

# ÉNERGIES DU XXI<sup>e</sup> SIÈCLE

Marie-Jean Thoraval ▶ Mécanique  
✉ marie-jean.thoraval@polytechnique.edu

Daniel Suchet ▶ Physique  
✉ daniel.suchet@polytechnique.edu

## Contexte

A l'heure actuelle, plus de 80 % de l'approvisionnement énergétique mondial vient d'énergies fossiles. Ce mix pose des problèmes scientifiques et stratégiques majeurs depuis longtemps; mais ces questions gagnent encore en visibilité alors que le changement climatique est de plus en plus sensible. Elles concernent une grande diversité d'acteurs – entreprises, collectivités, institutions nationales et internationale- qui sont amenés à agir et à réagir pour assurer leur approvisionnement énergétique et en gérer les conséquences.

On distingue souvent 3 grands enjeux énergétiques: la durabilité (climat, pollution, épuisement des ressources), la sécurité (maîtrise de l'approvisionnement, sûreté des installations) et la justice (accès aux bénéfices de l'énergie, répartition des coûts). Dans chacune de ces dimensions, le débat public et les prises de décisions doivent être nourris d'une compétence technique, dans laquelle les ingénieurs ont une responsabilité particulière.

## Objectifs

Le programme d'approfondissement « Énergies » est proposé par les départements de Mécanique et de Physique. Il s'adresse particulièrement aux étudiants se destinant aux différents métiers s'exerçant dans les domaines très vastes du développement des nouvelles techniques dans la production de l'énergie, de son transport, de son stockage, de sa gestion et de ses conséquences pour notre société.

L'objectif de ce programme est l'acquisition des concepts scientifiques essentiels pour la compréhension technique des questions énergétiques, notamment dans le développement et la gestion des énergies dites « non fossiles ».

Différentes trajectoires peuvent être envisagées au sein du PA pour mettre l'accent sur différentes facettes de ces problématiques: énergie nucléaire, énergie solaire, énergie éolienne, matériaux pour l'énergie, enjeux stratégiques etc.

Sa pédagogie combine cours magistraux à forte composante scientifique, sensibilisation aux enjeux technologiques et économiques, découverte du secteur (visites, exposés), et mise en œuvre pratique par des projets ou par des stages. Le PA invite les élèves à profiter pleinement de l'écosystème de recherche en lien avec l'énergie sur le campus (conférences, laboratoires, centre E4C...).

Si l'enjeu principal de cette formation est l'acquisition d'un solide bagage technique, l'ouverture à des perspectives issues des sciences humaines est indispensable pour envisager le domaine dans sa complexité. Le PA invite donc à suivre des cours des départements ECO, MIE ou HSS consacrés à l'énergie.

### Contenu

#### a. Règles de choix de cours

- ▶ P1 : 3 cours + 1 EA au choix dans la liste ci-dessous
- ▶ P2 : 3 cours + 1 EA au choix dans la liste ci-dessous
- ▶ Sur l'année :
  - Au moins 4 cours ou EA du PA Énergies entre PHY et MEC
  - Au moins 1 et au maximum 2 cours ECO, MIE ou HSS (panachage compris)
- ▶ Impossible de suivre deux cours dont les amphis sont sur le même créneau

#### b. Règles de panachage

- ▶ Pour chaque période, 1 panachage (cours ou EA) est possible – dans la limite des règles ci-dessus.

#### c. Prérequis

Les prérequis sont spécifiques à chaque cours du programme : il n'y a donc pas de prérequis général au programme, au-delà d'une bonne formation initiale en mécanique et en physique. Pour les étudiants rejoignant l'École polytechnique en master, il faut cependant noter qu'une bonne formation de base en mécanique et physique est nécessaire pour suivre ce programme.

#### Recommandations en parallèle des cours du PA :

- ▶ Séminaire HSS/MIE
  - HSS\_51S05\_EP – Quand l'écologie fait débat. L'analyse de controverses appliquée aux enjeux environnementaux
  - IME\_51S07\_EP – Management de la transition énergétique
- ▶ Cours HSS
  - HSS\_51C21 – Face à la crise environnementale et climatique : des humanités environnementales ?
- ▶ Conférences Coriolis (cycle Energy : research & innovation, cycle Ingénieur de demain) (<https://www.e4c.ip-paris.fr/#/fr/education/conferences/Coriolis>)
- ▶ Séminaire Technologies de la Transition Énergétique de la chaire EDF Énergie Durable
- ▶ Challenge étudiant E4C (<https://energy-4climate.agorize.com/en>)

#### d. Stage de recherche

Le stage peut être effectué en France ou à l'étranger, dans un laboratoire, une entreprise ou une institution. Le point crucial est que l'activité doit être un projet de recherche – c'est-à-dire qu'il s'agit de produire des connaissances nouvelles, sans certitude initiale sur les résultats finaux.

