

Projet ANR AI4HP

I.A. et Modèle de
Contrôle Prédicatif
(MPC) appliqués à
la production d'ECS
par PAC

Logement collectif

EDF R&D – TREE
Hugues Bosche – juin 2026



Les performances des PAC destinées à la production l'eau chaude sanitaire (ECS) sont affectées par les stratégies de contrôle actuelles (**maintien de l'ensemble du ballon de stockage d'ECS à une température élevée**). Or, les besoins en ECS sont variables et ne nécessitent pas un stockage maintenu en température à chaque instant.

Le **contrôle prédictif basé sur jumeau numérique** (model predictive control – MPC) peut être utilisé pour **optimiser le planning de charge du ballon d'ECS**.

Pour réaliser cette optimisation, le MPC doit pouvoir s'appuyer sur une prévision de la demande d'ECS. C'est dans cette **prévision des besoins d'ECS que l'intelligence artificielle (IA)** est utilisée.

Le projet **AI4HP (Artificial Intelligence For Heat Pump)** subventionné par l'ANR vise à **évaluer ce potentiel de gain énergétique par des essais physiques**.

OPTIMISATION DE LA PRODUCTION D'ECS – SCHEMA DE PRINCIPE

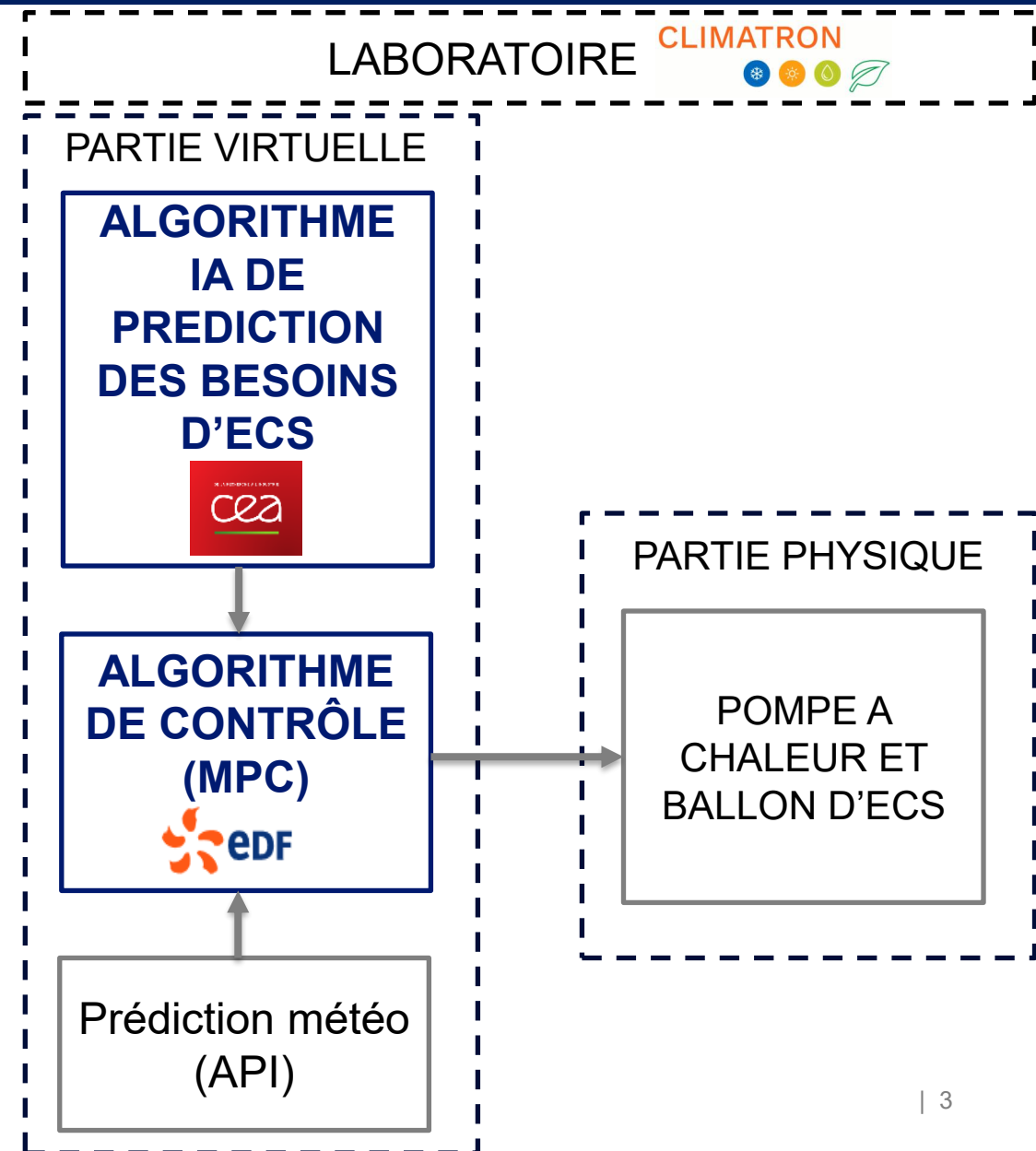
Un algorithme de contrôle (composé d'un jumeau numérique et d'une méthode d'optimisation) associé à un algorithme IA de prédiction des besoins d'ECS permet d'optimiser le stock d'ECS dans le ballon :

