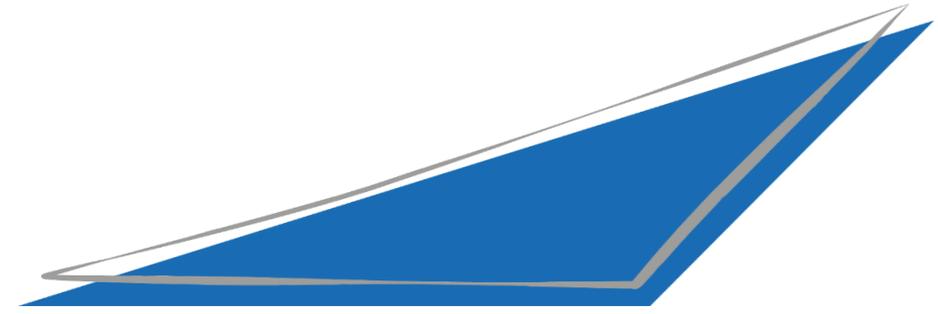
- a. Modéliser les occupants
- b. Cas de l'ajustement des thermostats



3. Le rôle des occupants: quelques exemples

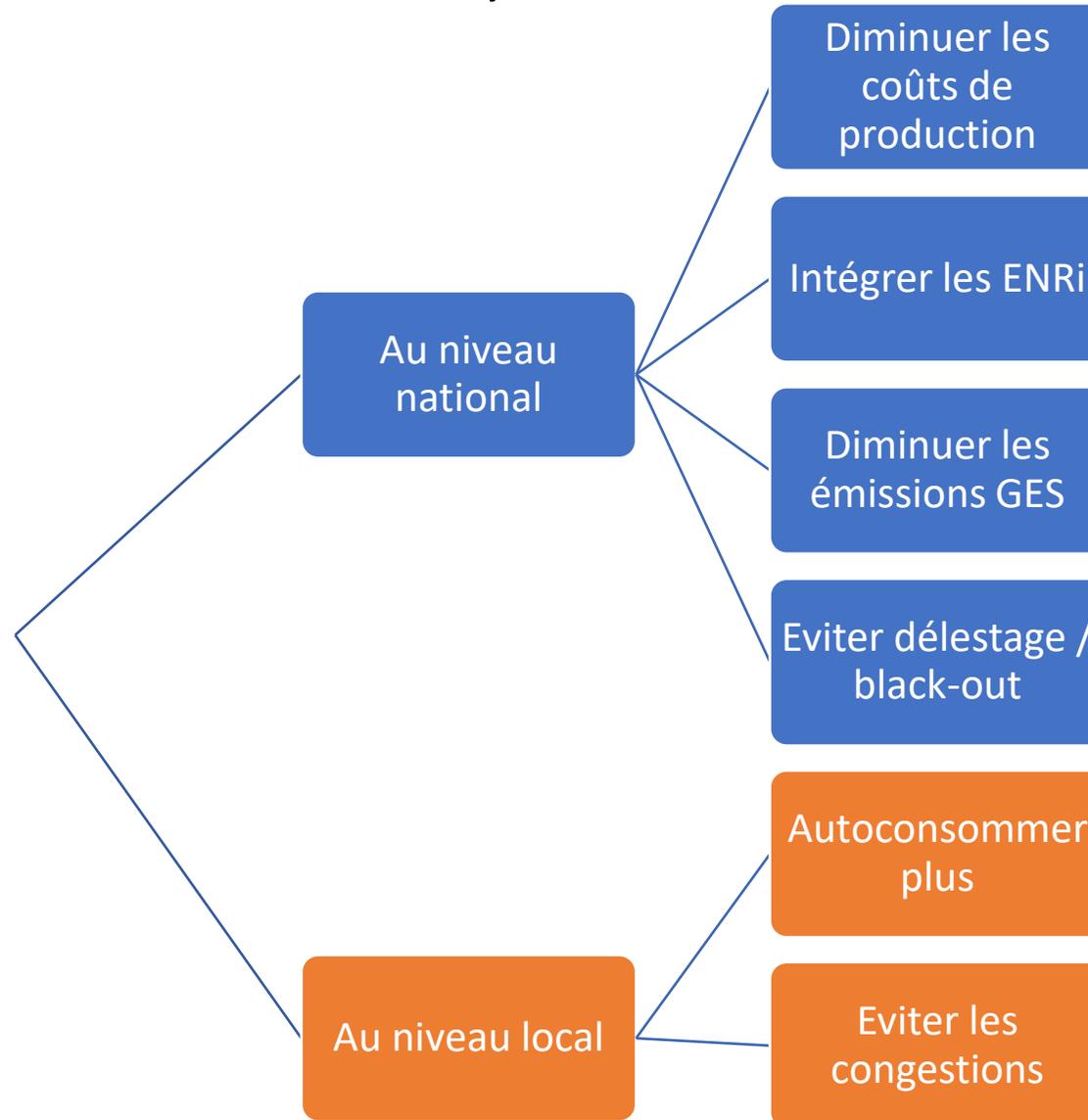
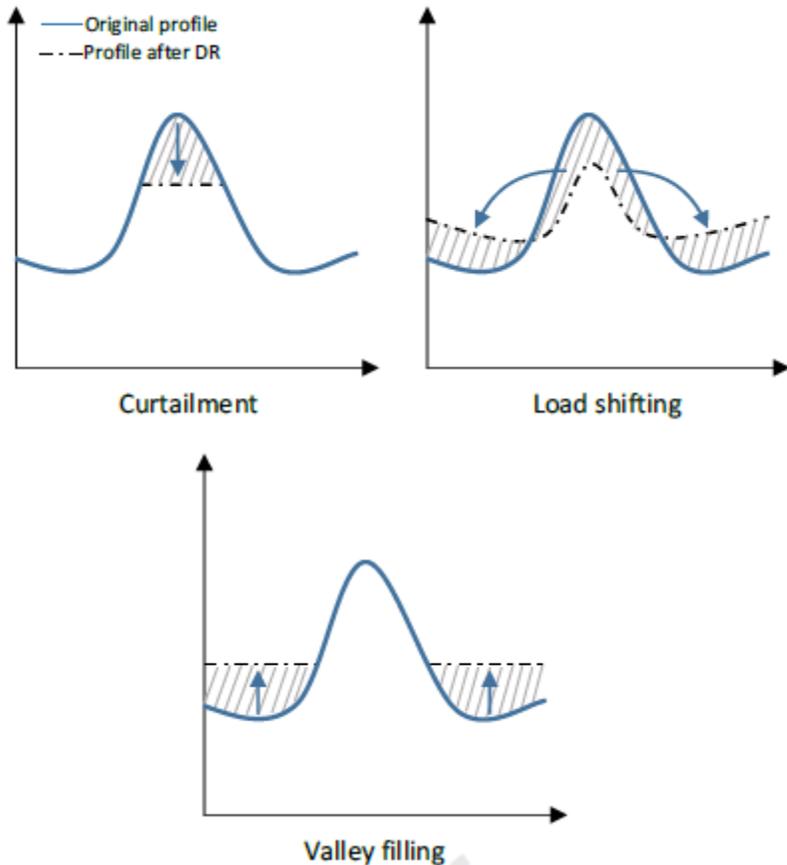
- a. Décalage d'usage de l'électroménager « blanc »
- b. Flexibilité sur le chauffage et Smart thermostat



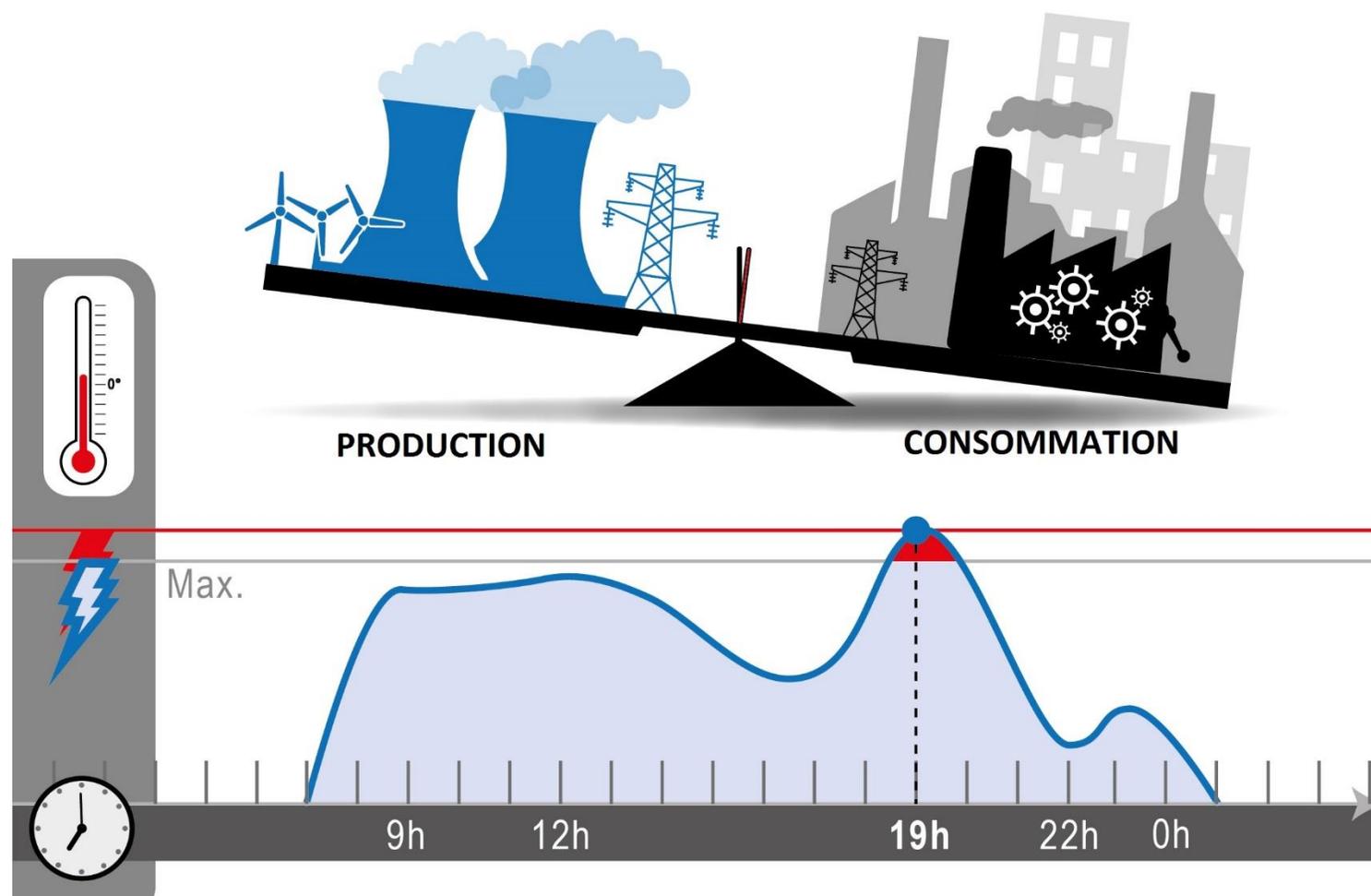


Partie 1: La flexibilité énergétique des bâtiments

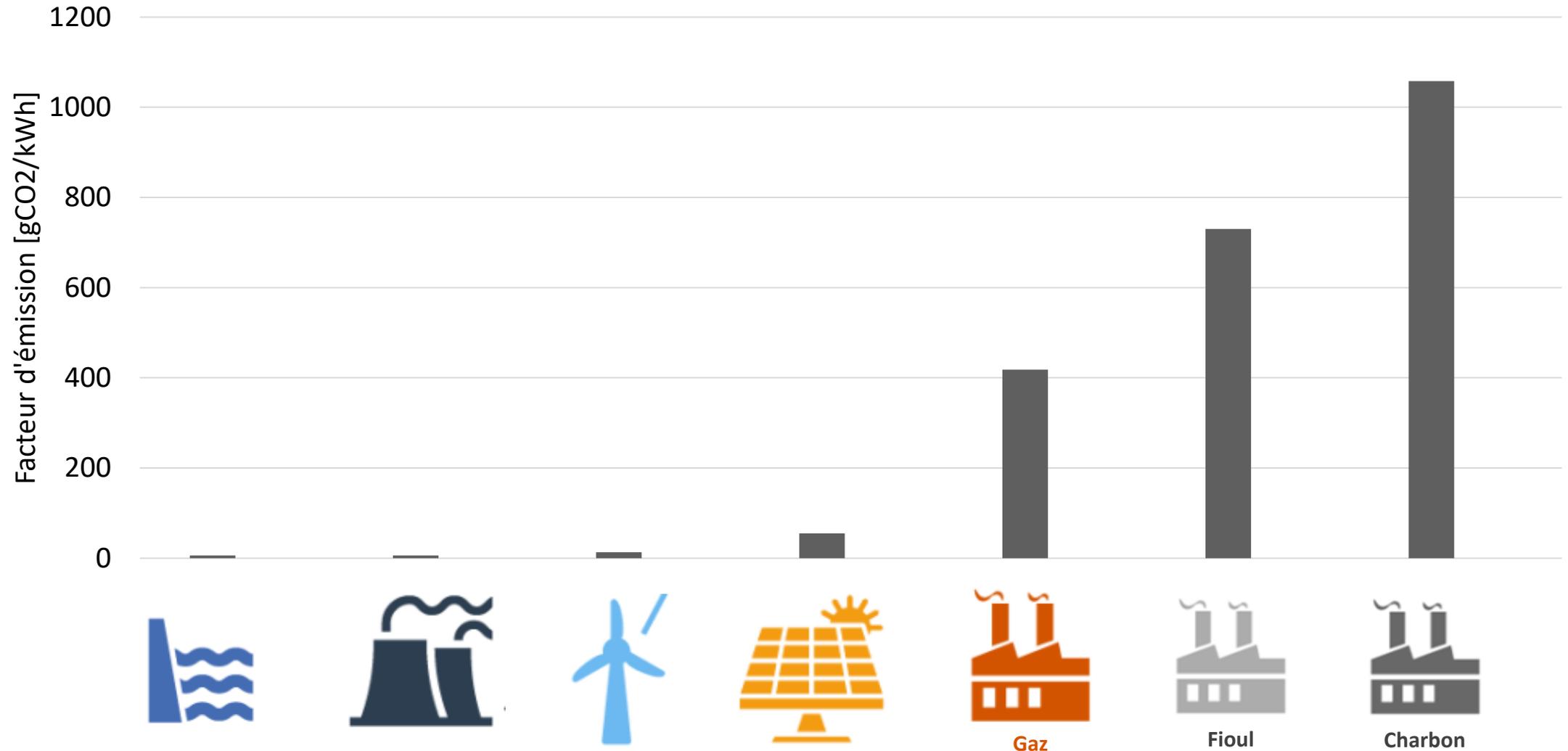
La flexibilité de la demande, pourquoi ?



