

# 3EN5020 - Réseaux électriques et intégration d'énergies renouvelables

Responsables : **Pierre HAESSIG**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27**

Année académique : **2024-2025**

Niveau avancé : **non**

## Présentation, objectifs généraux du cours :

L'électricité est un vecteur d'énergie capable fournir des services énergétiques variés de façon très efficace. De plus, le potentiel de production d'électricité décarboné (hydro, solaire et éolien), actuellement sous-exploité, est très grand. Ainsi, la part de l'électricité dans la consommation d'énergie finale, qui a déjà doublé sur les 50 dernières années, a vocation à encore beaucoup augmenter.

Au 20<sup>e</sup> siècle, le développement des réseaux d'électricité jusqu'à l'échelle continentale a permis de fournir cette énergie de façon fiable et économiquement efficace, via la construction de grandes unités de production centralisées (centrales nucléaires, à charbon ou grands barrages). Au 21<sup>e</sup> siècle, cette organisation est remise en question par le développement d'énergies renouvelables variables et dispersées (solaire et éolien). Les programmes politiques de dérégulation économique sont également à l'origine de grands changements d'organisation des systèmes électriques. Cependant, la variabilité temporelle et spatiale des sources renouvelables renforce l'intérêt des réseaux comme moyen de solidarité énergétique entre les régions.

Les réseaux combinent des composants technologiques de plus en plus complexes (convertisseurs à électronique de puissance), avec d'indispensables organes de contrôle (au sens large, qui inclut les fonctions de surveillance, coordination, optimisation...). En effet, le maintien en bon état de fonctionnement (stabilité) des réseaux est un problème de contrôle complexe qui nécessite une bonne association du matériel et du logiciel.

Dans le vaste ensemble de problématiques des réseaux, ce cours propose d'aborder :

- la description matérielle des réseaux électriques : architecture, acteurs et composants principaux
- la physique du transfert de puissance en régime alternatif (lien entre puissances active & réactive, tension et phase)
- la physique et les dispositifs de régulation de l'équilibre offre-demande (en particulier régulation de fréquence)
- les effets d'une part croissante de sources renouvelables variables sur les sujets ci-dessus

## Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SM10

## Prérequis :

Notions d'énergie électrique à connaître (par exemple en ayant suivi l'électif 1A « Énergie Électrique (ENE) ») :

- Analyse des circuits électriques en régime sinusoïdal : amplitudes et impédances complexes
- Puissances en régime alternatif : P (active), Q (réactive) et S (apparente)

Si certaines de ces notions n'ont pas été acquises précédemment, des ressources seront fournies pour une mise à niveau en autonomie.

## Plan détaillé du cours (contenu) :

### Description matérielle des réseaux électriques

- Architecture des réseaux : transport, distribution
- Technologie des composants : lignes & câbles, machines, convertisseurs HVDC
- Principes physiques : modélisation, équation des flux de puissance
- Changements liés aux nouvelles énergies renouvelables

### Régulation, optimisation et estimation d'état des réseaux électriques

- Stabilité et régulations des réseaux : architecture de commande, effet de l'inertie (e.g. effet des renouvelables), régulation fréquence primaire et secondaire, régulation de tension
- Estimation d'état des réseaux électriques : principes et application à des cas simples en statique

## Déroulement, organisation du cours :

L'enseignement est sous forme de cours et de séances d'exercices, dont une bonne partie sur ordinateur.

Répartition des heures (27 h présentiel) :

Cours : 10,5 heures, TD : 10,5 heures, TP : 4,5 heures, Évaluation (examen écrit) : 1,5 heures.

## Organisation de l'évaluation :

L'évaluation du cours se fait pour 25 % par contrôle continu des activités, en particulier les séances sur ordinateur, et pour 75% par un examen final de 1h30.

## Moyens :

Équipe pédagogique CentraleSupélec :

- Pierre Haessig, responsable de cours

Intervenant·e·s de l'industrie :

- RTE : technologies et évolutions des réseaux de transport d'électricité
- GE Vernova : outils logiciels pour le pilotage et l'optimisation du fonctionnement des réseaux

Logiciels utilisés : Matlab, avec Simulink et la toolbox open source Matpower.

## Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

### Réseaux électriques

---

- savoir décrire l'architecture des réseaux et leurs principaux composants
- savoir décrire les principaux mécanismes de régulation du réseau et la physique (fréquence, inertie) qui les sous-tend
- effectuer une analyse de répartition des flux de puissance (power flow) et une estimation de l'état sur des exemples de réseaux simples, à l'aide de programmes informatiques

## Description des compétences acquises à l'issue du cours :

The skills described above make it possible to validate the following CentraleSupélec engineering skills:

- C1.2 Develop and use appropriate models, choosing the correct modelling scale and simplifying assumptions when addressing a problem
- C1.3 Solve problems using approximation, simulation and experimentation
- C1.4 Design, detail and corroborate a whole or part of a complex system

To a lesser extent, the state estimation part relates to competence C6.4 Solve problems through mastery of computational thinking skills.

## Bibliographie :

MATPOWER User's Manual <https://matpower.org/docs/MATPOWER-manual.pdf>

P. Jeannin et J. Carpentier, "Réseaux de puissance - Méthodes de résolution des équations", Techniques de l'Ingénieur, R f : D1120 v1, 1994.