

**CSTB**  
*le futur en construction*

# Plan d'expérience GTM

Conception et exploitation

Pascal Schetelat, Marine Vesson



Construire un plan d'expérience permettant de répondre aux questions suivantes en disposant d'au plus 75 bâtiments par destination d'usage pour lesquels le surcoût est évalué.

« Comment moduler les seuils de Bbio et de CEP en fonction des contraintes climatiques de manière à ce que le surcoût soit le même pour tout le monde ? »

« Quel est le surcoût de faire des efforts sur les indicateurs CO<sub>2</sub>? »

Définition formelle :

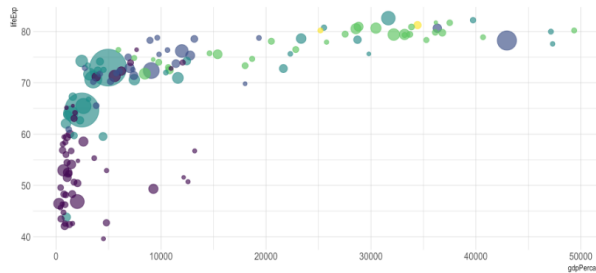
*Suite ordonnée d'essais d'une expérimentation, chacun permettant d'acquérir de nouvelles connaissances en maîtrisant un ou plusieurs paramètres d'entrée avec une bonne économie de moyens (nombre d'essais le plus faible possible, par exemple)*

*En pratique :*

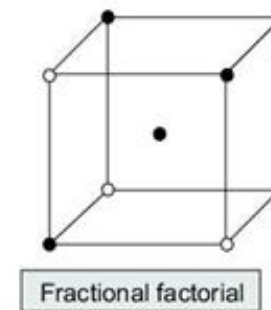
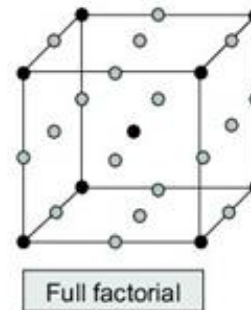
*Quelle est la liste des bâtiments à modéliser permettant de tirer un maximum d'information sur les paramètres impactant le surcoût tout en minimisant le nombre de modélisations?*

# Différence entre étude observationnelle et plan d'expérience

Etude observationnelle (ex : observatoire, sondage, étude épidémiologique...)



Plan d'expérience (ex: essai clinique, optimisation de procédés...)



Ex: plan d'expérience à 3 paramètres

- Donne des résultats moyens au regard de la population étudiée
- Permet d'identifier des corrélations  
(ex: manger de la viande rouge et longévité)
- Ne permet pas d'identifier la causalité ni d'identifier des corrélations fallacieuses  
(ex: les gens riches vivent longtemps et mangent de la viande rouge)
- Ne permet pas d'évaluer individuellement les effets
- Le choix de la population d'étude introduit des biais
- Construit pour évaluer précisément les effets individuels des paramètres et leurs interactions *toutes choses étant égales par ailleurs*
- Ne fait pas de prédiction d'effet moyen sur une population (le plan d'expérience n'est pas « représentatif », il ne fait que couvrir un espace de paramètres possibles),
- Permet d'optimiser le nombre d'expériences à mener pour un niveau d'information souhaité

Paramètres en entrée à prendre en compte :

- Contraintes climatiques (toutes les zones et altitudes)
- Cible CEP (5 modalités)
- Nombre de niveaux du bâtiment (2 ou 4 modalités)
- Effort de conception sur le carbone (2 à 3 modalités)

L'ajout d'un paramètre dans le plan d'expérience permet :

- Sa prise en compte dans l'analyse
- D'équilibrer le plan sur ce paramètre

Quand on dit « *toutes choses étant égales par ailleurs* » on implique  
« *tout les paramètres inclus dans le plan d'expérience* »

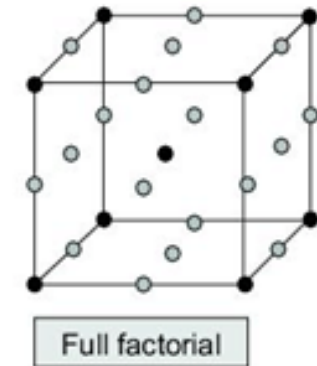
## Plan factoriel complet :

On test l'ensemble des combinaisons de tout les paramètres

Par exemple :