La flexibilité de la demande, pourquoi ?

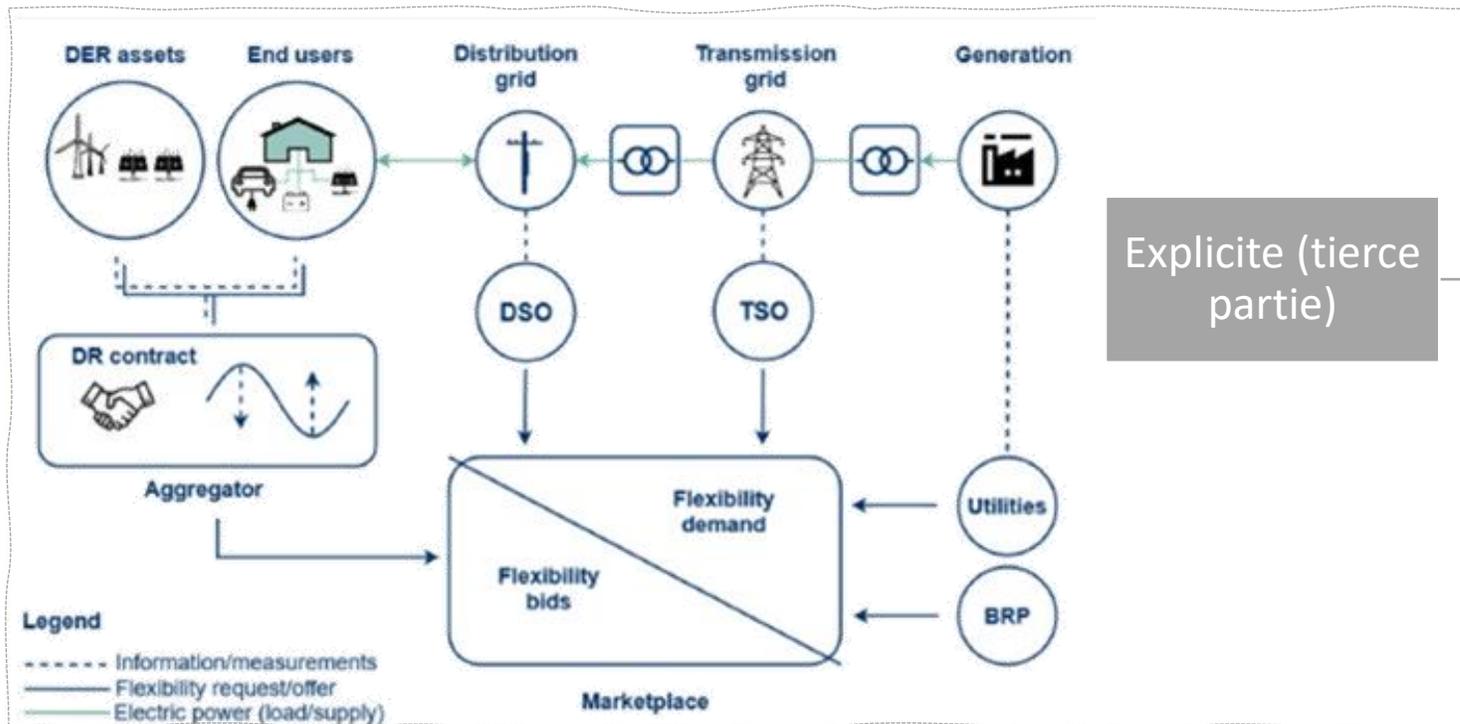
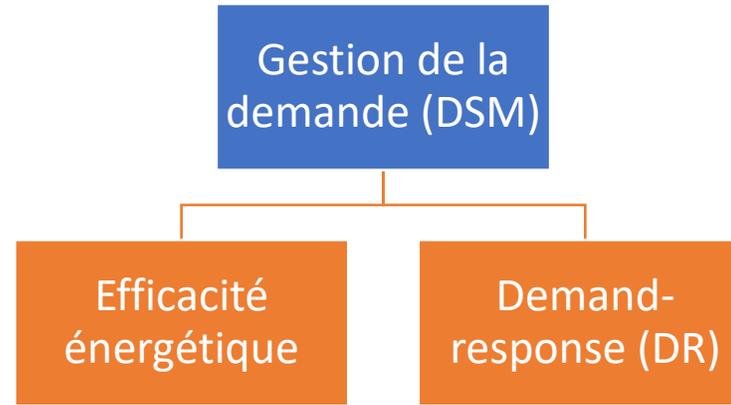


La flexibilité de la demande, pourquoi ?



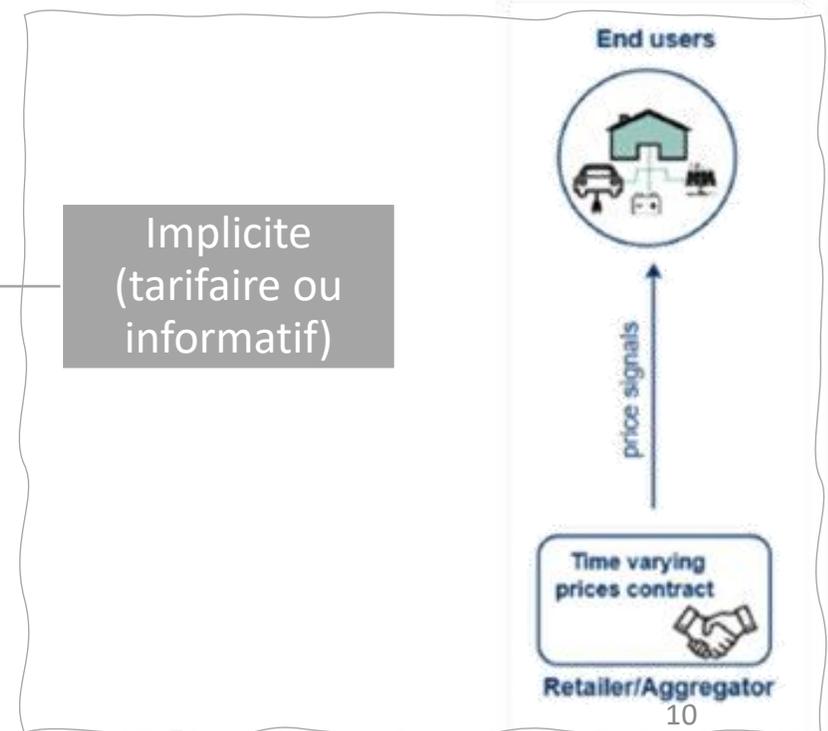
La flexibilité de la demande, comment ?

Source : D'Ettoire, F., et al. "Exploiting demand-side flexibility: State-of-the-art, open issues and social perspective." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 165 (2022): 112605.



Explicite (tierce partie)

Implicite (tarifaire ou informatif)



Pour l'hiver 2022-2023, soyons flexibles !

- Implicite incitatif (EcoWatt + campagne nat.)
- Implicite tarifaire (ECS via Linky)
- Explicite, requête DR (dont Voltalis)

Crise énergétique : la météo de France
Télévisions se met au vert avec les indicateurs EcoWatt

Publié le 02/10/2022 16:17 Mis à jour le 02/10/2022 16:54

Chaque geste compte
(CONSCIENCE ÉNERGIE)

Pour économiser l'énergie, on agit, on réduit.

Je baisse Je l'éteins Je décale

2

du vert

éco watt

éco watt

éco watt

Le logo EcoWatt est composé de trois éléments : un éclair orange, un éclair vert et un éclair rouge, chacun accompagné du texte 'éco watt'.

Le Parisien

Crise de l'énergie : cet hiver, Enedis pourra «couper» l'eau chaude à distance

Pour éviter des coupures, Enedis prévoit de réduire les plages horaires d'heures creuses, où l'électricité est moins chère, afin d'éviter un surplus de consommation à certains moments de la journée. La filiale d'EDF pourra envoyer des consignes directement aux compteurs Linky installés dans les foyers.



À partir du 15 octobre, une partie des clients ayant souscrit à un abonnement heures pleines/heures creuses ne pourront plus profiter de leur eau entre midi et 14 heures. Pour effectuer ce réajustage des usages, Enedis pourra opérer à distance grâce aux compteurs Linky. Illustration, LPAurèle Audureau.

Par Emma Benoit

Le 4 octobre 2022 à 10h30, modifié le 5 octobre 2022 à 08h53

Appel d'offres effacement
2023 : un volume d'effacement
retenu à nouveau en hausse

27.09.2022 INSTITUTIONNEL

RTE, Réseau de Transport d'Electricité, a présenté vendredi 23 septembre 2022 les résultats de l'appel d'offres d'effacement 2023.

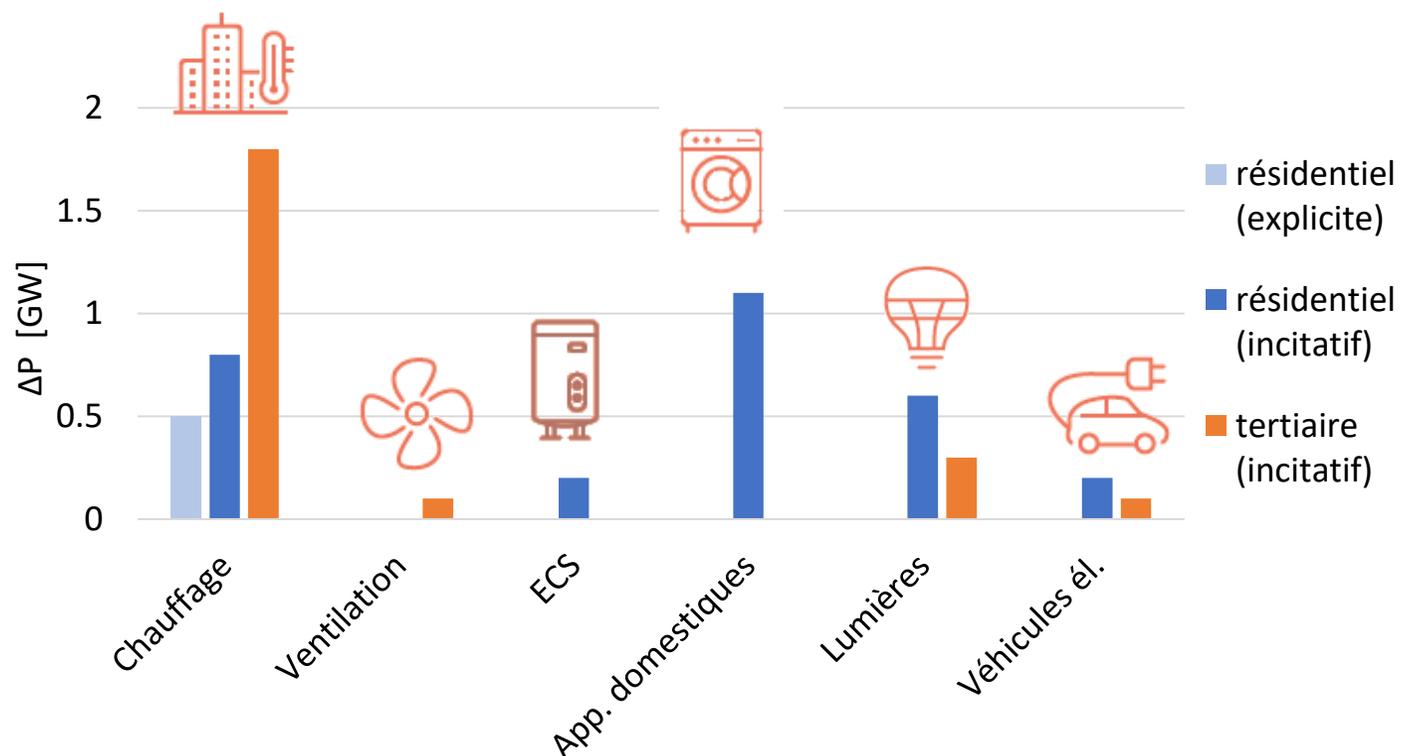
Le volume d'offres d'effacement retenu pour l'année 2023 est de 2 702 MW, en hausse pour la troisième année consécutive (+36 % par rapport à 2022).

