

TP - Mix électrique renouvelable en 2050

Instructions

Les manipulations de données, la modélisation et la résolution des problèmes d'optimisation peuvent être réalisés avec les outils de votre choix (par exemple, R ou Python pour les manipulations de données, création de fichiers .lp et résolution avec Cplex, utilisation d'OPL + Cplex ou de Pyomo pour l'optimisation).

Les rendus doivent obligatoirement comprendre les éléments suivants :

1. Codes permettant de produire les réponses à chaque question ;
2. Fichiers CSV contenant les données extraites et résultats de calculs de chaque question ;
3. Rapport avec les réponses aux questions, ainsi que les modélisations des problèmes d'optimisation.

TP à rendre avant le 15/05/2022 à guillaume.erbs@engie.com.

Prérequis

Données à télécharger sur Open Data Réseaux Energies <https://opendata.reseaux-energies.fr/> :

- Données éCO2mix nationales consolidées et définitives (janvier 2012 à février 2020)
- Parc national annuel de production par filière (2007 à 2019)

Unités – MW et MWh

Les capacités de production électriques sont exprimées par la puissance de la centrale; l'unité de la puissance électrique est le MW. L'énergie électrique produite par une unité est exprimée par la puissance appliquée pendant une durée ; l'unité de l'énergie électrique est le MWh (1 MWh = 1 MW x 1 h). Une centrale de 1 MW tournant pendant 2 heures produit 2 MWh.

Mix électrique renouvelable en 2050

Fin 2018, la France a publié sa Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), qui définit la manière d'atteindre les objectifs de neutralité carbone en France en 2050. En particulier, la SNBC décrit comment les usages électriques pourraient se développer pour atteindre la neutralité carbone.

L'objectif est d'analyser comment répondre aux projections de demande de la SNBC en déterminant un mix électrique neutre en carbone, à l'horizon 2050. Ce système électrique sera composé de moyens de production renouvelables : fermes éoliennes, fermes solaires, centrales à cycle combiné au biogaz (CCGT).

Question 1 – Création d'un profil de consommation (3 points)

Afin que le système soit adapté aux variations de demande, il est nécessaire de déterminer un profil de consommation, c'est-à-dire la manière dont la consommation fluctue au cours d'une année.

Par ailleurs, afin que le système soit dimensionné correctement, il est important qu'il soit adapté à une année comprenant des journées et des heures de forte consommation.

- 1 Dans la base Eco2Mix, récupérer les données de consommation d'électricité (colonne Consommation (MW)) de l'année 2017. Les données de consommation, exprimées en puissance (MW), sont disponibles pour chaque demi-heure de l'année. Calculer l'énergie consommée en

MWh pour chaque demi-heure. Pour chaque heure de cette année, calculer la proportion de la consommation par rapport à la consommation annuelle, de manière à obtenir un profil (en %).

- 2 Appliquer ce profil à une consommation d'électricité annuelle de 600 TWh, de manière à obtenir pour chaque heure de cette année une consommation (en TWh).
- 3 Quelles variations de consommation peut-on observer à différentes granularités temporelles (journée, semaine, mois, année) ? Pouvez-vous expliquer ces variations ?

Question 2 – Création de profils de production renouvelable (3 points)

Les énergies renouvelables éoliennes et solaires ne sont pas pilotables. Afin de déterminer la manière dont ces actifs produisent de l'électricité dans l'année, il est nécessaire de déterminer leur profil de production, qui sera appliqué aux capacités installées dans le mix électrique.

- 1 Dans la base Eco2Mix, récupérer les données de production d'électricité éolienne (colonne Eolien (MW)) et solaire (colonne Solaire (MW)) de 2017. Les données de production sont exprimées en puissance pour chaque demi-heure. Calculer l'énergie produite, en MWh, pour chaque heure de l'année.
- 2 Dans la base du parc national annuel, récupérer les puissances installées (colonnes Parc éolien (MW) et Parc solaire (MW)) au 31 décembre 2016. Calculer l'énergie maximum pouvant être produite pendant 1 h, en MWh.
- 3 Pour chaque heure de 2017, calculer la proportion de la production par rapport à la production maximum.
- 4 Quelles variations de production peut-on observer à différentes granularités temporelles (journée, semaine, mois, année) ? Pouvez-vous expliquer ces variations ?
- 5 Comparez les profils de production renouvelable et les profils de consommation. Que pouvez-vous en dire ?

Question 3 – Détermination d'un mix électrique optimal (6 points)

Afin de constituer le système électrique permettant de servir la consommation prévue en 2050, il faut déterminer les capacités de production (en MW) et la production horaire (en MWh) nécessaires pour satisfaire la demande de chaque heure de l'année au meilleur coût.

Les coûts des différents actifs sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Actif	Coût d'investissement (€/MW)	Coût opérationnel (€/MWh)
Eolien	70000	0
Solaire	50000	0
CCGT	60000	150
Délestage	0	3000
Excès de production	0	1000

- 1 Modéliser le problème sous forme d'un programme linéaire. L'objectif de ce programme linéaire est de minimiser la somme des coûts d'investissement et des coûts opérationnels du système. La consommation de chaque heure de la journée doit être satisfaite dans la mesure du possible par la production des différents actifs. L'équation doit également tenir compte des délestages ou des excès de production éventuels. La production horaire de chaque actif ne peut pas dépasser sa production horaire maximum. Pour les actifs éoliens et solaires, la production horaire est fixée par le produit entre la production horaire maximum et le profil déterminé dans la question 2.
- 2 Coder et résoudre ce programme linéaire.

- 3 Comment est composé le mix électrique obtenu ? Observe-t-on des délestages ou des excès de production ? Combien d'heures et en quelle quantité ?

Question 4 – Simulation de l'adéquation du mix électrique (4 points)

Le mix électrique calculé dans la question 3 est adapté à une consommation annuelle de 600 TWh. Cependant, il existe une incertitude importante sur ces projections de demande à long terme, et particulièrement dans le cadre de la transition énergétique. En effet, il est difficile d'évaluer quels vecteurs énergétiques et quelles technologies émergeront pour satisfaire les différents usages à cet horizon.

- 1 En fixant les capacités des actifs à celles obtenues dans la question 2, simuler le fonctionnement du système électrique pour des consommations annuelles de 500 TWh et 700 TWh. Le système s'adapte-t-il à ces consommations annuelles ? Les délestages et excès de production varient-ils ? Pourquoi ?

Question 5 – Prise en compte de plusieurs scénarios (6 points)

Afin de concevoir un mix électrique pouvant s'adapter à plusieurs futurs possibles, il est nécessaire de prendre en compte les différents scénarios de demande dans l'optimisation. Les 3 scénarios des questions précédentes seront utilisés et considérés de manière équiprobable.

- 1 Modéliser le problème d'optimisation stochastique à 2 étapes. L'objectif est de minimiser l'espérance du coût d'installation des capacités électriques et de fonctionnement du système dans les 3 scénarios. En 1^{ère} étape, la décision sur les capacités de chaque actif doit être prise. En 2^{ème} étape, le système doit satisfaire la demande dans chacun des 3 scénarios avec les capacités installées en 1^{ère} étape.
- 2 Comment les capacités installées évoluent-elles ? Pourquoi ?