

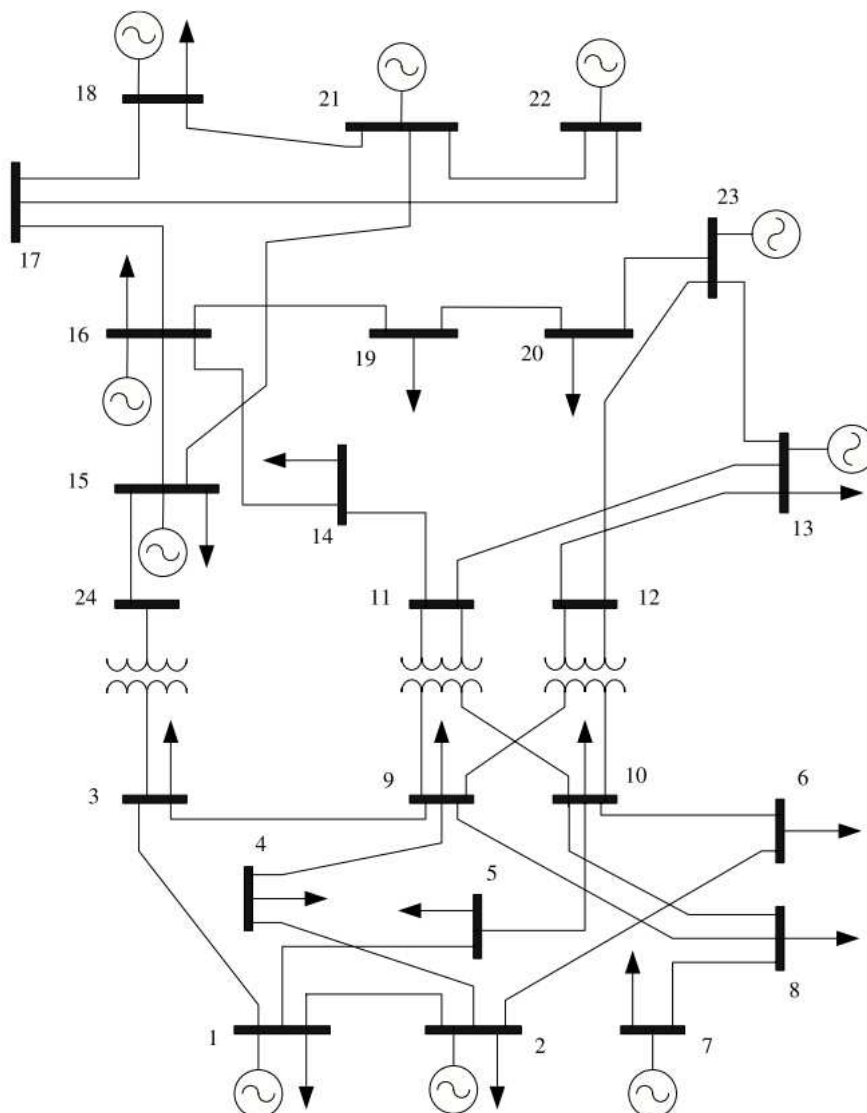
Projet d'optimisation - ETN 2019-2020

Travail en binôme

1. Descriptif général du cadre du projet

Sur la figure ci-dessous est représenté un réseau électrique composé d'un ensemble de nœuds (symbolisés par des rectangles noirs). Sur ces nœuds, on peut distinguer des générateurs (les cercles avec le symbole courant alternatif) et/ou des points de demande (les flèches).

La gestion de ce type de réseau électrique est d'entreprendre chaque jour une planification prévisionnelle *optimale* des moyens de production à partir d'une estimation de la demande pour le jour suivant. Le jour même, les prévisions sont adaptées en quasi temps réel afin de répondre aux différences observées entre la réalité et ce qui avait été prévu la veille.



De plus en plus, les modèles de prédiction de la demande sont construits par apprentissage (machine learning). Cette prévision peut être faite pour chaque point de demande ou de manière globale. Dans le cadre de ce travail, la demande globale pour le lendemain a été déjà estimée (tableau 1) pour un horizon de 24 heures.