Pour la première fois, les candidats du lot 1 (sites avec une puissance souscrite inférieure ou égale à 1 MW) pouvaient répondre avec des offres de durées comprises entre 1 et 10 ans, la puissance offerte pouvant être croissante les 4 premières années pour les offres de durées supérieures ou égales à 4 ans. La mise en place de ces contrats pluriannuels a porté ses fruits avec une nette augmentation des volumes retenus sur ce lot (770 MW contractualisés au maximum lors d'une même année sur la période décennale à venir, contre 141 MW en 2022).

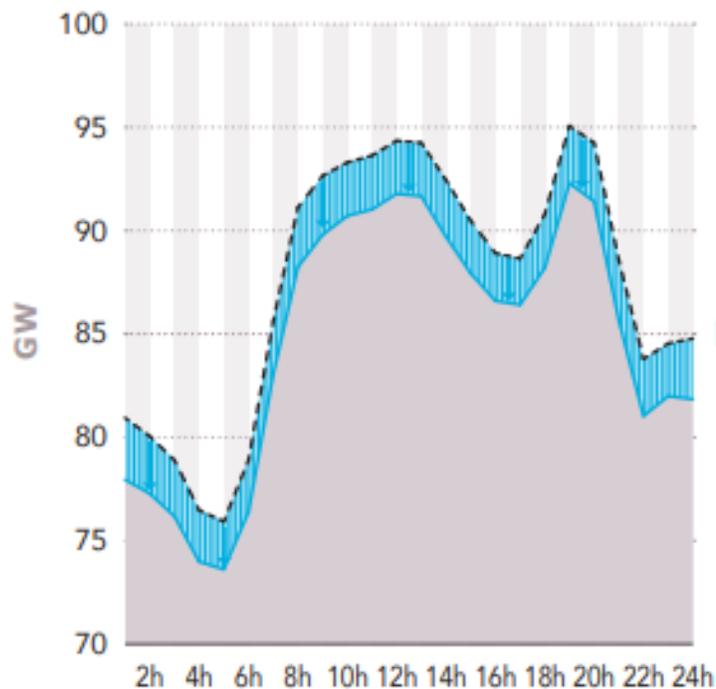
Pour l'hiver 2022-2023, soyons flexibles !

- Quel horizon temporel ?
- Quels usages ?

Exemples des leviers de flexibilité court-terme
(hiver 2022) en France

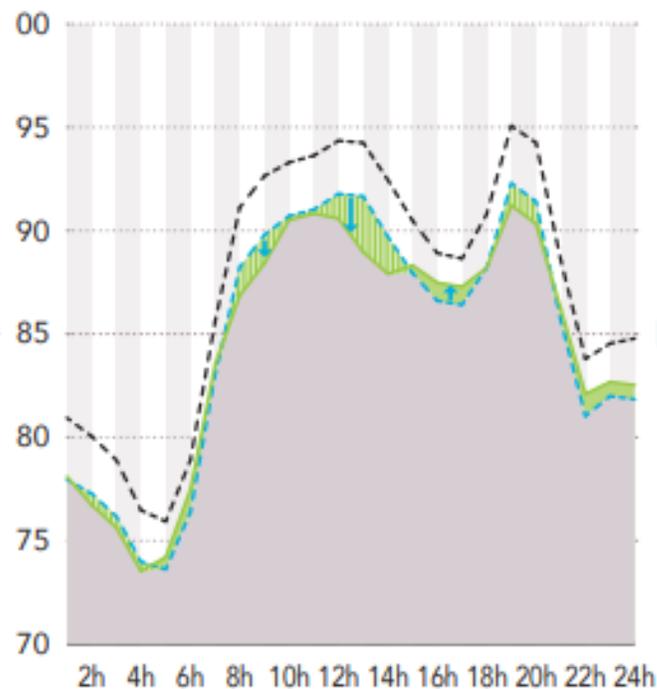


Économiser l'énergie



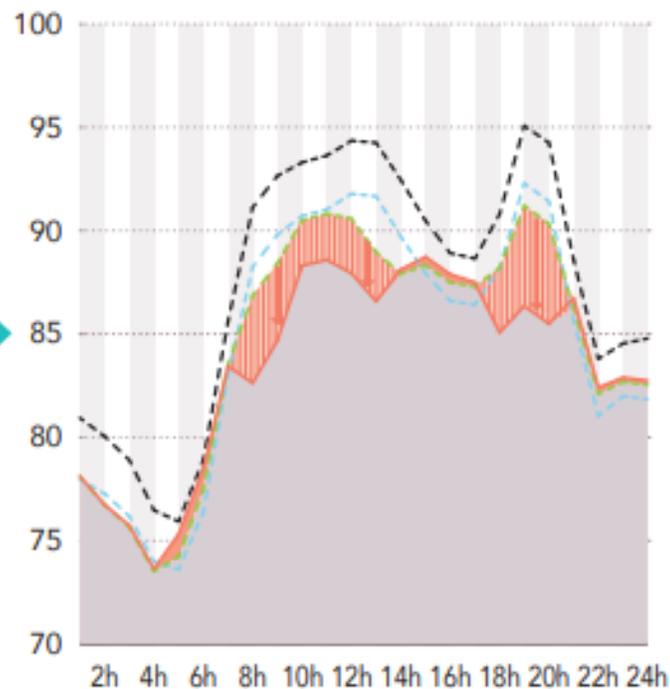
Abaisser durablement la consommation par des actions d'efficacité énergétique et de sobriété

Consommer régulièrement au meilleur moment



Lisser la consommation des secteurs résidentiel et tertiaire pendant les pointes de consommation

Réduire la consommation les jours « Ecowatt rouge »



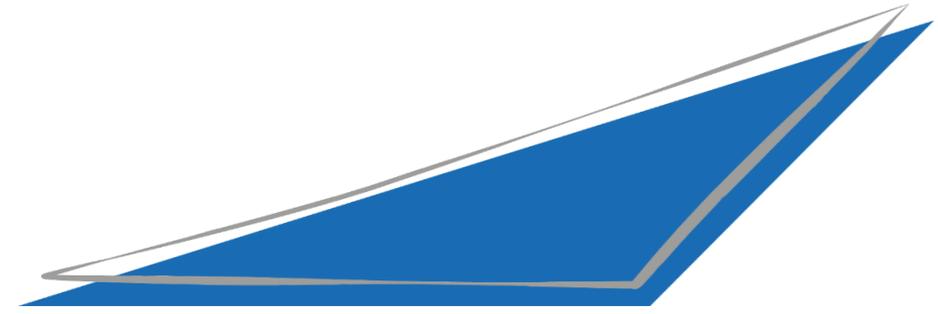
Limiter temporairement la consommation d'électricité lors des périodes les plus tendues

— Consommation de référence

— Consommation avec économies d'énergie

— Consommation avec économies d'énergie et décalage d'usages

— Consommation avec économies d'énergie, décalage d'usages et écocgestes lors de jours "Ecowatt rouge"



Partie 2 :
Utiliser la donnée pour
modéliser (la flexibilité) des
occupants

Modéliser les occupants

Déterministe

- Génération de profils fixes selon règles expertes
- Sources : réglementations

Data-driven

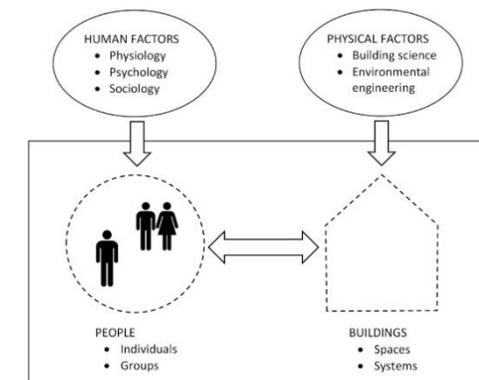
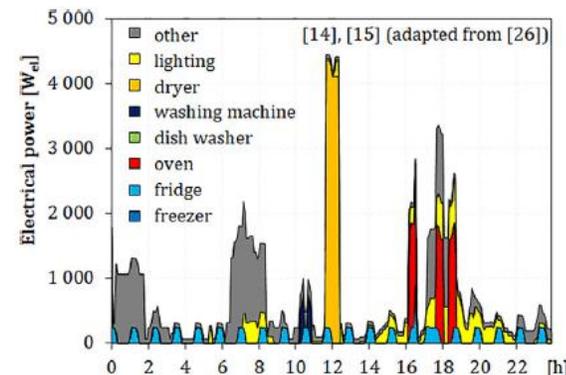
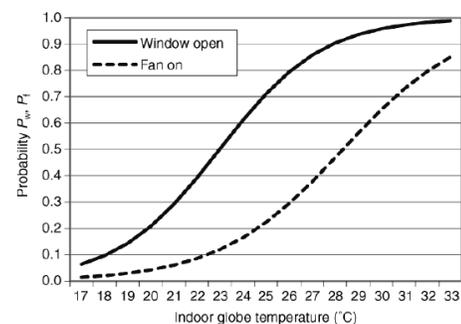
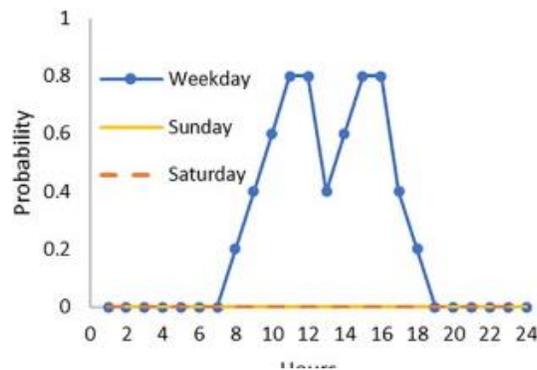
- Génération de profils par techniques statistiques / ML
- Sources : EET, enquêtes, mesures

Stochastiques/ probabilistes

- Génération de profils selon calcul probabiliste
- Sources : EET, enquêtes, données produits

Agents

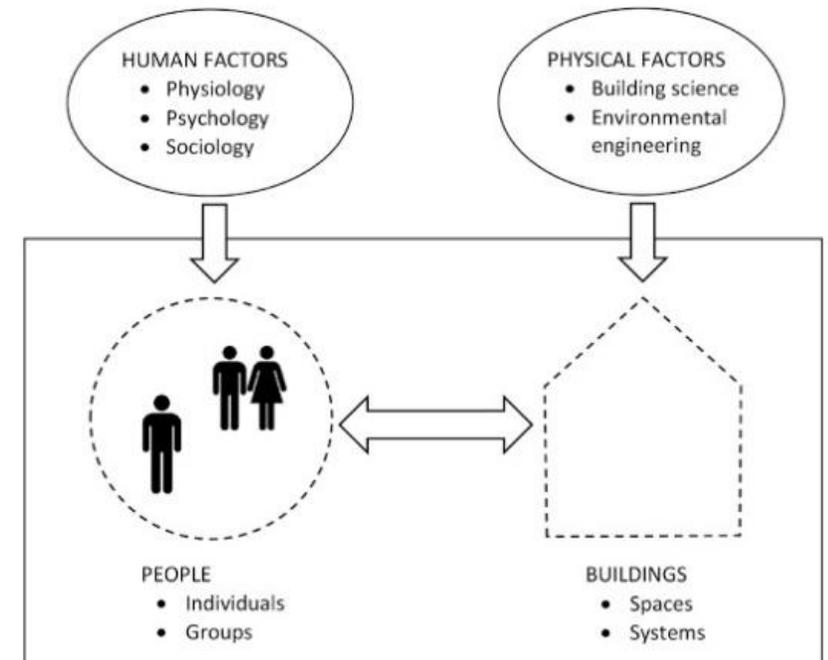
- Simulation des interactions avec l'environnement et autres agents
- Sources : TUS, mesures, sondages, règles expertes