- Minimisation des pertes thermiques du ballon,
- Amélioration du COP grâce à des températures de source chaude et froide optimisées.



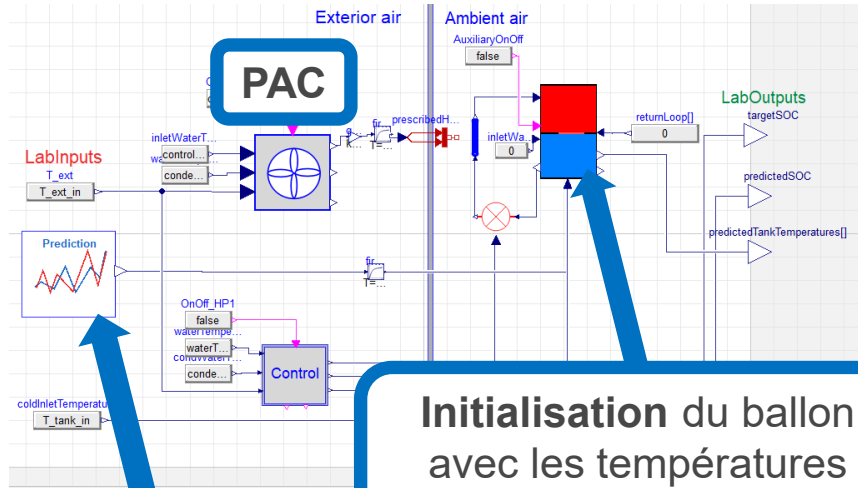
cea : Modèle de prédiction des consommations d'ECS par analyse IA

edf : Algorithme de contrôle optimisé de la production d'ECS et tests en laboratoire.



ALGORITHME DE CONTRÔLE + ALGORITHME DE PREDICTION

Jumeau numérique de l'installation
(sous Dymola)

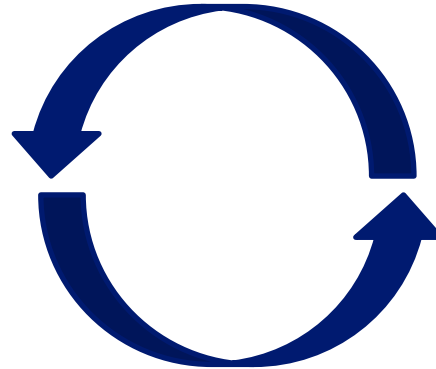


Initialisation du ballon
avec les températures
réelles mesurées.

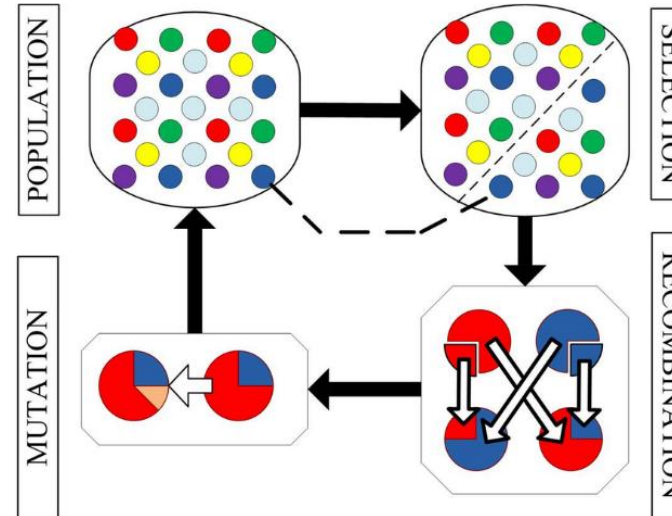
Prédiction du profil ECS sur 24h
par algorithme entraîné par IA.