<i>Hour</i>	<i>System Demand</i> MW	<i>Hour</i>	<i>System Demand</i> MW
1	1598.252	13	2266.178
2	1502.834	14	2266.178
3	1431.270	15	2218.469
4	1407.416	16	2218.469
5	1407.416	17	2361.596
6	1431.270	18	2385.450
7	1765.233	19	2385.450
8	2051.487	20	2290.032
9	2266.178	21	2170.760
10	2290.032	22	1979.924
11	2290.032	23	1741.379
12	2266.178	24	1502.834

Tableau 1 : Prévision globale de la demande

Remarque : pour pouvoir intégrer les demandes spécifiques en chaque point de demande, il serait nécessaire de prendre en compte les contraintes liées au réseau lui-même comme les capacités maximales de chacune des lignes ainsi que la vérification des lois de Kirchhoff entre les tensions, intensités, puissances actives et réactives. Il n'est pas prévu que vous traitiez cet aspect et seule la demande globale sera traitée : c'est à dire qu'il sera fait l'hypothèse que les contraintes du réseau ne sont pas limitantes : le réseau peut accepter les productions électriques planifiées des différentes unités.

Les caractéristiques des différents générateurs sont données dans les tableaux 2 et 3.

<i>Unit</i>	<i>Node</i>	<i>P_{max}</i> MW	<i>P_{min}</i> MW	<i>R⁺</i> MW	<i>R⁻</i> MW	<i>RU</i> MW/min	<i>RD</i> MW/min	<i>UT</i> h	<i>DT</i> h
Unit 18	18	400	100	0	0	6.67	6.67	1	1
Unit 21	21	400	100	0	0	6.67	6.67	1	1
Unit 1	1	152	30.4	40	40	2	2	8	4
Unit 2	2	152	30.4	40	40	2	2	8	4
Unit15b	15	155	54.25	30	30	3	3	8	8
Unit 16	16	155	54.25	30	30	3	3	8	8
Unit 23a	23	310	108.5	60	60	3	3	8	8
Unit 23b	23	350	140	40	40	4	4	8	8
Unit 7	7	350	75	70	70	7	7	8	8
Unit 13	13	591	206.85	180	180	3	3	12	10
Unit 15a	15	60	12	60	60	1	1	4	2
Unit 22	22	300	300	0	0	5	5	0	0

Tableau 2 : Caractéristiques techniques des unités de production.

Les informations fournies dans ces tableaux sont :

- P_{min} , P_{max} : puissances minimales et maximales des unités quand elles sont en fonctionnement ; naturellement quand elles sont à l'arrêt, la puissance est nulle.
- R^+ , R^- : capacités de réserve positives et négatives ; elles représentent respectivement la puissance que l'unité peut injecter ou retirer de manière quasi-instantanée pour répondre à un imprévu. Par exemple, le gestionnaire du réseau fixe un niveau de sécurité souvent exprimé comme un pourcentage (par exemple 5, 10 ou 15%) de la demande totale instantanée.

- RU, RD : rampes de puissance positives et négatives maximales (attention en MW/min) limitant les vitesses de variations de puissance.
- UT, DT : temps minimal (en h) à respecter par l'unité en état de fonctionnement ou à l'arrêt.
- C, C_u, C_d : coûts de production en \$/MWh et coûts des réserves (positives et négatives) en \$/MW.
- C_{su} : coûts fixes de démarrage en \$.
- P_{ini}, U_{ini}, T_{ini} : conditions initiales de puissance, d'état (1 : en fonctionnement, 0 : à l'arrêt) et de nombre d'heures dans cet état (-2 signifie 2 heures d'arrêt) .