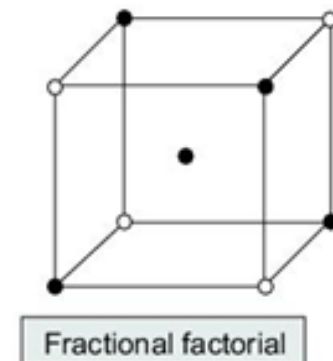
3 paramètres et 2 niveaux ->  $2^3 = 8$  variantes

8 zones climatiques, 3 altitudes, 5 CEP, 3 niveaux CO<sub>2</sub> et 4 nb niveaux =  
 $8 \times 3 \times 5 \times 3 \times 4 = 1440$  variantes



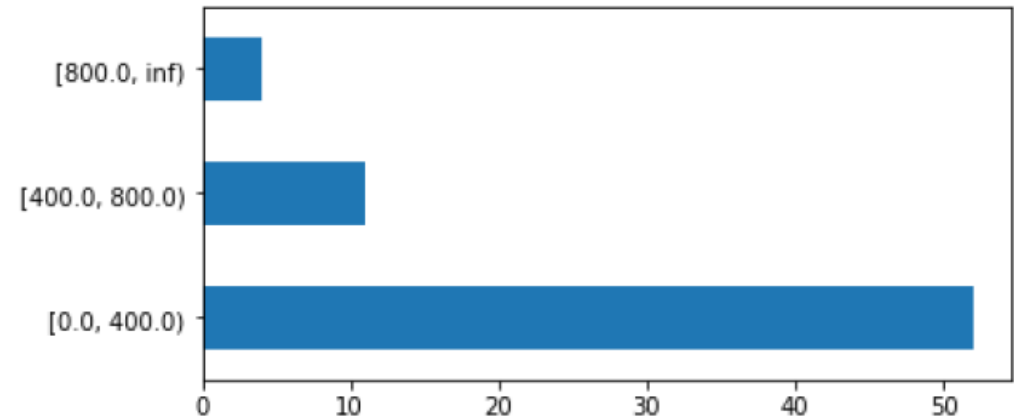
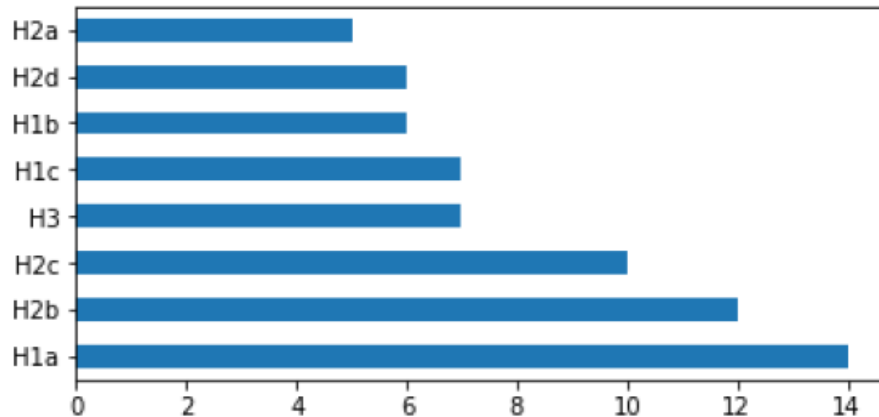
## Plan factoriel fractionnaire :

On élimine certaines variantes tout en gardant le plan équilibré, mais on perd en précision et on perd les interactions



Pour permettre d'équilibrer le plan d'expérience sur l'ensemble des zones climatiques et des altitudes, la contraintes climatique est prise en compte via les degrés jours d'hivers

