

MASTER TRANSITION ENERGETIQUE ET TERRITOIRES



Objectifs

Les enjeux environnementaux (changement climatique et pollution atmosphérique), les tensions sur les ressources et leur caractère fini, le lent mouvement de décentralisation concourent à ce la mise en place d'une transition énergétique par les territoires, dans leur diversité et à leur échelle. S'ils sont devenus les acteurs principaux de cette transition, celle-ci implique de mobiliser des personnes qui aient à la fois :

- une compétence technique réelle en thermique et/ou énergétique ;
- une compétence technique en termes d'efficacité énergétique dans les transports ou le bâtiment ;
- des compétences en économie de l'énergie, en financement de projet et en élaboration de *business plan* et *business model* ;
- une connaissance et une analyse des politiques publiques, de la géostratégie et du cadre réglementaire ;
- des compétences sur les réseaux ;
- une maîtrise des outils d'optimisation adaptés ;
- une capacité à évaluer et à développer l'appropriation des nouveaux modèles énergétiques.

Pour répondre aux besoins, le Master « Transition énergétique et territoires » (TET) de l'Ecole des Ponts forme d'une part à l'analyse critique et contextuelle des situations et projets énergétiques aux différentes échelles (états, régions, métropoles, etc.). Le master TET forme d'autre part à la conception, l'évaluation et l'exploitation d'un système en termes de performance énergétique via la modélisation et la simulation des composantes du système : bâti, véhicules, réseaux, etc.

L'acquisition des compétences nécessaires au monde industriel et aux collectivités territoriales dans les domaines de l'accompagnement de la transition énergétique, de l'efficacité énergétique d'une ville ou d'un territoire, des smart grids est le cœur du master « Transition énergétique et territoires ».

Ce Master a vocation à :

- donner un panorama technique sur les modes de production et de stockage de l'énergie et sur les technologies ;

- développer les compétences techniques, notamment en termes d'optimisation technico-économique, de financement de projet et de gestion de l'énergie dans le bâtiment ou dans les transports ;
- proposer une grille de lecture des enjeux géostratégiques liés aux énergies et fournir les éléments réglementaires pertinents ;
- approfondir les connaissances en termes de fonctionnement des marchés de l'énergie ;
- proposer des instruments de gestion des réseaux et d'optimisation des stratégies d'équilibre offre/demande à différentes échelles territoriales (bâtiment, quartier, ville...) ;
- produire des modèles économiques viables de stratégie énergétique ;
- apprendre à mobiliser et intégrer l'ensemble des compétences nécessaires à la définition et au pilotage d'une stratégie énergétique ;
- construire dans le dialogue avec les parties prenantes l'acceptabilité de la transition énergétique.

Les cours sont assurés par des acteurs de la transition énergétique, représentant l'industrie, collectivités, chercheurs.

Il s'articule autour :

- d'un tronc commun ;
- d'éléments d'approfondissement à choisir :
 - en optimisation technico-économique des systèmes énergétiques
 - en efficacité énergétique des bâtiments
 - en efficacité énergétique des systèmes de transport
- d'un projet transversal de deux mois visant à mobiliser autour d'un projet réel les différentes compétences nécessaires.
- d'un projet de fin d'études de 5 mois en entreprise, collectivité locale, agence de moyens, laboratoire, etc.

Le premier semestre réunit un tronc commun et des enseignements d'approfondissements, le tout correspondant à environ 285 heures de cours suivies par élève. L'offre de cours est plus importante que ces 285 heures (500h au total) puisqu'une partie des cours est optionnelle. Le second semestre est consacré à la réalisation du projet transversal. La formation s'achève par un projet de fin d'étude individuel en entreprise (avril à août).

Après le Master

À l'issue du Master, les diplômés ont vocation à occuper des postes de chef de projet énergétique au sein des énergéticiens ou des collectivités locales, à diriger de projets d'ingénierie pour l'efficacité énergétique dans une logique systémique, de travailler à la définition et au déploiement de smart grids...

Organisation pratique

Début des cours le 12 septembre 2022 ; fin des projets de fin d'études fin août 2023 (soutenances en septembre/octobre 2023).