<i>Unit</i>	<i>C</i> \$/MWh	<i>C_u</i> \$/MW	<i>C_d</i> \$/MW	<i>C_{su}</i> \$	<i>P_{ini}</i> MW	<i>U_{ini}</i> 0/1	<i>T_{ini}</i> h
Unit 18	5.47	0	0	0	320	1	50
Unit 21	5.47	0	0	0	320	1	16
Unit 1	13.32	15	14	1430.4	121.6	1	22
Unit 2	13.32	15	14	1430.4	121.6	1	22
Unit15b	10.52	16	14	312	0	0	-2
Unit 16	10.52	16	14	312	124	1	10
Unit 23a	10.52	17	16	624	248	1	10
Unit 23b	10.89	16	14	2298	280	1	50
Unit 7	20.70	10	9	1725	0	0	-2
Unit 13	20.93	8	7	3056.7	0	0	-1
Unit 15a	26.11	7	5	437	0	0	-1
Unit 22	0.00	0	0	0	240	1	24

Tableau 3 : Coûts et états des unités de production.

La nature des unités de production est donné dans le tableau 4.

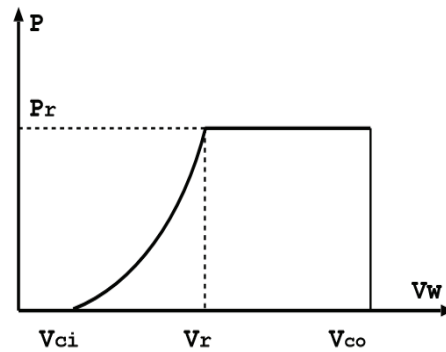
<i>Unit Type</i>	<i>Unit(s)</i>
Nuclear	18 21
Coal/Stream	1 2 15 16 23a
Coal/3 Stream	23b
Oil/Stream	7 13 15
Hydro	22

Tableau 4 : Nature des unités de production.

2. Energies renouvelables

Il est possible également de relier des fermes éoliennes au réseau de la figure 1. Elles sont implantées aux nœuds 3, 5, 7, 16, 21 and 23. Dans l'hypothèse d'absence de vent, ces fermes n'ont aucun impact sur le réseau. En présence de vent, un modèle simple suppose que la puissance produite dépend de la vitesse vent selon une loi cubique entre V_{ci} et V_r :

$$\begin{aligned}
 P_w(t) &= 0 && \text{si } V_w(t) \leq V_{ci} \text{ ou } V_w(t) \geq V_{co} \\
 &= P_r && \text{si } V_r \leq V_w(t) \leq V_{co} \\
 &= P_r * [V_w(t)^3 - V_{ci}^3] / [V_r^3 - V_{ci}^3] && \text{sinon.}
 \end{aligned}$$



On assimile la puissance totale éolienne (issue de toutes les fermes) équivalente à 100 turbines identiques. Les caractéristiques d'une turbine sont :

Pr (MW)	Vci (m/s)	Vr (m/s)	Vco (m/s)	k - paramètre de forme	λ - paramètre d'échelle
3	3,5	14	24	2,15	7,2

Tableau 5 : Paramètres turbine et paramètre loi de vitesse du vent.

La vitesse du vent est souvent modélisée par une loi de type Weibull :

$$f(v, k, \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{v}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{\lambda}\right)^k}$$

On suppose que des relevés de vent ont permis d'identifier des paramètres de la loi de Weibull (cf. tableau 5).

3. Emissions gazeuses

En plus de l'aspect économique, les performances d'un système de production peuvent être considérées par des aspects environnementaux tels que les émissions de polluants gazeux. Dans les tableaux 6 et 7, des informations sont données sur les émissions de CO₂.

Technology	Mean	Low	High
Lignite	1054	790	1372
Coal	888	756	1310
Oil	733	547	935
Natural Gas	499	362	891
Solar PV	85	13	731
Biomass	45	10	101
Nuclear	29	2	130
Hydroelectric	26	2	237
Wind	26	6	124

Tableau 6 : Emissions moyennes de CO₂ en tonnes/GWh au cours de la durée de vie d'une unité de production. *Source: World Nuclear Association (WNA) Report, Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources.*

Fuel	kg CO ₂ /kWh
Bituminous (black coal)	0.94
Sub-bituminous	0.98
Lignite (brown coal)	0.99
Natural Gas	0.55
Distillate Oil (No. 2)	0.76
Residual Oil (No. 6)	0.82

Tableau 7 : Emissions moyennes de CO₂ lors de la combustion de différents fuels.