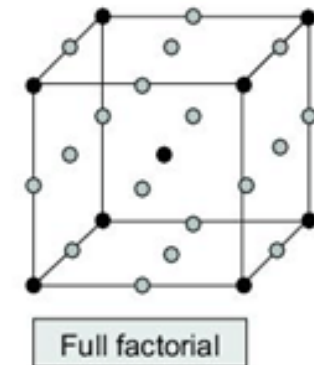
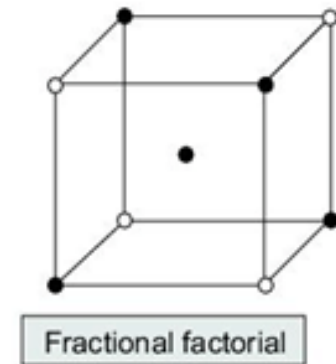
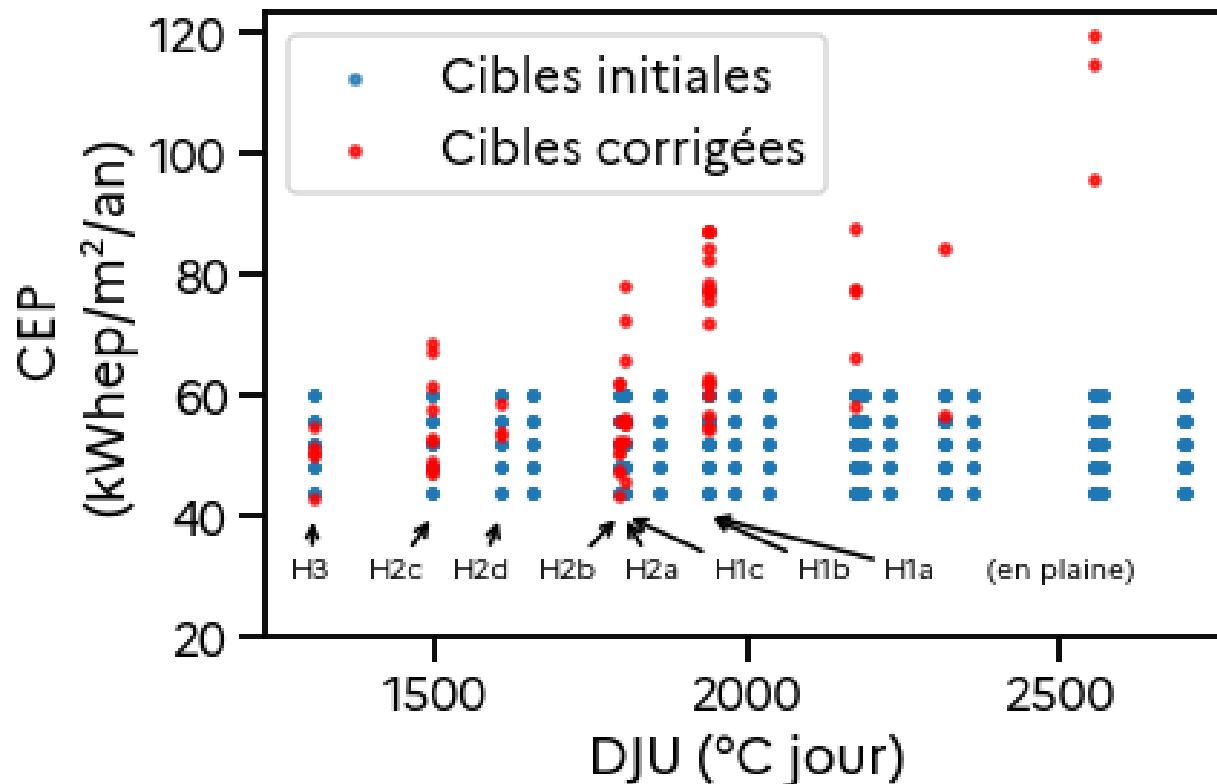
- On génère un plan d'expérience équilibré en DJU
- On répartit sur les différentes zones climatiques et altitudes de manière à représenter au mieux les zone les plus peuplées



Correction des cibles de Cep pour couvrir la gamme de variation probable des coûts