Simulation pour un
planning de charge sur
24h.
Pour chaque heure le
ballon peut-être chargé
de 10% à 100% par
pas de 10%.



Optimisation génétique :
recherche d'une consommation
minimale sur 24h avec
température sortie ballon > 55°C



La méthode génétique permet de
trouver un planning optimum sur
24h sans simuler tous les
plannings de charge possibles
(ici 5000 simulations au lieu de
 10^{24})

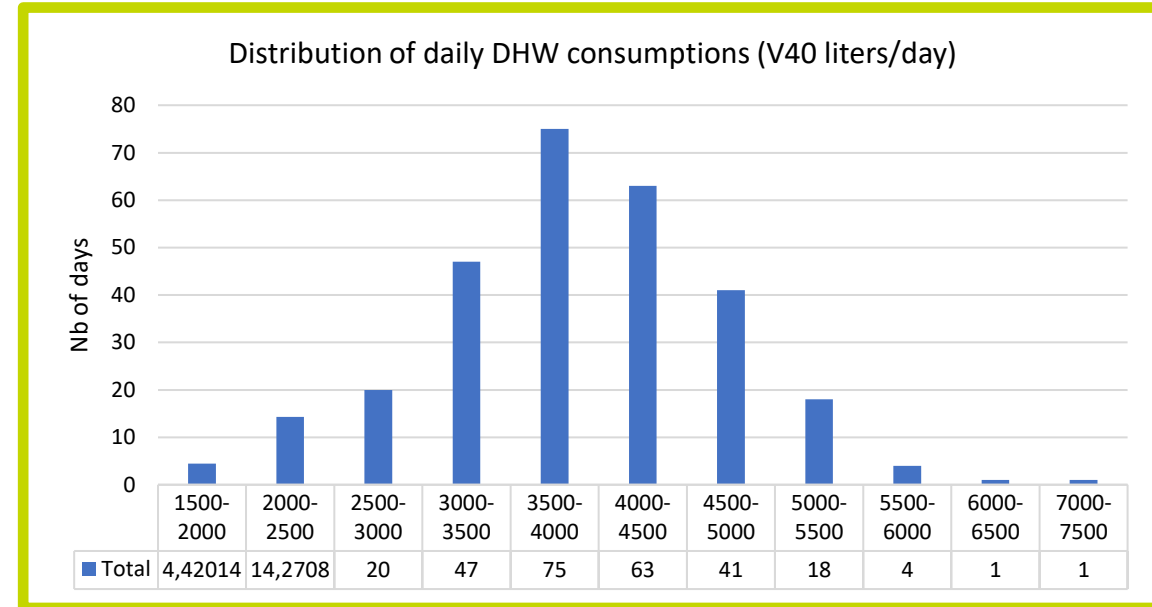
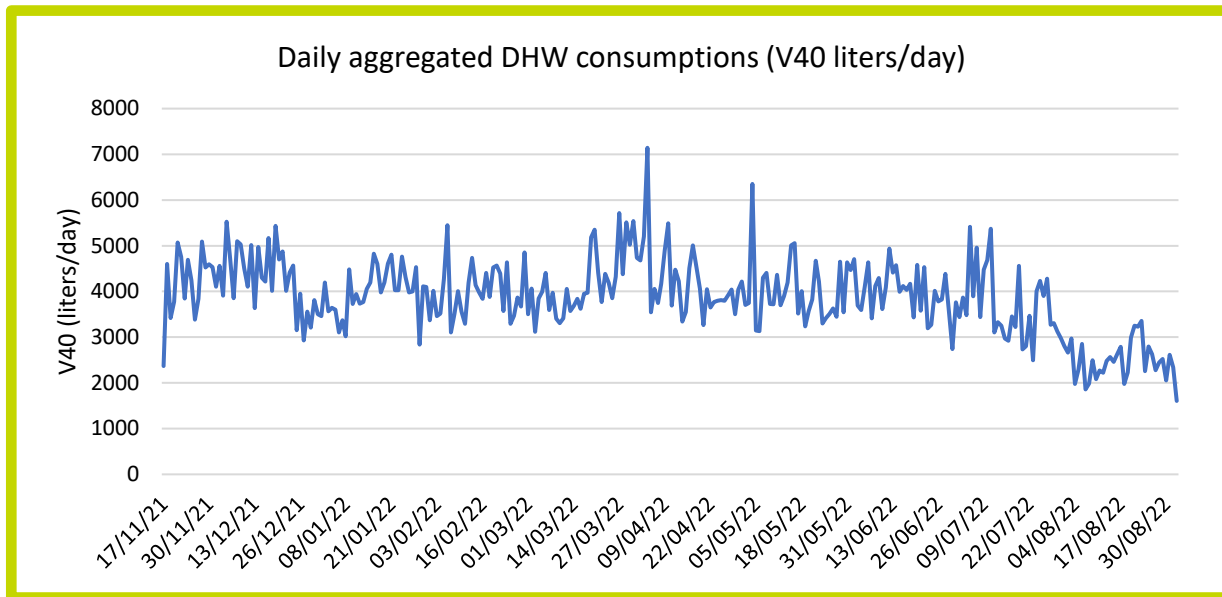
Ordre de niveau
de charge
ballon pour
l'heure suivante
transmis à la
PAC