Modèles à base d'agents

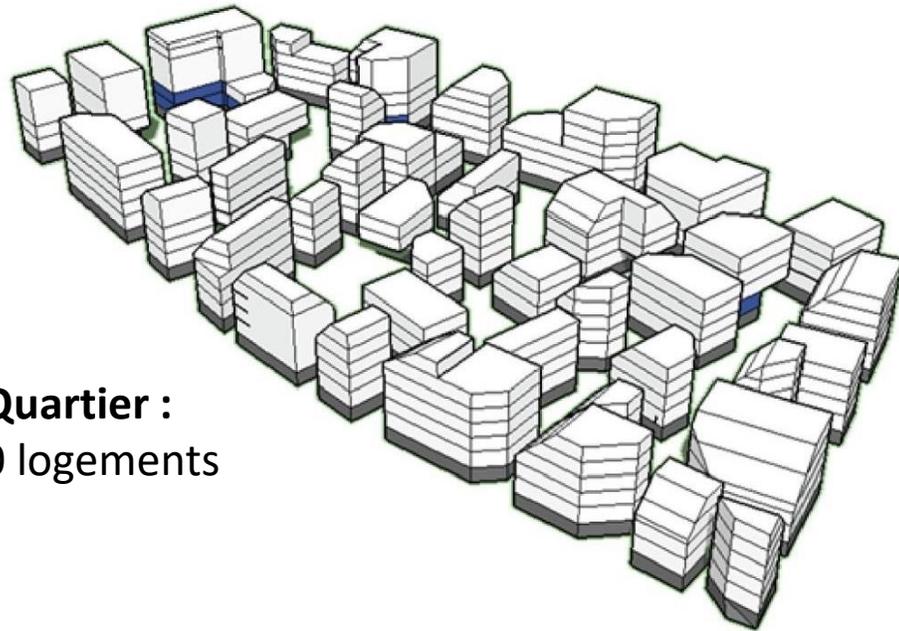
Technique de simulation qui reproduit des entités décisionnelles appelées agents. Chaque agent évalue individuellement sa situation/ environnement et prend des décisions sur la base d'un ensemble de règles

- Avantages : capturer l'hétérogénéité, l'apprentissage et l'adaptation, les interactions, les négociations ou encore les effets émergents découlant du comportement collectif
- Inconvénient : manque d'informations détaillées et fiables sur le comportement et les interactions des agents, complexité d'application



Développement d'un modèle d'interaction avec le thermostat

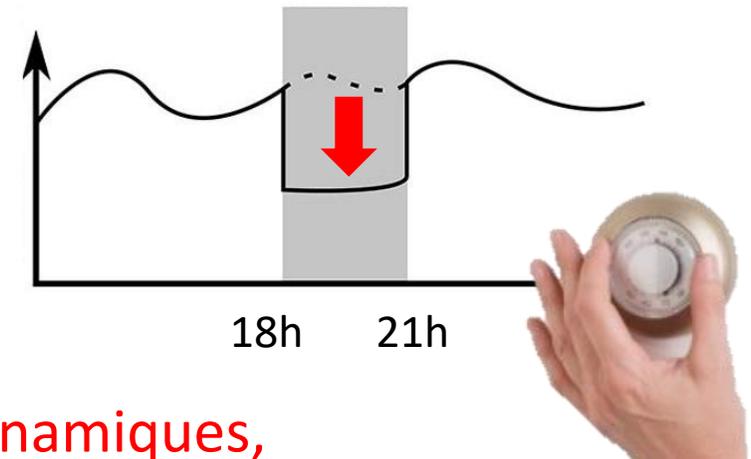
Objectif : modéliser l'inconfort thermique pour quantifier la flexibilité énergétique à l'échelle du quartier



Quartier :
340 logements

Exemple d'évènement de flexibilité : baisse de la température de consigne de **2°C** entre 18h à 21h

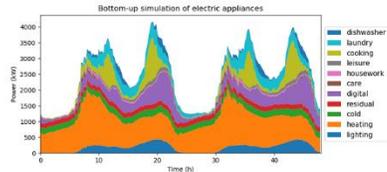
Température de consigne



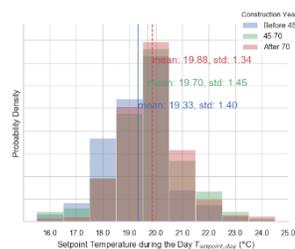
Défis : prédiction du confort thermique en conditions dynamiques, diversités des comportements

Développement d'un modèle d'interaction avec le thermostat

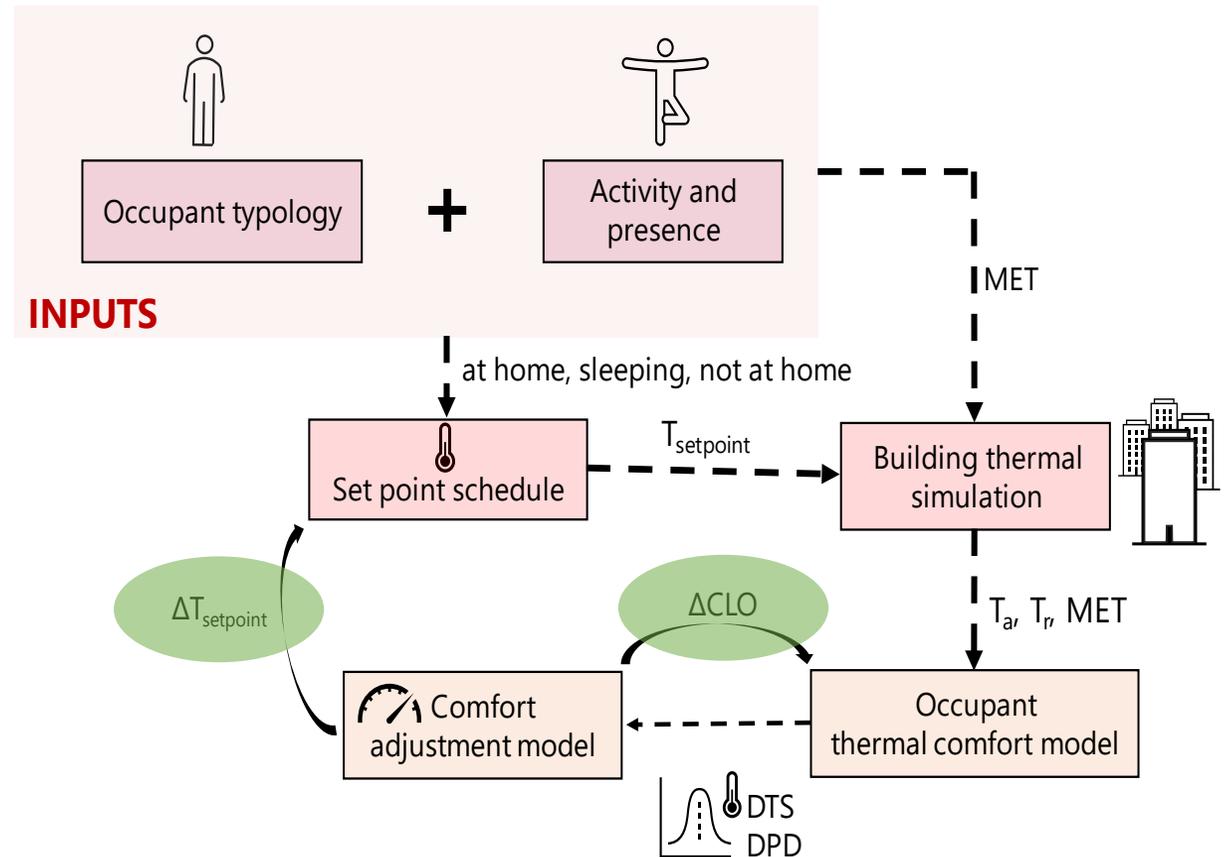
- Modèle stochastique d'occupants à partir des enquêtes emploi du temps INSEE



- Diversité des consignes (Phebus)

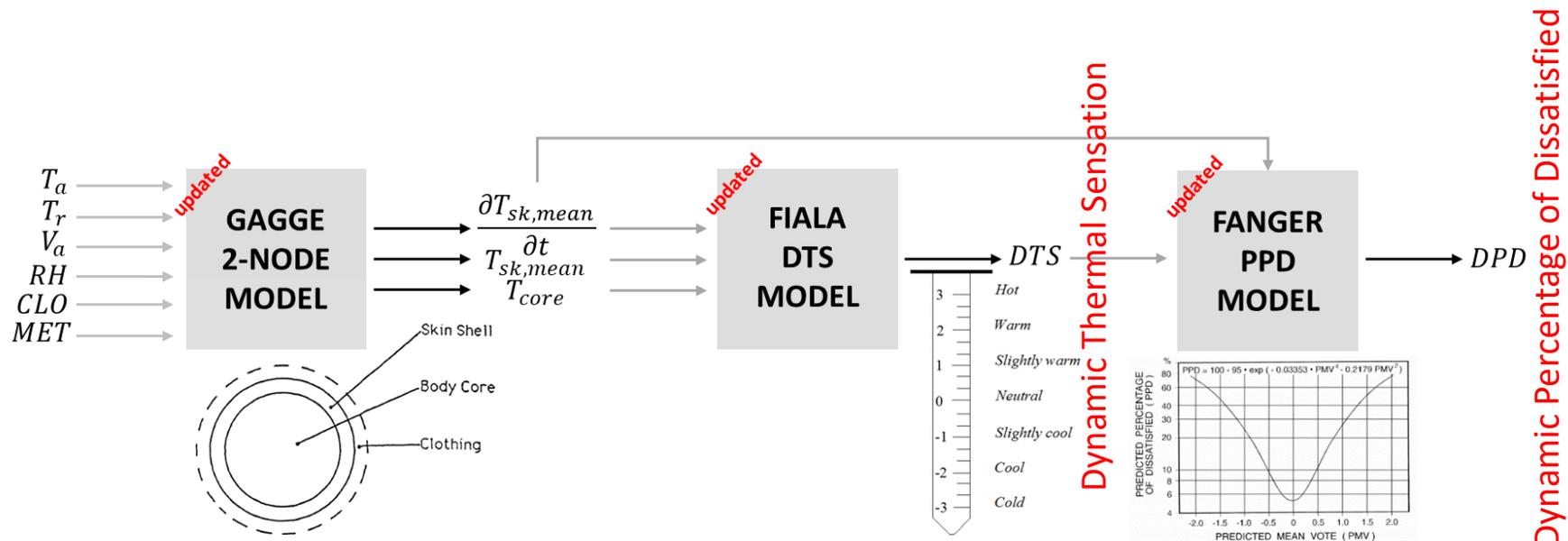


- Modèle d'adaptation des occupants basé sur le confort > Rejet des occupants en cas d'inconfort



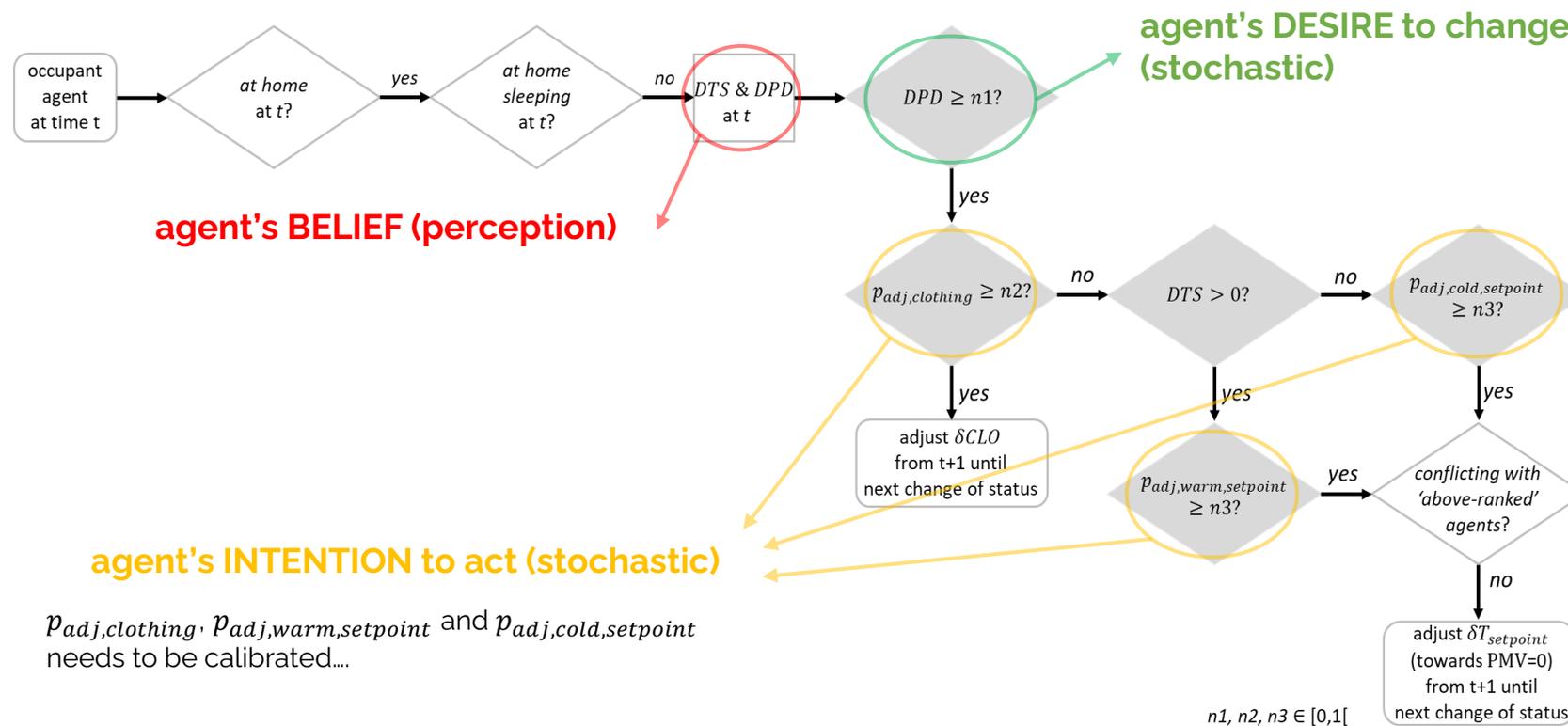
Développement d'un modèle d'interaction avec le thermostat