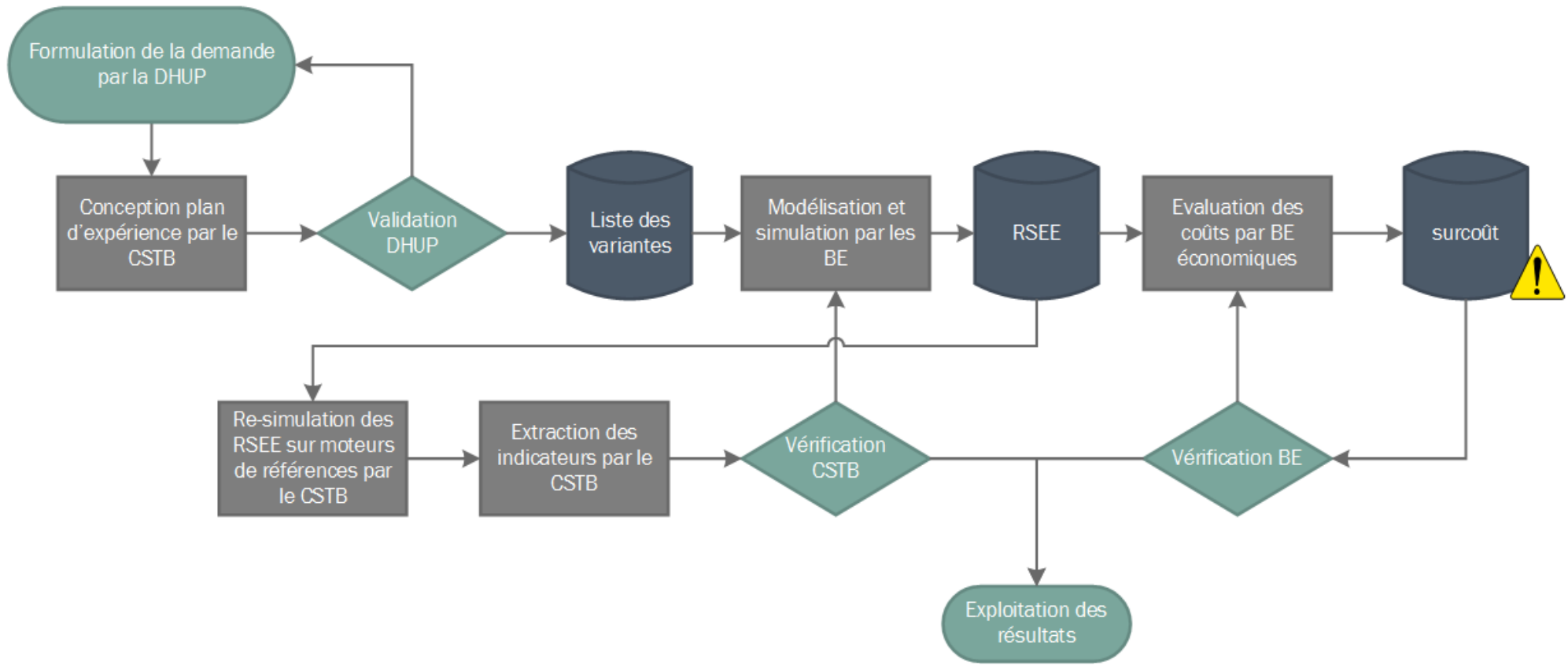
(Modulation du Cep sur la base de simulations DHUP pour chaque usage)

