

Examen final

Instructions

- Durée totale : 2 heures.
- La place qui vous est attribuée doit être respectée (-2 points).
- Une pénalité de 1 point pourra être appliquée en cas d'orthographe déplorable.
- Aucun document n'est autorisé pendant l'épreuve.
- Les calculatrices sont autorisées, mais pas les téléphones, ni les traducteurs.
- Toute triche ou tentative de triche sous quelque forme que ce soit sera suivie de sanctions allant de la perte de points à l'exclusion définitive de tout établissement public d'enseignement supérieur (voir décret n°92-657 du 13 juillet 1992).
- Merci d'écrire lisiblement.

Exercice 1 : Questions de cours (4 points)

- 1) Expliquer à quoi correspond le principe du N-k (ou N-1).
- 2) Écrire une équation (simple) reliant production, consommation, exports, imports et pertes.
- 3) Expliquer ce qu'est le mécanisme d'ajustement chez RTE.
- 4) Préciser quelles sont les principales similitudes et différences entre les marchés de l'électricité et du gaz.
- 5) Expliquer comment le boom du gaz de schiste aux États-Unis peut indirectement participer à la relance du charbon en Europe.
- 6) Expliquer comment calculer le taux de retour interne d'un projet.

Exercice 2 : Dispatching sous contraintes (4 points)

On considère les 3 unités dont les caractéristiques sont données dans le Tab. 1. La fonction coût $C(P)$ de chaque centrale est donnée par la relation suivante :

$$C(P) = a \cdot P^2 + b \cdot P + c$$

Unité	a [€/MWh ²]	b [€/MWh]	c [€]	Pmin [MW]	Pmax [MW]
A	0,04	1,4	15	0	100
B	0,05	1,6	25	0	100
C	0,02	1,8	20	100	300

Tableau 1 : Caractéristiques des centrales.

On suppose que les unités doivent alimenter un consommateur de 350 MW, et que leur opérateur a la possibilité de vendre de l'énergie sur les marchés à un prix de 10,2 €/MWh.

- 1) Calculer le dispatching optimal pour les 3 centrales (détailler les calculs) :
 - a. Donner l'expression de la fonction lagrangienne,
 - b. Donner l'expression de *toutes* les conditions d'optimalité,
 - c. Résoudre le système en analysant les différents cas,
 - d. En déduire la quantité d'énergie vendue sur les marchés.
- 2) Calculer le profit réalisé sur cette période de 1 heure par le propriétaire des centrales si le consommateur paie son électricité au producteur 20 €/MWh.

Exercice 3 : Impact du réseau électrique (7 points)

On considère le réseau à 3 bus de la Fig. 1, comportant les unités et les lignes dont les caractéristiques sont données dans les Tab. 2 et 3. Pour l'ensemble des questions, les calculs devront être détaillés et les réponses justifiées.

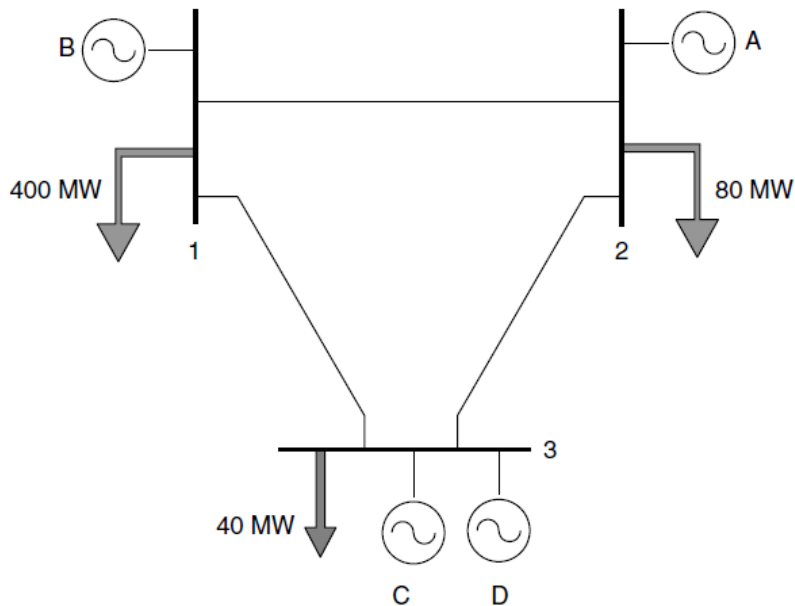


Figure 1 : Réseau à 3 bus étudié.

Unité	Coût marginal [€/MWh]	Capacité [MW]
A	12	150
B	15	200
C	10	150
D	8	400

Tableau 2 : Caractéristiques des centrales.

Ligne	Réactance [p.u.]	Capacité [MW]
1-2	0,2	250
1-3	0,3	250
2-3	0,3	250

Tableau 3 : Caractéristiques des lignes.

- 1) Calculer le dispatching initial (non-contraîné par les lignes de transport) des centrales.
- 2) Calculer le prix nodal à chaque bus dans ce cas.

- 3) Calculer le flux sur chaque ligne si les unités sont dispatchées suivant les résultats de la question 1. Identifier les lignes surchargées.
- 4) Proposer un dispatching différent, le moins cher possible (on ne demande toutefois pas une solution optimale), permettant de supprimer ces surcharges, et calculer le coût de production et les flux correspondants.
- 5) En déduire le prix nodal à tous les bus suite à ce nouveau dispatching.
- 6) Calculer le surplus de congestion à chaque bus dans la configuration obtenue dans la question 4.

Exercice 4 : Investissement dans la production (3 points)

Un investisseur propose de construire une centrale photovoltaïque de 3000 m², d'un rendement de 20 % (rapport électricité produite / énergie reçue du soleil), exposée à un ensoleillement variable donné par le Tab. 4.

Ensoleillement E [W/m ²]	Heures/an [%]
1000	5
500	20
250	25
0	50

Tableau 4 : Caractéristiques des lignes.

La durée de vie de la centrale est estimée à 20 ans, avec un coût d'achat et de construction de 500 €/kW. L'investisseur souhaite profiter du tarif de rachat garanti par le gouvernement local, fixé à 40 €/MWh pour les 10 premières années, puis 20 €/MWh les années suivantes.

On rappelle que la production d'une centrale est donnée par la relation suivante, où P est la puissance électrique produite, E l'ensoleillement reçu en W/m², et S la surface en m² :

$$P = \eta \cdot E \cdot S$$

On suppose que la « capacité » installée de la centrale est obtenue quand l'ensoleillement est maximal (1000 W/m).

- 1) Calculer le flux de trésorerie (*cash flow*) pour chaque année dans un tableau, en détaillant les investissements, les coûts de production, et les revenus annuels.
- 2) Expliquer comment l'investisseur peut avoir une indication sur la rentabilité financière du projet à partir des résultats de la question 1.

Exercice 5 : Évolution des marchés de l'énergie (2 points)

En 2013, la CRE a validé la mise en place expérimentale d'un mécanisme d'effacement (réduction temporaire) de consommation intégré aux marchés, appelé NEBEF : des opérateurs d'effacement peuvent désormais choisir de réduire leur charge (ou celles de leurs clients), et de valoriser ces effacements de consommation d'électricité sur les marchés de l'énergie.

L'effacement peut s'appliquer à la fois dans l'industrie, où des machines très consommatrices peuvent être utilisées, mais également dans les bâtiments tertiaires et résidentiels (climatisation/chauffage, électroménager, etc.).

D'après vous, quels sont les principaux avantages et inconvénients de ce principe d'effacement de charge par rapport à la production thermique classique ? Quel impact peut-il avoir sur les marchés ?