- Un modèle thermo-physiologique capable de simuler les températures corporelles centrales (T_{core}) et moyennes de la peau ($T_{sk,mean}$) dans des conditions uniformes
- Un modèle de perception thermique dynamique qui utilise les valeurs T_{core} et $T_{sk,mean}$ pour prédire à la fois la sensation thermique dynamique (DTS) et le pourcentage dynamique d'insatisfaits (DPD)



Développement d'un modèle d'interaction avec le thermostat

Chaque membre du ménage est modélisé comme un agent avec un ensemble d'attributs (statut, habillement et taux métabolique) et un ensemble d'actions adaptatives possibles (consigne et ajustement vestimentaire)



Développement d'un modèle d'interaction avec le thermostat

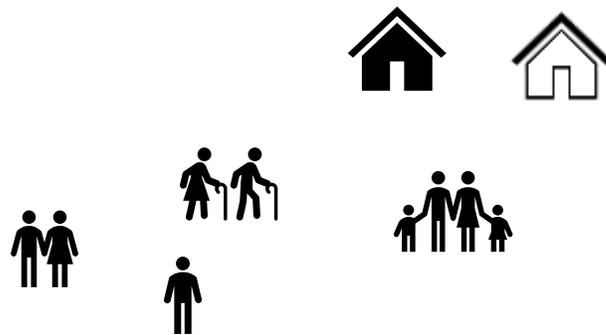
Données mesurée :

- Calibration à partir des données EcoBee (Amérique du Nord) de 27 000 thermostats connectés
- Résolutions de 5 minutes: température intérieure, humidité relative et capteur de mouvement (PIR)



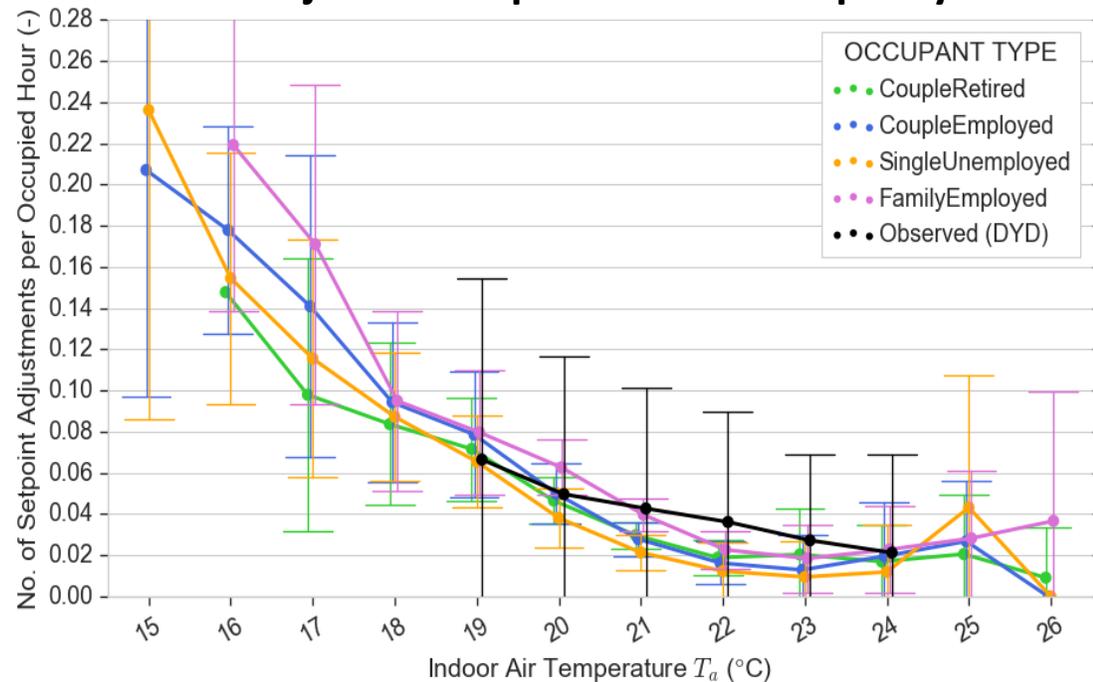
Simulations (×400) :

- 2 types de maisons individuelles :
 - Ancienne (RT 1982)
 - Récente (RT 2012)
- 4 types de foyers :
 - Famille de 4
 - Couple de retraités
 - Couple d'employés
 - Célibataire sans emploi
- Compte tenu de la nature stochastique du modèle, chaque simulation est répétée 50 fois

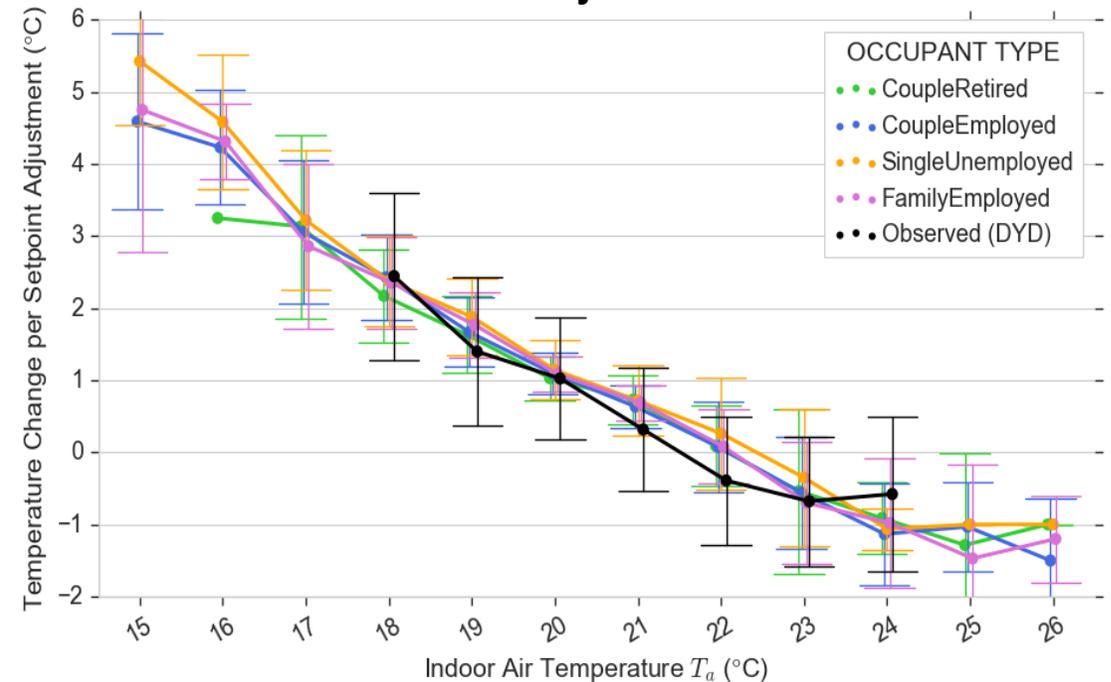


Développement d'un modèle d'interaction avec le thermostat

Mean number of manual heating setpoint adjustments per hour of occupancy



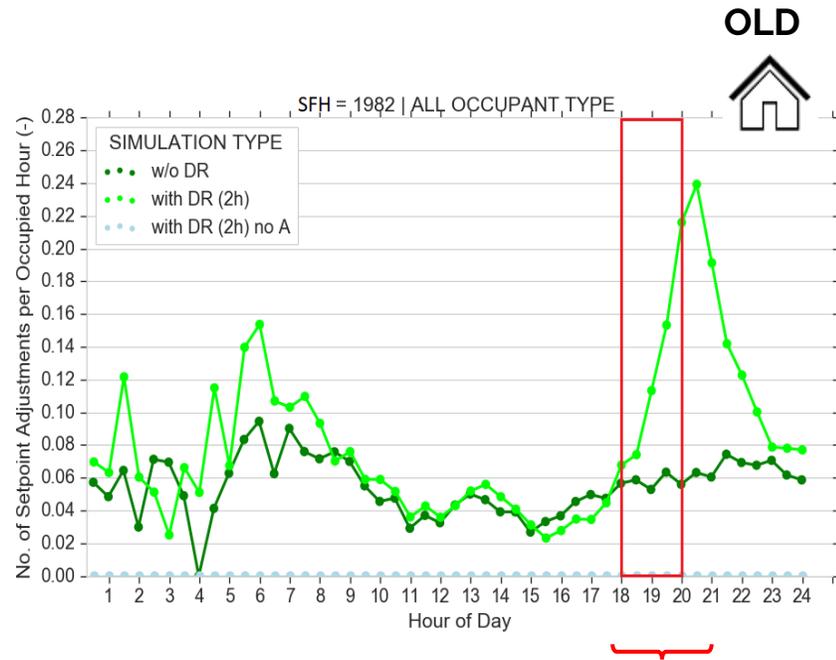
Mean heating setpoint changes per manual adjustment



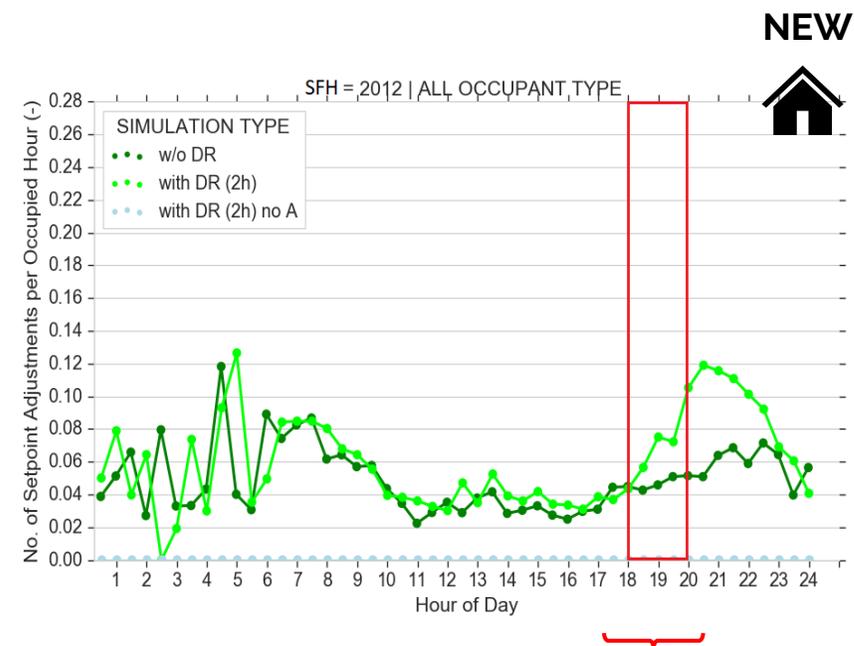
Data are binned as function of the hour of the day and are for the two types of buildings confounded. Error bars represent the standard deviation of the observations for each bin.

Développement d'un modèle d'interaction avec le thermostat

Mean number of manual heating setpoint adjustments per hour of occupancy



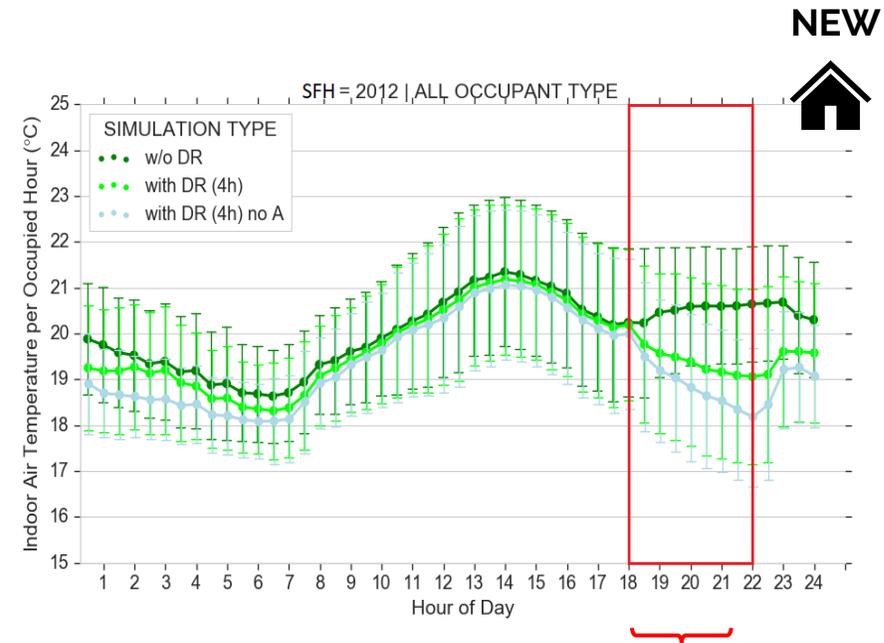
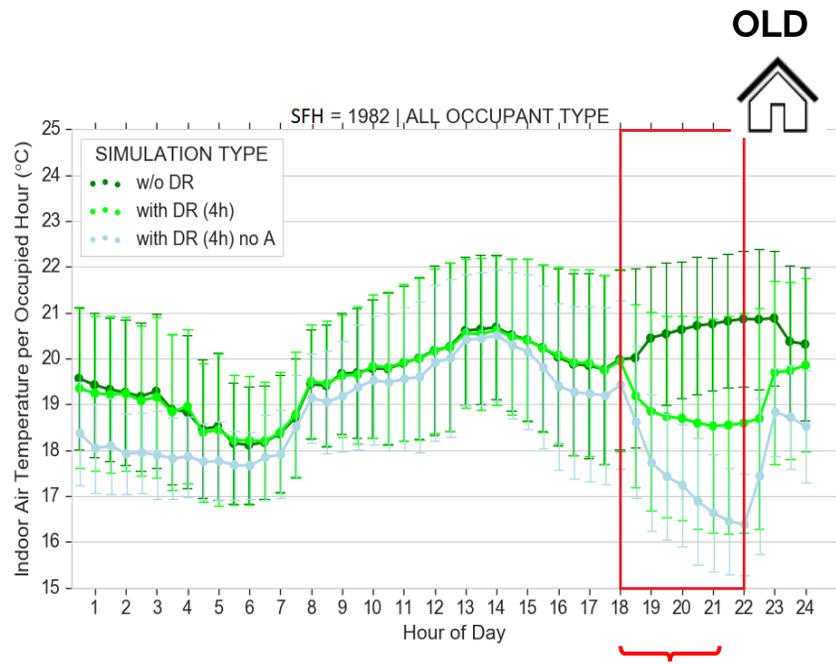
DR event