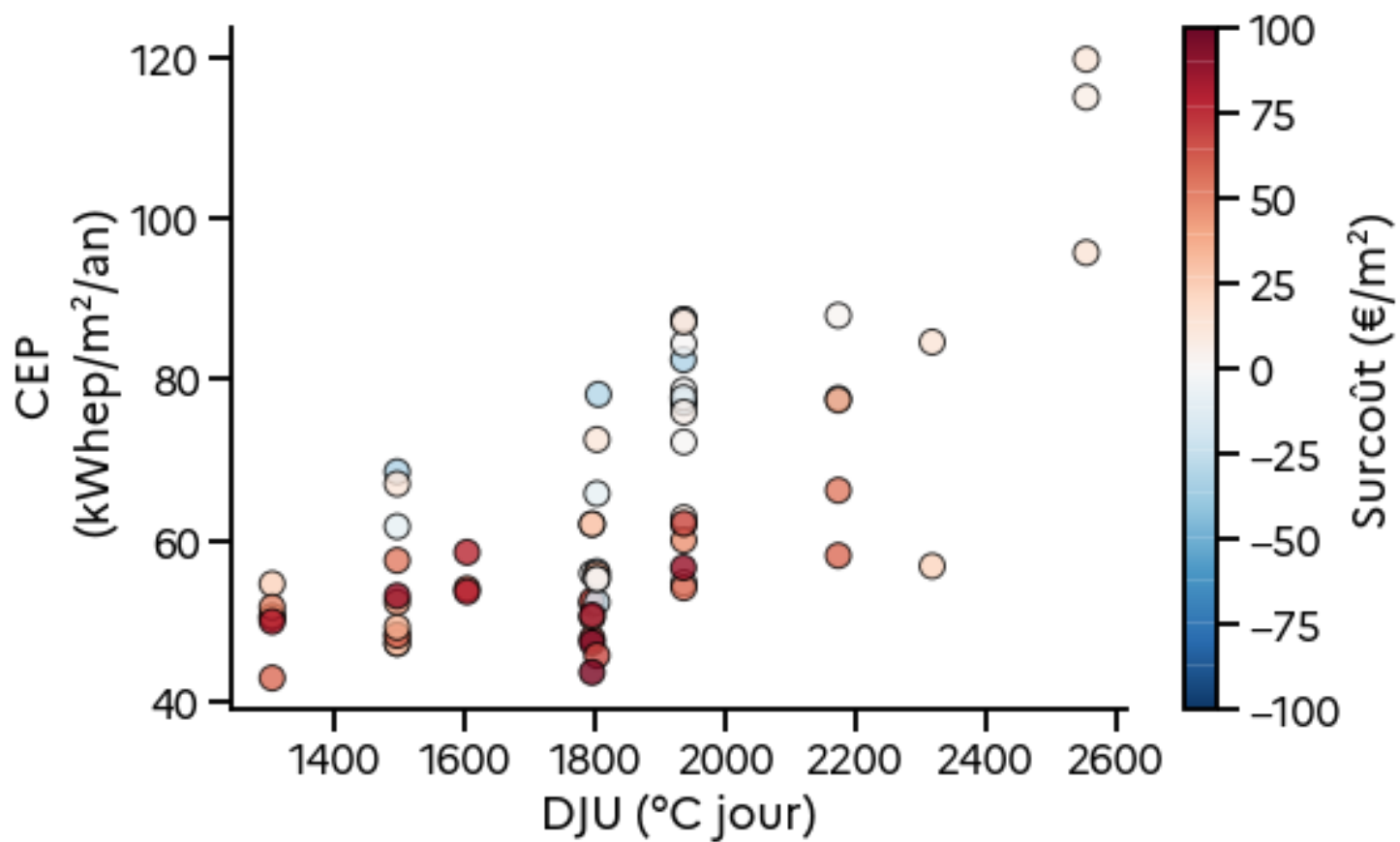
Par exemple en maison individuelle : Cep parmi 44, 48, 52, 56 ou 60 en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an





| identifiant   | NIVEAUX     | EFFORT_CO2        | zc  | ALTI         | nom_xml | CEP_Cible |
|---------------|-------------|-------------------|-----|--------------|---------|-----------|
| MI_EXP_01_000 | R+1+combles | STANDARD_2019     | H2c | [0.0, 400.0) |         | 68±2      |
| MI_EXP_01_001 | R+1+combles | STANDARD_2019     | H3  | [0.0, 400.0) |         | 42±2      |
| MI_EXP_01_002 | R+1+combles | STANDARD_2019     | H1a | [0.0, 400.0) |         | 87±2      |
| MI_EXP_01_003 | R+1+combles | STANDARD_2019     | H1a | [0.0, 400.0) |         | 62±2      |
| MI_EXP_01_004 | R0          | STANDARD_2019     | H3  | [0.0, 400.0) |         | 54±2      |
| MI_EXP_01_005 | R0          | STANDARD_2019     | H2c | [0.0, 400.0) |         | 52±2      |
| MI_EXP_01_006 | R0          | STANDARD_2019     | H1a | [0.0, 400.0) |         | 87±2      |
| MI_EXP_01_007 | R0          | STANDARD_2019     | H1a | [0.0, 400.0) |         | 62±2      |
| MI_EXP_01_008 | R+1+combles | EFFORT_2ND_OEUVRE | H3  | [0.0, 400.0) |         | 50±2      |
| MI_EXP_01_009 | R+1+combles | EFFORT_2ND_OEUVRE | H2c | [0.0, 400.0) |         | 47±2      |





Les plans d'expérience s'exploitent simplement par régression linéaire

- Si on souhaite connaître l'impact de chaque paramètre sur le surcoût :

$$\text{surcoût} = a \times \text{DJU} + b \times \text{Cep} + c \times \text{EffortCO}_2 + d \times \text{Taille} + e$$

Les coefficients a, b, c et d représentent les effets de chaque paramètre *toutes choses étant égales par ailleurs*.