CAS D'APPLICATION

Les données de consommation d'ECS utilisées sont issues de mesures effectuées en 2021/2022 dans un **bâtiment collectif de 21 logements**.

Ces données servent à **l'entraînement de l'algorithme AI** et à **la réalisation des essais en laboratoire (essais sur 3 jours du jeu de données)**.

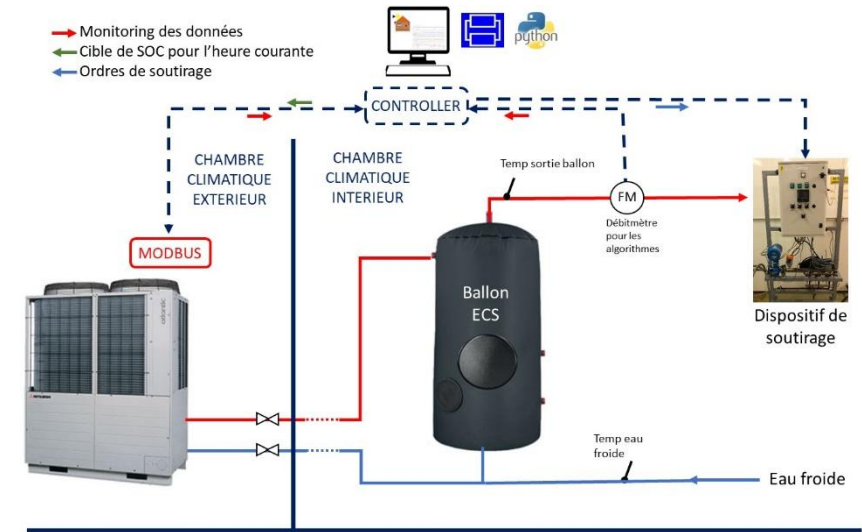


Les consommations d'ECS ramenées à 40°C (V40) sont en moyenne de 3 877 litres/jour.



Sur les 3 jours choisis dans le jeu de données, les configurations suivantes ont fait l'objet d'un essai laboratoire :

1. Reference 100% : Sans algorithme de contrôle, consigne de charge du ballon à 100%
2. Reference 80% : Sans algorithme de contrôle, consigne de charge du ballon à 80% (optimisation exploitant)
3. CEA pred : Avec algorithme de contrôle et prédiction ECS avec l'algorithme A.I. du CEA
4. Simple pred : Avec algorithme contrôle et prédiction ECS basé sur une moyenne des consommations passées
5. Perfect pred : Avec algorithme contrôle et prédiction parfaite des futurs besoin d'ECS

