

Utilisation optimale d'une pompe à chaleur domestique

Première partie - [version 1.1](#)

Description générale

Une pompe à chaleur permet de chauffer un bâtiment en consommant moins d'énergie qu'au chauffage électrique classique, grâce à un coefficient de performance (COP) supérieur à un. Elle peut également fonctionner de façon réversible, c'est-à-dire qu'elle permet de refroidir en été.

Dans ce projet, on va utiliser une pompe à chaleur pour maintenir la température intérieure d'un bâtiment dans une plage confortable, tout en minimisant le coût de l'électricité consommée.

Hypothèses et données

- On considère une année entière, qu'on discrétise par intervalles de temps d'une durée de 15 minutes
- Le bâtiment est situé à Montréal, et on dispose de la température extérieure durant chaque intervalle de temps
- On suppose que la température du bâtiment est homogène, et on s'intéressera uniquement à la valeur qu'elle prend toutes les 15 minutes (on ne s'intéresse donc pas à la dynamique de la température au cours d'un intervalle de temps)
- Durant chaque intervalle de temps la température intérieure évolue en fonction la température externe : la différence de température entre le début et la fin d'un intervalle de temps est proportionnel à la différence entre la température externe et la température interne (le coefficient de proportionnalité dépendant de l'isolation du bâtiment)
- Pendant chaque intervalle de temps on peut choisir d'activer la pompe à chaleur. Plus précisément, on peut décider de la puissance qu'on va utiliser pour la pompe à chaleur, [jusqu'à une certaine puissance maximale](#). Celle-ci va alors prélever de la chaleur extérieure et la transférer à l'intérieur du bâtiment (ou l'inverse si on décide de fonctionner en mode refroidissement, nommé "reverse"). La quantité de chaleur transférée est proportionnelle à la puissance électrique consommée, mais aussi au coefficient de performance (COP).
- [La variation de la température du bâtiment causée par l'activation de la pompe à chaleur est proportionnelle à la chaleur/énergie transférée](#)
- Le coefficient de performance de la pompe à chaleur est supposé dépendre uniquement de la température extérieure et du mode de fonctionnement, normal ou reverse.
- Le coût unitaire de l'électricité consommée dépend de l'heure où elle est prélevée (tarif bi-horaire)

[Remarque à propos de la modélisation](#)

[En général, quand on modélise un problème, on décide d'effectuer certaines hypothèses et/ou approximations. Il y a certainement plusieurs façons tout à fait valides de modéliser le problème, donc pas pas forcément une unique bonne réponse. Vous pouvez interpréter l'énoncé de la façon qui vous convient le mieux du moment qu'elle reste raisonnable. \(par exemple : l'énoncé suggère de ne pas analyser/de prendre en compte ce qui se passe à l'intérieur d'un intervalle de temps, ce qui est un choix ; aussi : le fonctionnement simultané en mode chauffage et reverse pourrait être a priori permis ou interdit, mais cela change-t-il vraiment les choses ?\)](#)

Tâches

Tâche 1 : on souhaite dans un premier temps que la température du bâtiment reste comprise dans une certaine plage admissible de températures, et on cherche à **minimiser le coût total de l'électricité consommée par la pompe à chaleur**. Formulez ce problème comme un problème d'optimisation linéaire, puis résolvez le.

Pour des raisons de temps de calcul, votre modèle considérera uniquement une période de 7 jours consécutifs. Il fera l'hypothèse que la température initiale au début de la période est égale à la valeur central de la plage admissible, et fera en sorte que la température finale à la fin de la période revienne à la même valeur. Votre code prendra donc en entrée un paramètre indiquant le numéro de l'intervalle de temps qui début la période, qui s'étendra sur $7 \times 24 \times 4 = 672$ intervalles de temps.