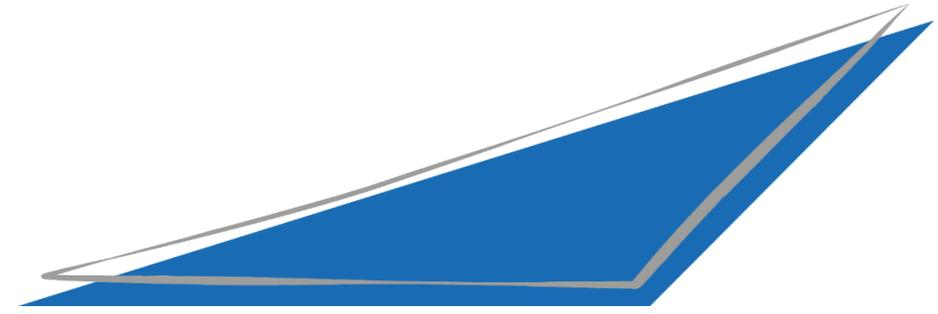


DR event

Développement d'un modèle d'interaction avec le thermostat

Mean indoor air temperature per hour of occupancy





Partie 3 :

Le rôle des occupants, quelques exemples

Flexibilité sur les usages blancs

Influence de la technologie sur l'acceptabilité :

- Solution : smart-start automatique
- Flexibilité obtenue: **14%** des cycles déplacés

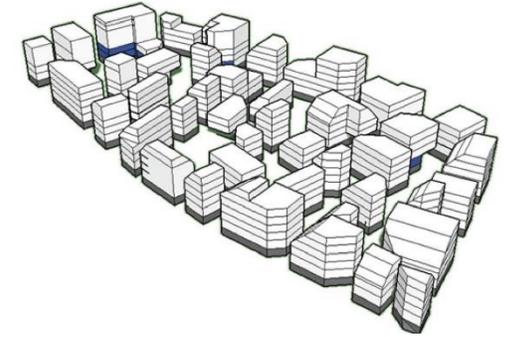
- Solution : décalage manuel
- Flexibilité obtenue: **24%** des cycles déplacés

Source: FR, enquête FroidLavage,
107 foyers (2015)

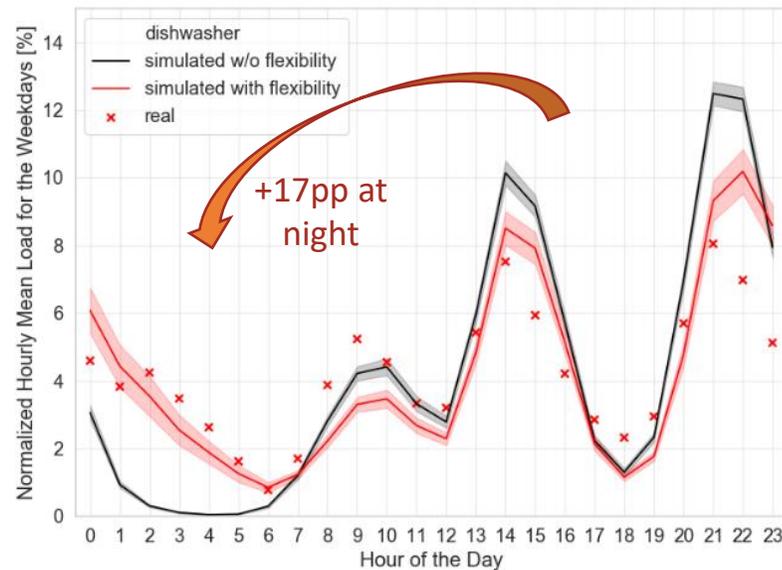
Source: BG, projet Linear



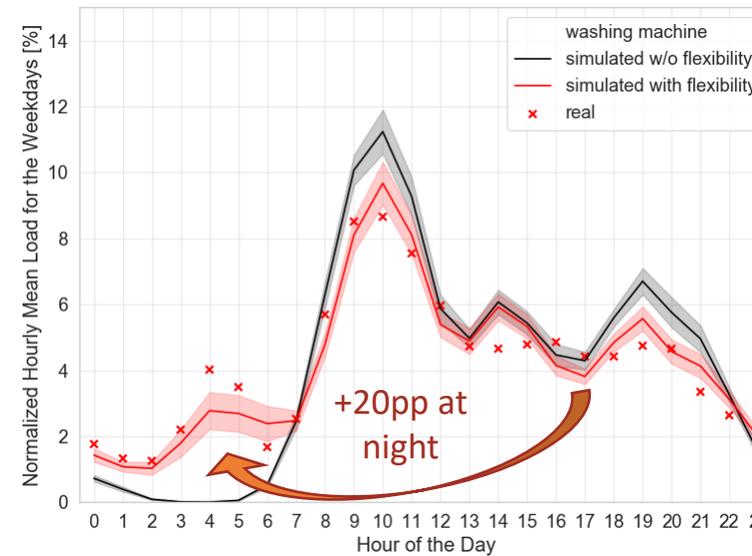
Flexibilité sur les usages blancs



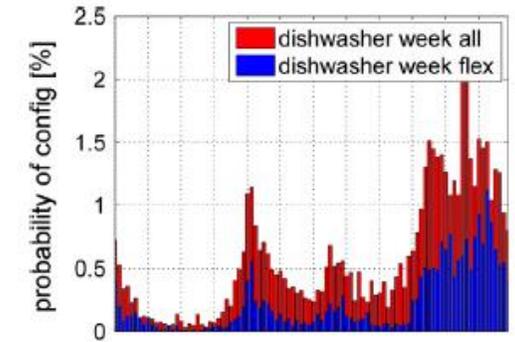
Influence de la tarification HP/HC sur le profil de consommation :



Dishwasher



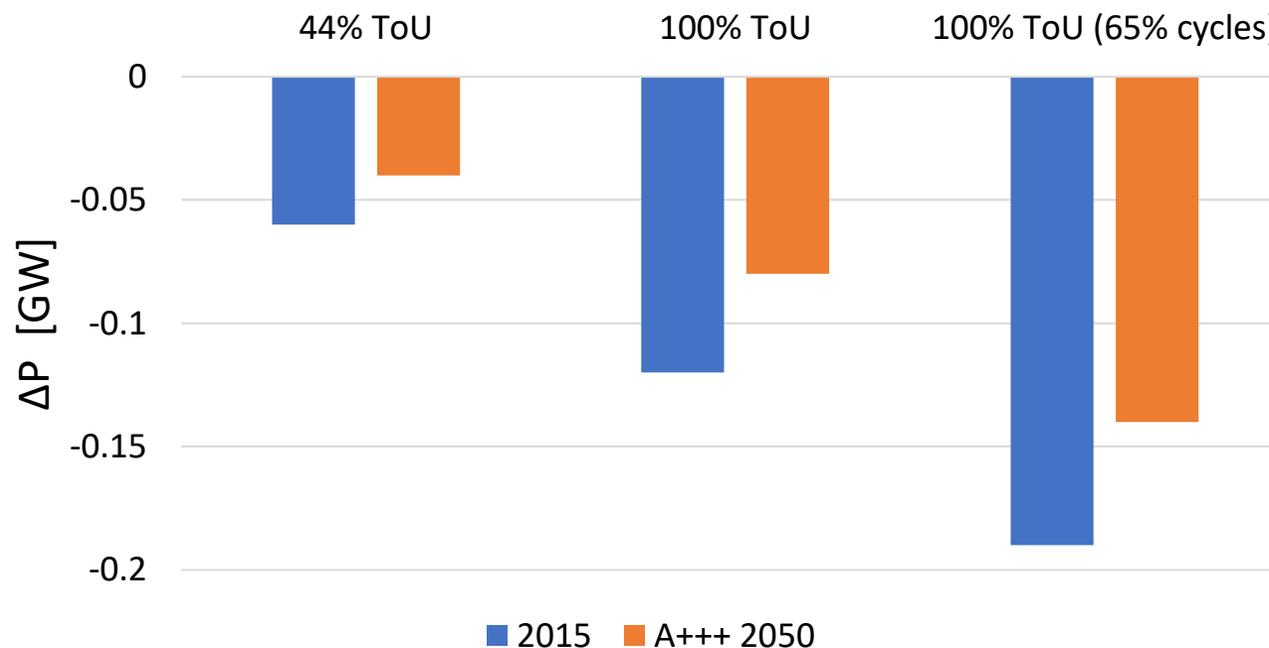
Washing machine



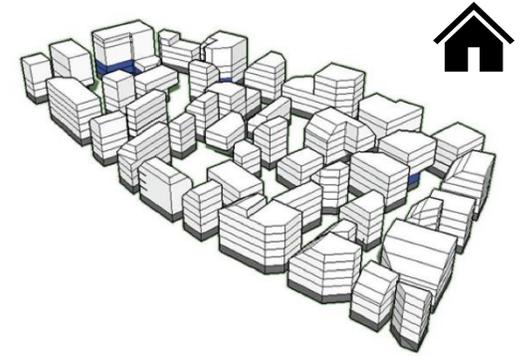
Flexibilité sur les usages blancs

Influence de la tarification HP/HC sur le profil de consommation :

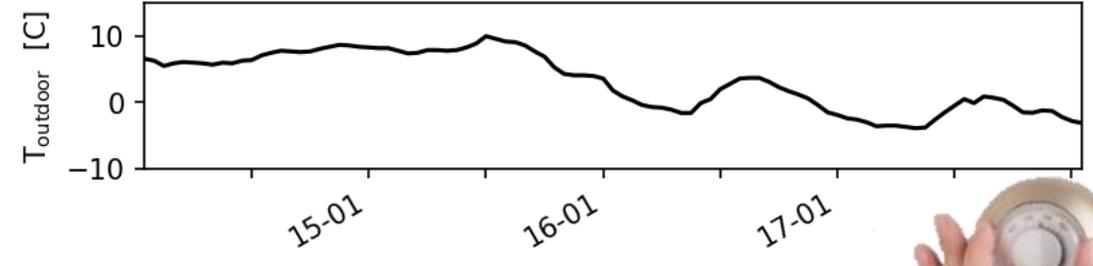
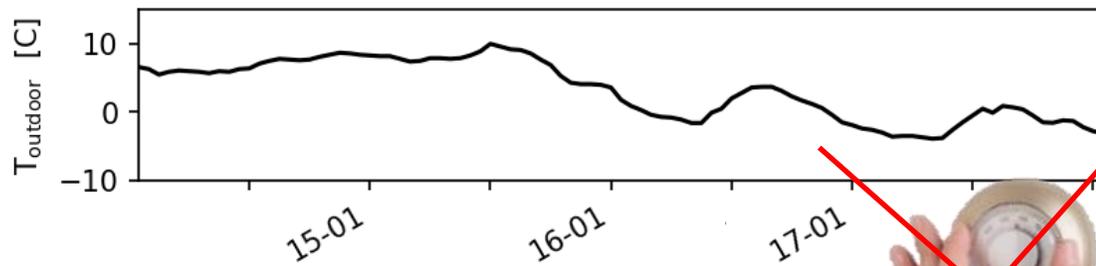
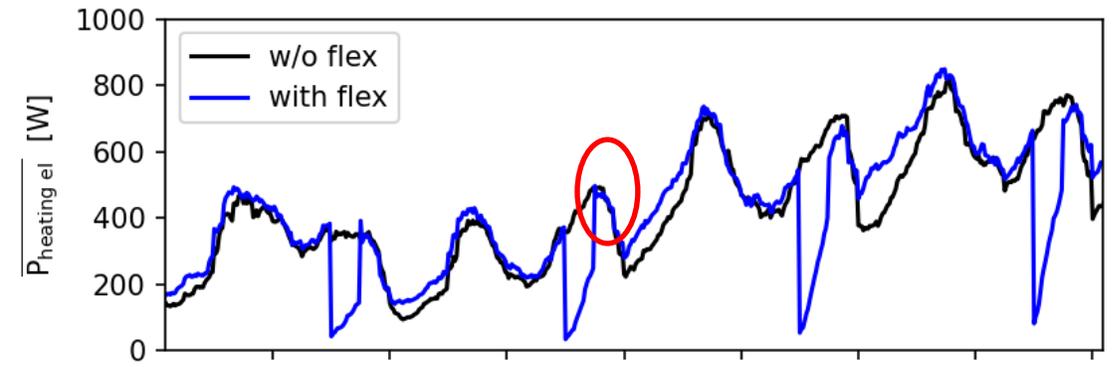
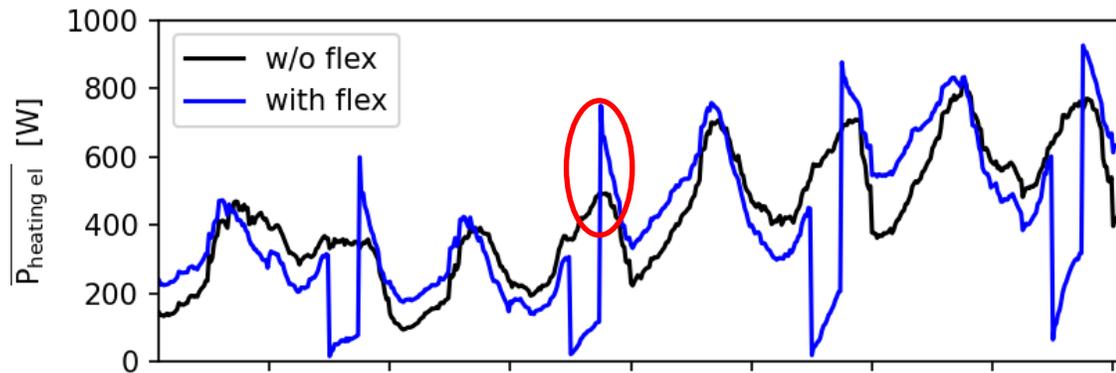
Decrease in the evening peak from dishwasher with different ToU and energy efficiency levels