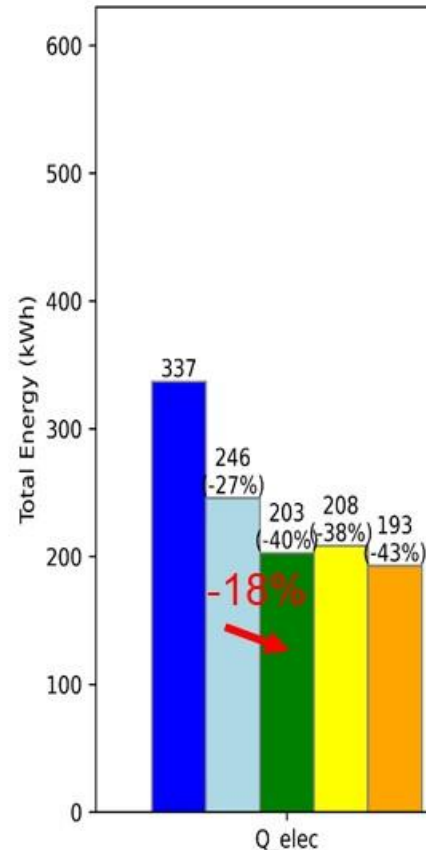
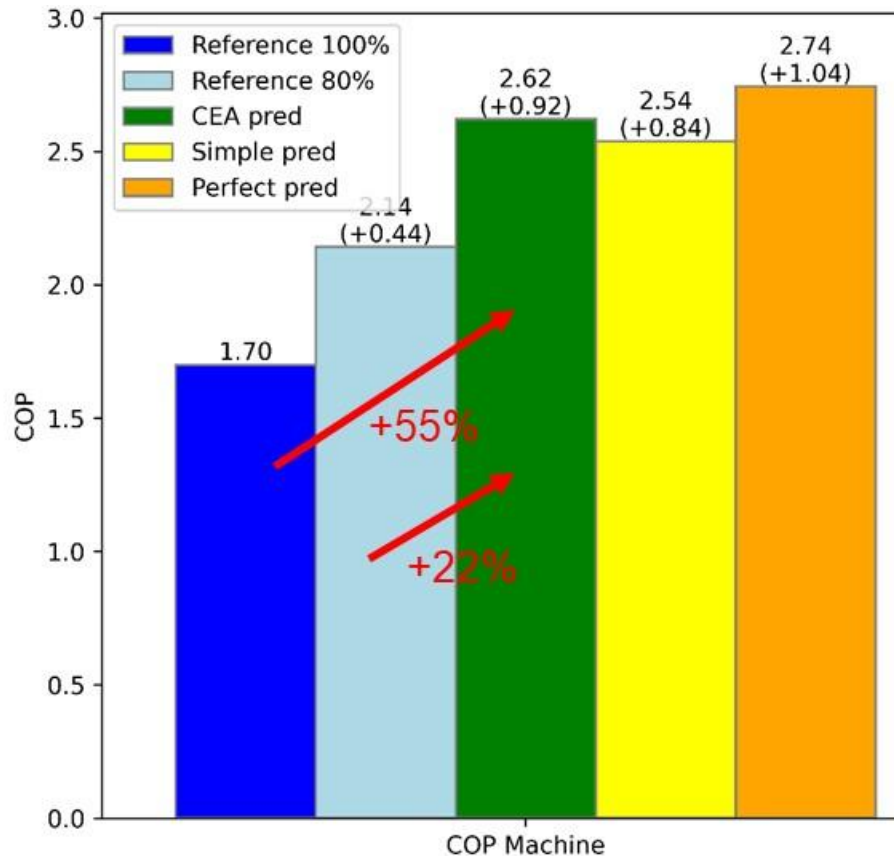


RESULTATS DES ESSAIS

Des gains de COP qui oscillent entre +22% et +55% selon la référence considérée.

Des baissent de consommations de -40% à -18%.

La température à la sortie du ballon d'ECS a toujours été supérieure à 55°C mis à part un épisode bref à 52°C survenu dans le cas Simple pred.



L'intérêt de la prédiction par IA est notable :

- Gain de COP supplémentaire de 0,08 par rapport à la prédiction simple
- Pas d'épisode de sortie d'eau chaude en dessous de 55°C.
- Les algorithmes IA sont autoparamétrables
- Sur le temps long, l'IA peut apprendre les comportements particuliers des occupants que la moyenne mobile ne pourra jamais intégrer (impact des jours fériés, ...)

Mise en évidence du potentiel des méthodes de contrôle adaptatif associés aux réseaux neuronaux.

Cependant, le cadre d'un projet de recherche reste assez amont. De nombreux défis restent à surmonter avant une possible industrialisation :

- Ces bons résultats ont été obtenus avec une pompe à chaleur à fluide CO₂. L'évaluation des gains atteignables avec des matériels utilisant des fluides frigorigènes différents sera également un enseignement important.
- Le fonctionnement des algorithmes nécessite des capteurs complémentaires à une installation classiques (sondes de température et débitmètre) dont le coût devra être pesé.
- Pour l'heure, les algorithmes d'optimisation utilisés fonctionnent sur un ordinateur. Un travail important reste à réaliser pour les simplifier et les alléger.



Merci