A mentionner :

- coût minimal + graphique de l'évolution des températures + graphique représentant l'utilisation de la pompe à chaleur (en distinguant le fonctionnement normal du fonctionnement _reverse_) + temps de calcul + bref commentaire (maximum 4 lignes)
- pour deux périodes distinctes (placer les résultats côté à côté) : à gauche une période pré-déterminée (cf. fichier de données), et à droite une seconde période que vous choisirez en fonction de son intérêt

Tâche 2 : on souhaite réduire le coût d'utilisation de la pompe à chaleur, et on va fixer le budget maximal à une certaine proportion du coût minimal identifié lors de la première tâche. Pour diminuer les coût, on va permettre aux températures de sortir de la plage admissible définie plus haut. On va cependant alors comptabiliser la quantité d'*inconfort* éventuellement subi durant chaque intervalle de temps, qui sera proportionnel au dépassement de la température maximale admissible, ou au dépassement par le bas de la température minimale admissible. On cherche alors à **minimiser l'inconfort total** (somme des inconforts sur toute la période considérée) **tout en respectant la contrainte de budget**. Formulez ce problème comme un problème d'optimisation linéaire, puis résolvez le.

A mentionner :

- inconfort minimal + même graphiques que pour tâche 1 + temps de calcul + bref commentaire (maximum 4 lignes)
- à nouveau pour les deux périodes mentionnées lors de la tâche 1

Tâche 3 : on voudrait à présent mieux comprendre le compromis qui existe entre le budget alloué et l'inconfort total qui en résulte. Proposez un **graphique représentant au mieux cette relation entre budget et inconfort**, où on fera varier le budget entre entre zéro et le coût minimal identifié lors de la tâche 1 (ce budget sera indiqué en pourcentage, de 0 à 100%). Ceci nécessitera la résolution de plusieurs problèmes, et il sera judicieux d'utiliser la fonctionnalité *warm start* du solver pour accélérer les calculs.

A mentionner :

- graphique demandé + temps de calcul (total et moyenne par problème) + bref commentaire (maximum 4 lignes)
- à nouveau pour les deux périodes mentionnées lors des tâches 1 et 2

Pour cette première partie, vous communiquerez vos résultats sous la forme d'**une page A4 répondant aux trois tâches proposées**. Indiquez le numéro de votre groupe et le nom de tous les participants en haut de la page. Divisez ensuite le restant de la page en trois parties, une par tâche. Les résultats et graphiques seront directement copiés depuis votre notebook, que vous soumettrez également (la

seconde partie de projet demandera de rédiger un rapport plus classique, toujours en partant d'un notebook). Réfléchissez soigneusement à la présentation de vos graphiques, entre autres : légende, choix des axes, des graphes (tracés, marqueurs), juxtaposition de plusieurs informations, etc.

Consignes et conseils

- Le projet se réalise par groupe de (maximum) quatre étudiants (cf. groupes constitués sur Moodle).
- L'assistant responsable du projet est Guillaume Van Dessel. Toutes les questions sur le projet doivent être posées via Moodle dans le forum prévu pour le projet (et pas par message/mail individuel). Des permanences seront prévues, et seront annoncées via Moodle.
- Il est fortement suggéré d'utiliser un langage de modélisation pour formuler et résoudre vos problèmes d'optimisation linéaire. Nous conseillons d'utiliser le module CVXPY combiné au solveur d'optimisation HIGHS (nous avons vérifié que cette combinaison est suffisamment performante pour le projet).
- Les groupes peuvent échanger leurs réflexions, partager leurs idées et comparer leurs résultats. Ils ne peuvent pas recopier les raisonnements, les solutions ou les codes informatiques. L'utilisation de toute information ou aide extérieure doit obligatoirement être mentionnée dans le rapport, en citant la source.
- Les résultats de cette première partie sont à remettre au plus tard le **mercredi 26 avril 2023** à minuit (soir), via Moodle, sous la forme d'une archive compressée contenant votre notebook et tous les fichiers nécessaires pour le faire fonctionner (code Python, etc.). Le notebook doit contenir les cellules sous forme déjà évaluée (résultats, tableaux, graphiques, etc.), mais doit pouvoir également être ré-évalué en entier.
- Organisez efficacement votre travail de groupe : il existe des tâches qui peuvent s'effectuer indépendamment à l'intérieur de chaque partie.

▲ Commencez à travailler dès que possible, n'attendez pas les dernières semaines ! Appréhender et formuler le problème peut prendre du temps, de même que se familiariser avec les outils Python et les solveurs d'optimisation linéaire. Le rythme de travail suggéré est de consacrer une semaine pour chacune des trois parties et une dernière semaine à la finalisation et la relecture du rapport.

Changelog

- 2023-03-24 v1
- 2023-04-23 v1.1 avec récapitulatif des précisions apportées sur Moodle (en bleu)