Source: U.S. Energy Information Administration (EIA), Independent Statistics and Analysis.

4. Travail à réaliser

A partir des informations fournies et éventuellement d'informations complémentaires que vous désiriez inclure, vous devez définir une problématique qui peut être modélisée et résolue par une approche d'optimisation numérique. Vous calculerez la solution numérique de votre problème par l'utilisation du logiciel MATLAB.

Il vous est demandé de trouver une solution par une approche d'optimisation locale (programmation linéaire ou programmation non linéaire) ET par une approche d'optimisation globale (algorithme génétique notamment). Idéalement, vous devrez comparer directement les résultats obtenus par ces deux approches. Vous expliquerez, si cela est nécessaire, les adaptations à faire dans votre modèle pour obtenir des résultats *comparables* avec les deux approches.

La définition du problème que vous avez décidé de résoudre est complètement libre mais son intérêt sera à justifier. La difficulté associée au problème que vous aurez défini peut donc être variable et est intégrée dans le critère de notation. Il est conseillé de rajouter des difficultés étape après étape dans votre résolution numérique tout en paramétrant correctement votre programme afin qu'il soit adaptable aisément à l'ajout de nouveaux éléments.

5. Rendu et critères d'évaluation

A l'emploi du temps, 10 séances sont prévues pour la réalisation du projet. Le rendu est double et consistera en :

- un rapport synthétique (4 pages maximum + figures) et les différents programmes MATLAB (date limite du rendu : 17 Décembre 2019)
- une soutenance orale prévue le 17 Décembre 2019. Au cours de la soutenance, une exécution du programme d'optimisation sera à réaliser. La durée prévue pour chaque présentation orale est de 15 minutes (10 minutes d'exposé + 5 minutes de questions).

Les critères d'évaluations sont ainsi fixés :

- a. la pertinence de la problématique traitée – 5%
- b. la modélisation formalisée du(des) problème(s) – 25%
- c. la résolution numérique et les résultats obtenus – 20% (10% optimisation locale – 10% optimisation globale)
- d. l'analyse des résultats – 20% (10% optimisation locale – 10% optimisation globale)
- e. la présentation orale : discours, slides, graphiques, ... – 30%

Annexe 1 – Données

Les données sont disponibles dans le fichier *Donnees_Projet_Optimisation* à récupérer sur CAMPUS.

Annexe 2 – rappels de quelques fonctions MATLAB utiles

data = readtable('nomfichier.xlsx','sheet',1) : permet de lire les données sur la première feuille d'un fichier excel et de générer une variable de type table

P = data{:,4} : permet de récupérer les données de la 4^{ème} colonne de la table *data* dans une variable P

repmat(A,n,m) : permet de dupliquer un scalaire/une matrice A, sur n lignes et m colonnes

zeros(n,m) : permet de créer une matrice n lignes et m colonnes de « zéro ».

ones(n,m) : permet de créer une matrice n lignes et m colonnes de « un ».

eye(n) : permet de créer une matrice identité de dimension n.

diag(x0) : permet de créer une matrice avec une diagonale principale composée avec les éléments de x0

diag(x0,1) ; **diag(x0,-1)** : permet de créer une matrice avec une diagonale supérieure, respectivement diagonale inférieure, composée avec les éléments de x0

diag(x0)+diag(x1,1)+diag(x2,-1) : permet de créer une matrice tridiagonale avec les éléments de x0, x1 et x2 (les dimensions respectives doivent être cohérentes)

spy(A) : permet de visualiser une matrice creuse A et le nombre d'éléments différents de zéro.

imagesc(A) ; **colorbar** ; permet de visualiser une matrice en attribuant une couleur différente selon les valeurs des éléments de A.

wblrnd(a,b,n,1) : permet de générer n valeurs aléatoires suivant une loi de Weibull avec des paramètres (forme et échelle) a et b (wblrnd nécessite la *statistical toolbox*).