- Si on souhaite calculer les valeurs de Cep pour chaque zone climatique et chaque altitude pour un niveau de surcoût donné :

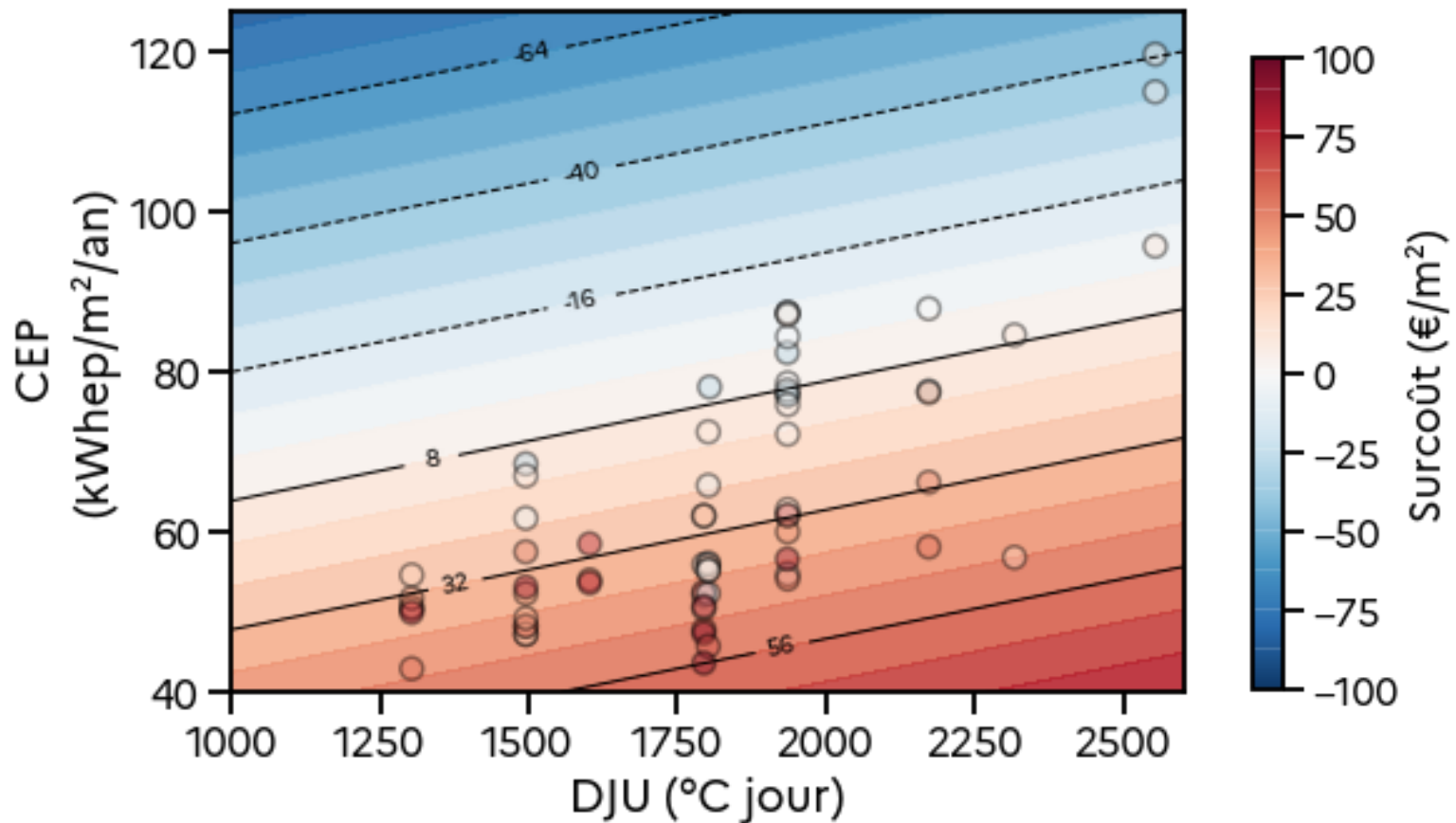
$$\text{Cep} = a \times \text{DJU} + b \times \text{surcoût} + c$$

Dans ce cas, on obtient une prédiction moyenne par rapport aux paramètres non pris en compte

## Exemple de résultats

Modèle linéaire du surcoût (€/m<sup>2</sup>)

$$\text{surcoût} = a \times \text{CEP} + b \times \text{DJU} + c$$



## Graphes explicatifs