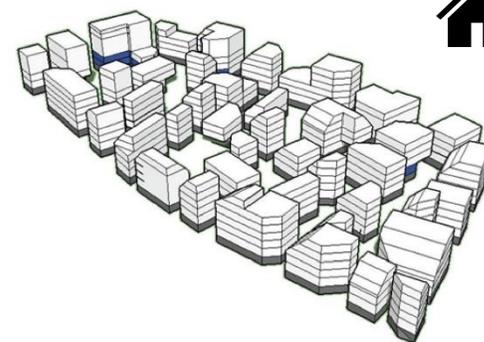


Flexibilité sur le chauffage



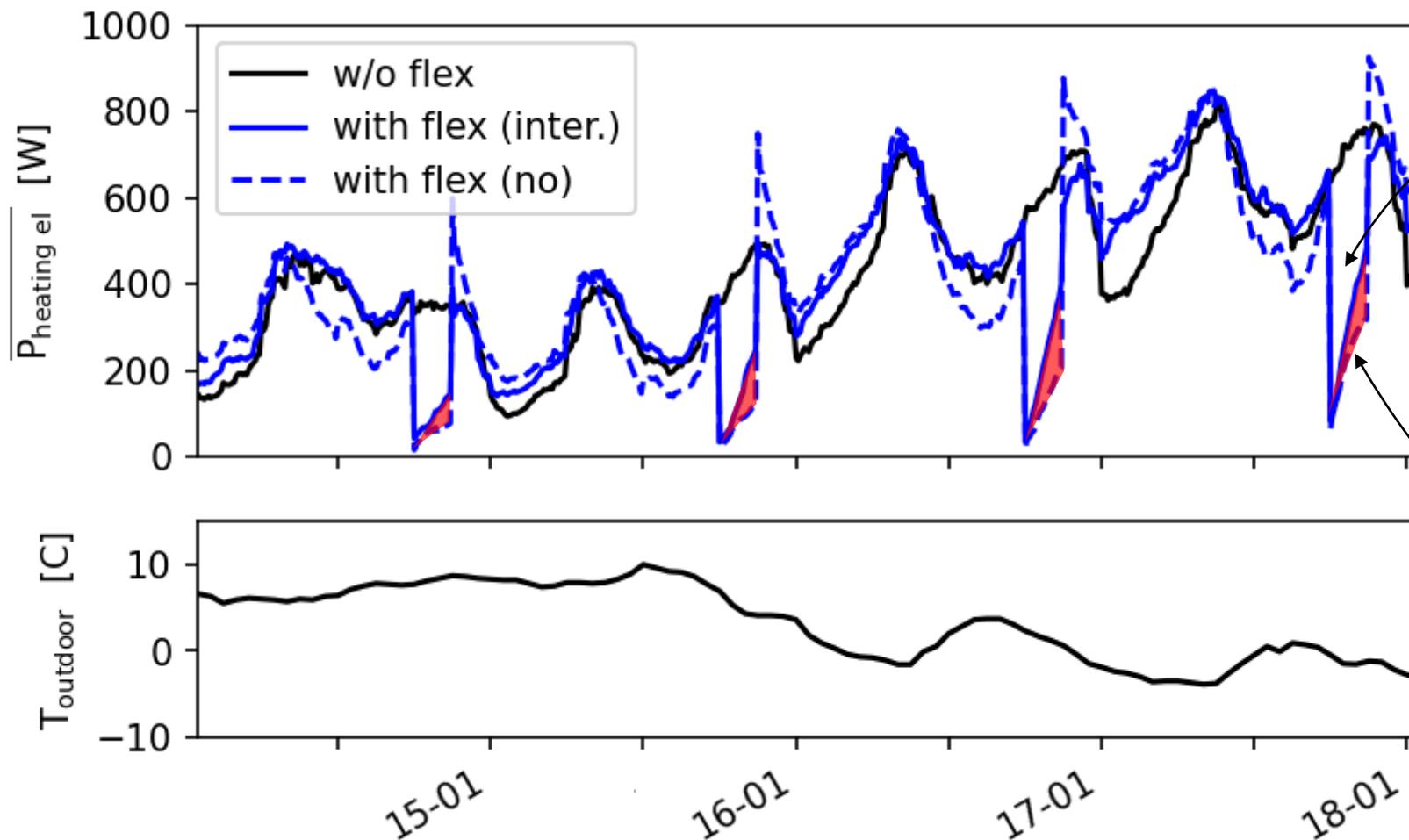
Influence de la technologie sur le rebond :





Flexibilité sur le chauffage

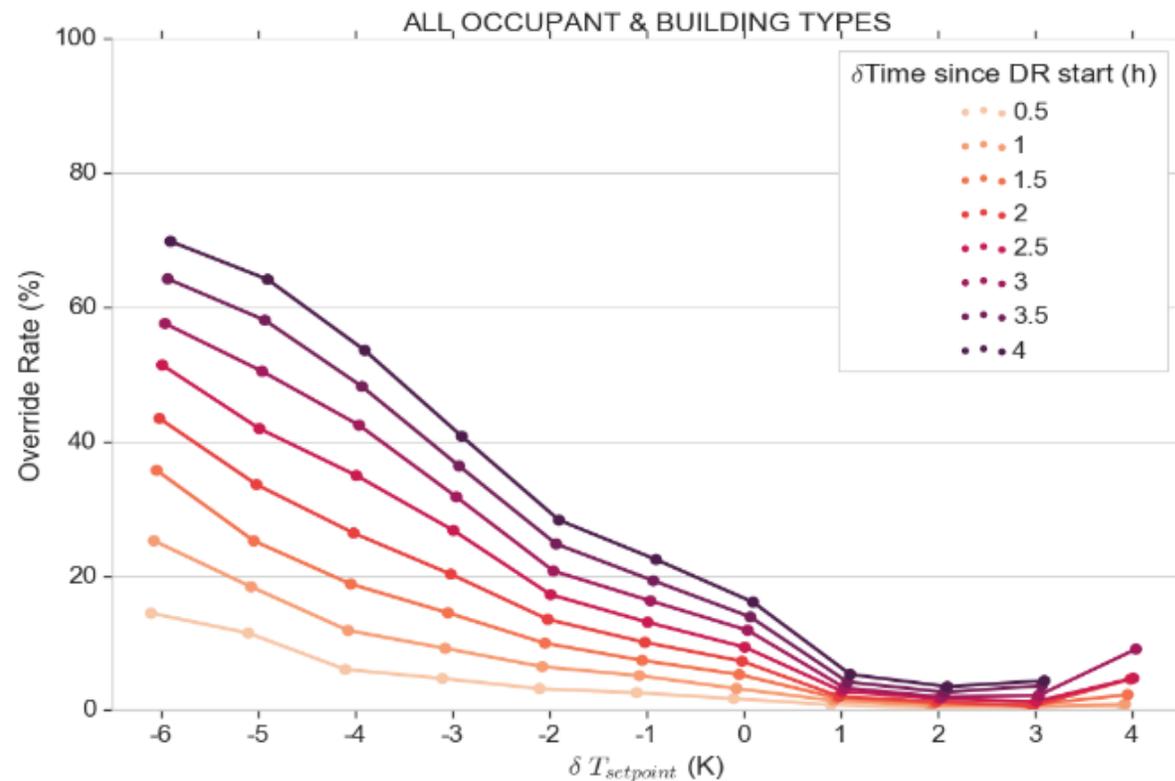
Influence de l'utilisateur sur le gisement de flexibilité :



Flexibilité sur le chauffage

Influence de l'enveloppe sur le gisement de flexibilité :

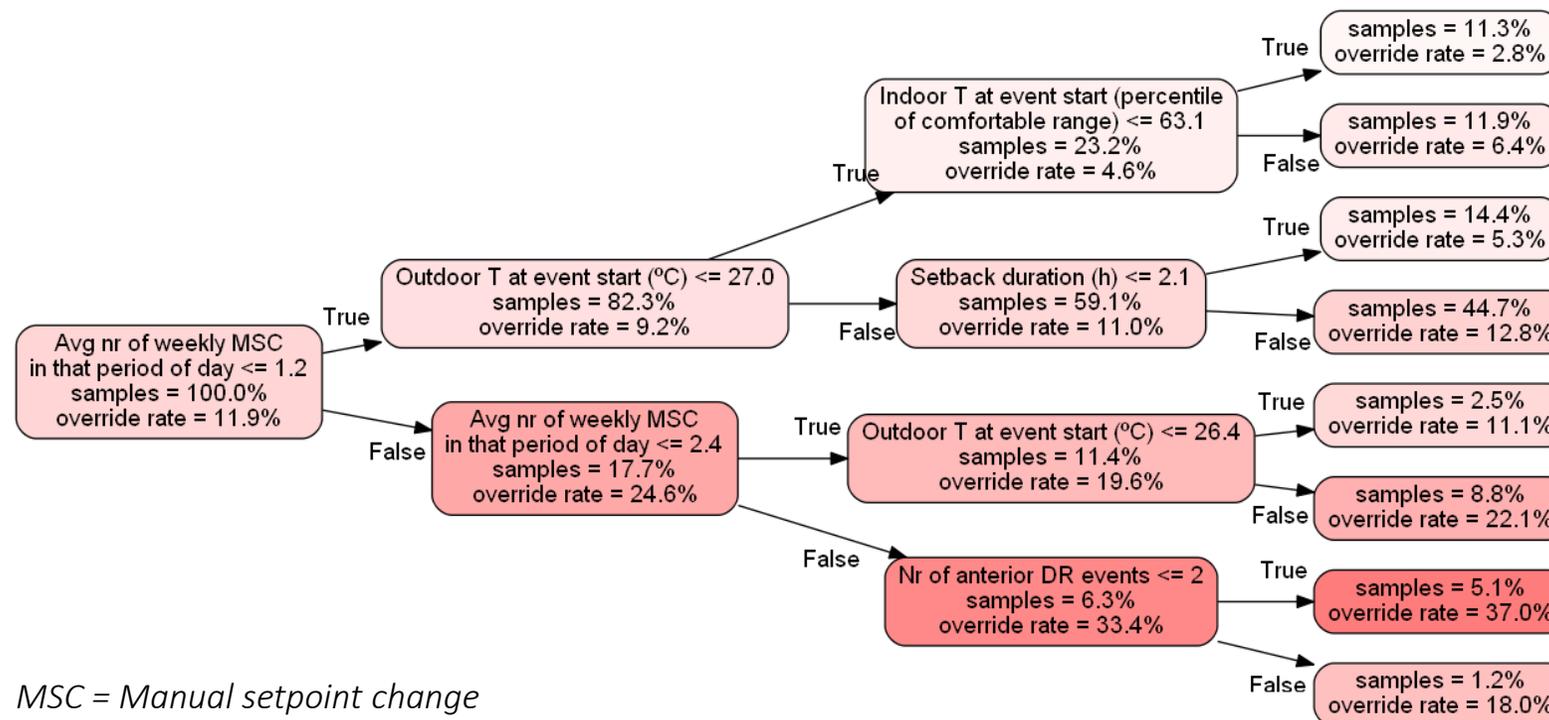
Override rate as a function of the distance from the setpoint temperature and the time from the start of the DR event