#### e. Compétences acquises

- ▶ Socle de compétences techniques pertinentes pour les enjeux énergétiques
- ▶ Spécialisation dans un (ou quelques) secteur énergétique
- ▶ Introduction multidisciplinaire aux problématiques énergétiques

## 4A, débouchés et métiers

En 4A, environ 10-30 % des élèves poursuivent leur formation dans un corps de l'Etat (Mines, Ponts), 20-40 % dans une école d'application (IMT, ENPC, ENSTA) et environ 50 % dans un Master, en France (IPP, PSL...) ou à l'étranger (EPFL, Montréal, ETH, KTH, Stanford, Oxford, Cambridge...).

A plus long terme, le PA peut ouvrir vers une thèse de doctorat ou directement vers le monde du travail. Il permet d'aller vers la recherche académique dans le domaine de l'énergie, la R & D industrielle, la gestion de projets énergétiques (développement, installation, opération), l'analyse prospective...

# COMPOSITION DU PROGRAMME

Pour vous aider à construire votre emploi du temps, le tableau ci-dessous montre la répartition des cours dans la semaine. Code couleur: bleu = amphi. Vert = PC.

Cours P1	Lundi				Mardi				Mercr.				Vendr.			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
APM_51051_EP			■	■												
MEC_51051_EP									■	■	■					
MEC_51055_EP									■		■					
MEC_51059_EP	■	■														
MEC_51057_EP			■	■												
PHY_51004_EP											■	■				
PHY_51005_EP									■	■						
PHY_51055_EP													■	■	■	
PHY_51058_EP	■	■	■													

  

EAP1	Lundi				Mardi				Mercr.				Vendr.			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
MEC_51170_EP							■	■								
MEC_51171_EP							■	■								
MEC_51177_EP							■	■								
MDC_51170_EP							■	■								
PHY_51006_EP									■	■						

## Période 1

3 cours au choix

- APM\_51051\_EP** – Systèmes dynamiques pour la modélisation et la simulation des milieux réactifs multi-échelles
- MEC\_51051\_EP** – Comportements des matériaux
- MEC\_51055\_EP** – Instabilités and Turbulence
- MEC\_51057\_EP** – Machine learning for climate and energy
- MEC\_51059\_EP** – Mécanique pour l'éolien
- PHY\_51004\_EP** – Physique et Ingénierie d'Appareils Photovoltaïques
- PHY\_51005\_EP** – Génie Electrique et Energie Renouvelable
- PHY\_51055\_EP** – Énergie et environnement
- PHY\_51058\_EP** – Physique des réacteurs nucléaires

1 EA au choix

- MEC\_51170\_EP** – Analyse et dimensionnement des structures et composants
- MEC\_51171\_EP** – Chargements climatiques: impacts, enjeux énergétiques et environnementaux
- MEC\_51177\_EP** – Écoulements environnementaux
- MEC\_51170\_EP** – Accompagner les entreprises dans leur transition écologique
- PHY\_51006\_EP** – Building and using models for the energy transition

# COMPOSITION DU PROGRAMME

Pour vous aider à construire votre emploi du temps, le tableau ci-dessous montre la répartition des cours dans la semaine. Code couleur: bleu = amphi. Vert = PC.

Cours p2	Lundi				Mardi				Mercr.				Vendr.			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
CSC_52069_EP	■	■	■													
ECO_52064_EP									■	■	■					
ECO_52067_EP													■	■		
IME_52061_EP											■	■				
MDC_52067_EP	■	■														
MEC_52061_EP													■	■	■	
MEC_52062_EP									■	■	■					
MEC_52066_EP	■	■	■													
PHY_52063_EP											■	■				
PHY_52069_EP		■		■												

  

EAP2	Lundi				Mardi				Mercr.				Vendr.			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
MEC_52181_EP							■	■								
MEC_52183_EP							■	■								
MEC_52185_EP							■	■								
PHY_52185_EP							■	■								
PHY_52186_EP							■	■								
PHY_52189_EP							■	■								

## Période 2

3 cours au choix

**CSC\_52069\_EP** – Decision theory, with applications to energy systems

**ECO\_52064\_EP** – Économie des secteurs énergétiques

**ECO\_52067\_EP** – Energy Economics with a Geography Focus

**IME\_52061\_EP** – Eco-conception pour l'innovation soutenable

**MDC\_52067\_EP** – Transport et diffusion

**MEC\_52061\_EP** – Fluid-Structure Interactions

**MEC\_52062\_EP** – Mécanique et couplages multiphysiques

**MEC\_52066\_EP** – Mécanique des fluides pour l'énergie et applications au domaine nucléaire

**PHY\_52063\_EP** – Material science for energy conversion and storage

**PHY\_52069\_EP** – Physics of plasmas and thermonuclear fusion

1 EA au choix

**MEC\_52181\_EP** – Modèles et données en mécanique

**MEC\_52183\_EP** – Projects on Solar and Wind Energy: Resource and Performance Analysis

**MEC\_52185\_EP** – Engineering computational solid mechanics

**PHY\_52185\_EP** – Travaux expérimentaux en physique de l'environnement

**PHY\_52186\_EP** – Technologie des réacteurs nucléaires et cycle du combustible

**PHY\_52189\_EP** – Laboratory Course in Photovoltaics

## Période 3

Stage de recherche

**MEC\_52997\_EP** – Énergies

ou

**PHY\_52997\_EP** – Énergies