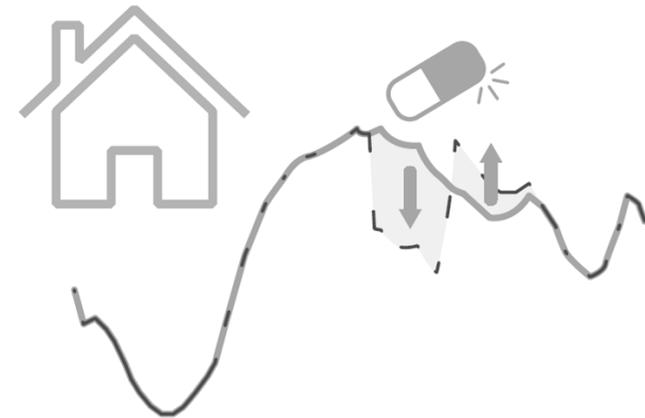
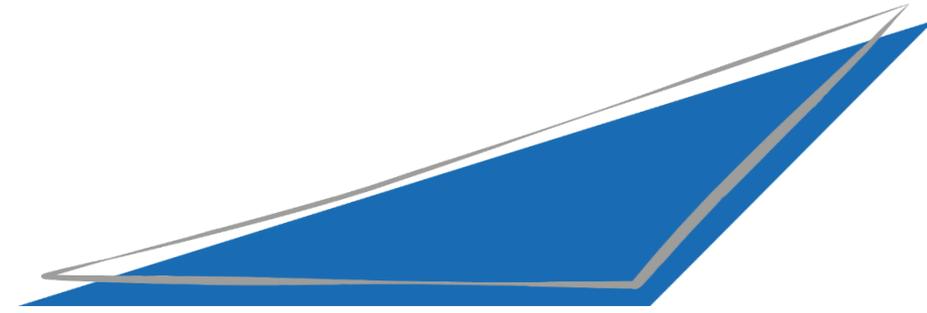
Flexibilité sur le chauffage

Influence de l'utilisateur sur le gisement de flexibilité : analyse par arbre de décision

- Principales variables explicatives : comportement habituel d'ajustement et tmp extérieures
- Des évènements DR plus courts entraînent moins de dérogations
- Plus un foyer « vie » des événements DR, moins il est susceptible d'y déroger



Conclusions et perspectives



Conclusions

- Rôle des bâtiments dans la flexibilité du réseau électrique
- Modélisation des occupants: classifications, exemple de modèle agent BDI, limitations
- Diversité et aspect multidisciplinaire du comportement des occupants
- Développement du modèle d'ajustements du thermostat : confort en dynamique, modèle de rejet

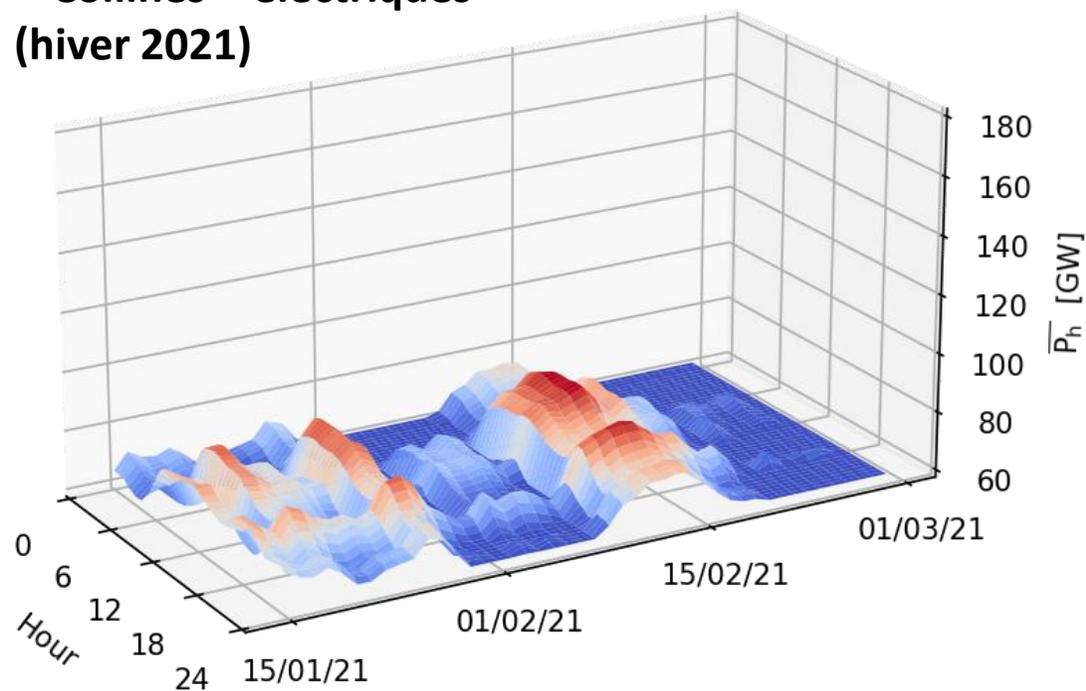
➤ Projets en cours liés:

- Confort thermique: phénomènes d'alliesthésie et d'habituation court-terme, M. Vellei : bourse Marie Curie Individual Fellowship, ComfortA (2021-2023)
- Prévion court-terme et flexibilité, post-doc Abdo Gassar (2021)
- Interaction bâtiments-réseaux et ACV systèmes électriques, thèse Marianne Biéron (2020-2023)
- Autoconsommation et GHG, Partenaire du projet Ademe RECA (2020-2022)
- Autoconsommation et incertitude en phase de conception, thèse Stéphane Pawlak (2020-2023)

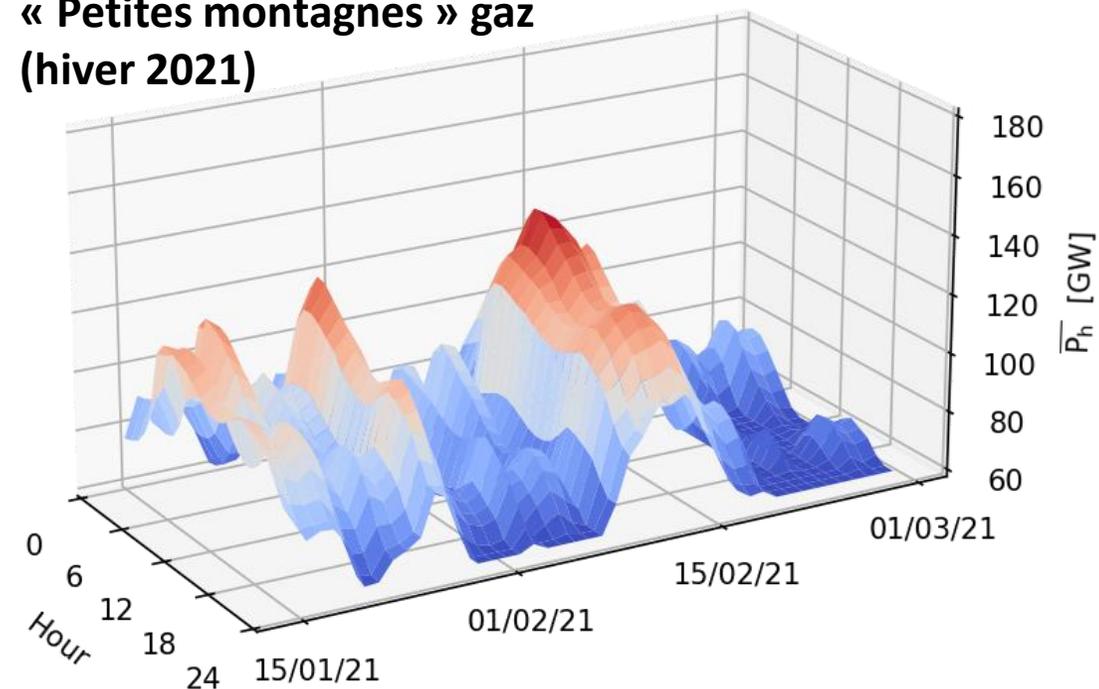


Les besoins futurs de flexibilité

« Collines » électriques
(hiver 2021)



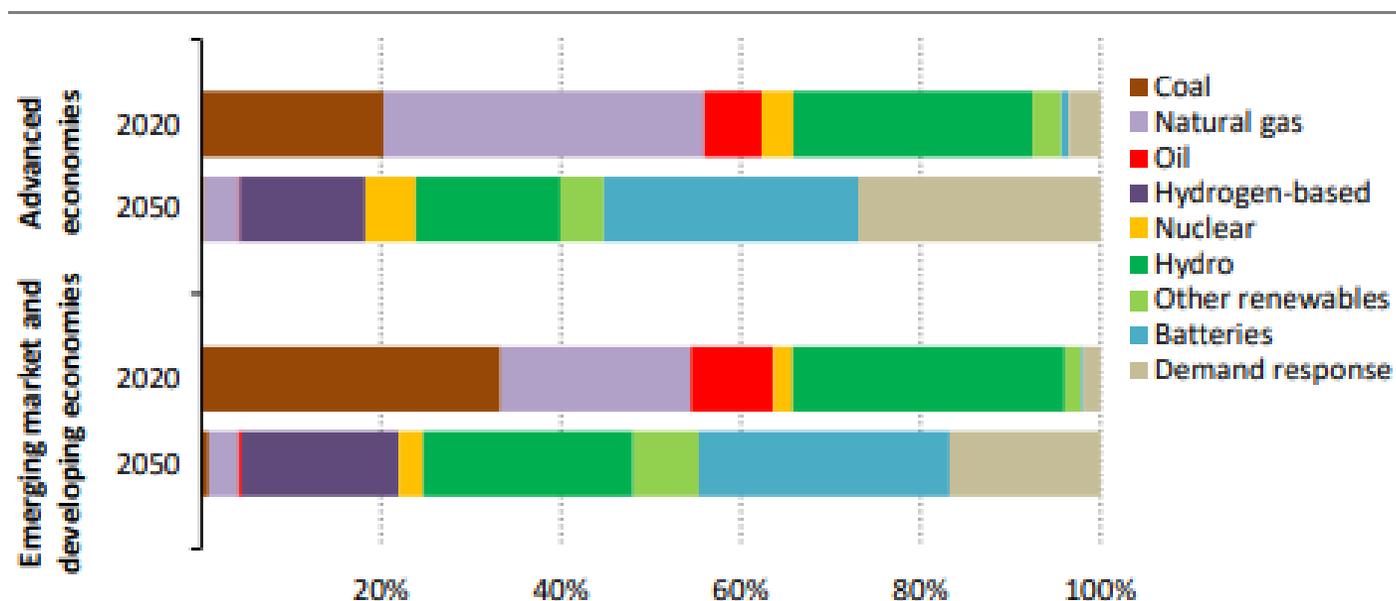
« Petites montagnes » gaz
(hiver 2021)



Les besoins futurs de flexibilité

Dans le monde

Figure 4.18 ► Electricity system flexibility by source in the NZE



Merci

Contact : Jérôme LE DRÉAU (jledreau@univ-lr.fr)

Contributeurs :

Marika Vellei

Simon Martinez

Références liées

Revue à comité de lecture :

- M. Vellei, Le Dréau, J., & Abdelouadoud, S. Y. (2020). Predicting the demand flexibility of wet appliances at national level: The case of France. *Energy and Buildings*, 214, 109900.
- M. Vellei, W. O'Brien, S. Martinez, J. Le Dréau, 2021, "Some evidence of a time-varying thermal perception", vol?, in *Indoor and Built Environment*.
- M. Vellei and J. Le Dréau, 2019. "A novel model for evaluating dynamic thermal comfort under demand response events", vol 160, in *Building & Environment*.
- M. Vellei, S. Martinez, J. Le Dréau. (2021). Agent-based stochastic model of thermostat adjustments: A demand response application. *Energy and Buildings*, 238, 110846.
- S. Martinez, M. Vellei, J. Le Dréau, (2022). "Demand-side flexibility in a residential district: what are the main sources of uncertainty?". *Energy and Buildings*.

Conferences :

- J. Le Dréau, M. Vellei and Y. Abdelouadoud, 2019. "A Bottom-Up Model to Evaluate the Flexibility of French Residential Wet Appliances", in *Building Simulation 2019*, Italy.
- J. Le Dréau, I. Mellas, M. Vellei and J. Meulemans, 2019. "Upscaling the flexibility potential of space heating in single-family houses", in *CISBAT 2019*, Switzerland.
- M. Vellei and J. Le Dréau, 2019. "Evaluating Dynamic Thermal Comfort under Demand Response Events: a Novel Model Compared against Fanger's PPD Model", in *Building Simulation 2019*, Italy.
- Vellei, M., & Le Dréau, J. (2020). On the prediction of dynamic thermal comfort under uniform environments. In *11th Windsor Conference 2020*.
- J. Le Dréau, M. Vellei and S. Martinez (2020). "On the influence of occupants on the energy flexibility of buildings: a sensitivity study at district scale", in *BSO 2020*.