Contact : Thierry Hommel, responsable pédagogique master TET :

thierry.hommel@enpc.fr

LISTE DES COURS 2019-2020

Module			Responsable	Nombre d'heures	ECTS
Tronc commun	Energies du XXI ^e : enjeux et acteurs	Energy technologies: production, transport, storage	T. Hommel (ENPC)	30	2
		Geopolitics of energy	M. Schenckery (IFP School)	20	2
		Financement de projet énergétique	S. Bianchi (IFP School)	20	2
		Introduction à l'économie de l'énergie	B. Shoai-Tehrani (IFP School)	10	1,5
		Cycle de conférence	T. Hommel (ENPC)	20	1
	Energies et territoires	Gouvernance de la transition énergétique, le rôle des territoires	L. Laigle (CSTB)	25	2,5
		Energy demand analysis and management	C. Crocombette (EDF)	25	2,5
		Énergie, territoires, réseaux	G. Auriol (ENEDIS)	25	2,5
	Langues	Anglais si niveau à améliorer, autre langue déjà étudiée	département des langues		2
	Total Tronc commun SEPT-JAN				175
Approfondissements	Optimisation technico-économique de systèmes énergétiques	Économie de l'énergie	B. Shoai-Tehrani (IFP School)	30	3
		Économie des smart grids	F. Lantz (IFP School)	15	1,5
		Investment decision making for energy transition	A. Farnoosh (IFP School)	30	3
		Introduction à la recherche opérationnelle	Edouard Thisse	18	1,5
		Optimisation stochastique et énergies renouvelables	Wim Van Ackooij (EDF)	25	3
	Bâtiments et énergie	Énergétique des bâtiments		30	3
		Projet bâtiment bioclimatique		60	7,5
		Analyse des Cycles de Vie	Hélène Teulon	18	2
	Mobilités, aménagement	Défis et définitions de la mobilité durable	Arnaud PASSALACQUA (Lab'Urba - Université Paris-Est Créteil)	42	4
		Analyse des Cycles de Vie	Hélène Teulon	18	2
		Projet Well-to-Wheel		20	2
		Tomorrow's Mobility – Sustainable Technologies for the Automotive Sector	MOOC IFP	13	1

	ment et énergie	Au choix parmi les 3 cours suivants:			
		- Externalités des transports	Yelva Roustan (ENPC)	39	4
		- Conception et exploitation de systèmes logistiques et de transports	Philippe Wieser (EPFL)	36	3
		- Mobilités connectées: nouvelles données, nouveaux usages	Luc Charanson (LVMT)	32,5	3
Total Approfondissement SEPT-JAN			120	12	
Projet intégrateur FEVRIER-MARS			200	10	
Stage AVRIL-AOUT avec mémoire à visée réflexive (+livrables pour entreprise ou labo)				20	
Total (au minimum)				60	

DESCRIPTIFS DES MODULES DU MASTER

Les enjeux énergétiques du XXI^e siècle (tronc commun, 90h)

Energy production, transport and storage TETEC

Responsable: T. Hommel (ENPC)

Objective: This class will present technologies for energy conversion, energy transport and energy storage for various energy vectors (electricity, heat, fuels). It is based on on-line learning and site visits.

Syllabus:

- Definitions: primary energy, final energy, energy conversion, power/discharge diagrams, energy density, conversion between energy vectors, etc.
- For each technology: the technology working principle, its efficiency range, the plant/network/device design (components, architecture, fluxes in/out, orders of magnitude), the necessary resources and siting constraints (eg a connection to a water network or other infrastructures), the size, construction time and lifetime of the plants/networks/devices, technology costs in terms of CAPEX and OPEX, the potential evolutions of the technology and in some cases, externalities and scalability potential
- Electricity generation: thermal power plants; nuclear plants; hydroelectricity; wind farms; concentrating solar power plants; photovoltaics farms
- Electricity transport and distributions: electrical grids, their evolutions in terms of sizing, physical capacity and management (smart, micro, mini grids)
- Heat generation and management: co-generation, solar thermal, heat pumps, heat networks, geothermal power, waste heat
- Fuels: biomass, oil, gas and alternative gases, including hydrogen (production, distribution, storage, fuel cells)
- Energy storage: hydrostorage, electrochemical storage (batteries, supercapacitors), mechanical storage (compressed air, inertia), thermal storage (phase change, thermochemical), power2gas, buildings and vehicles as storage devices

At the end of the class, students will be able to:

- Explain the notion of energy vectors and conversion between vectors
- For each technology:
 - explain the technology working principle and its efficiency range
 - describe the plant, network or device design (components, architecture, fluxes in/out, scale)
 - identify the necessary resources and siting constraints (eg a connection to a water network or other infrastructures)
 - estimate the size, scalability and lifetime of projects
 - give orders of magnitudes for technology costs in terms of CAPEX and OPEX
 - explain the global direction of evolution of each technology and identify reliable sources of information on technological evolutions in order to anticipate the potential impacts of these evolutions (with regards for example to the life cycles, business models, supply chains, etc, which are treated in other courses)
 - identify externalities
- Explain how energy can be transported at various scales, describe constraints from and on the electrical grid and the evolutions thereof

- Compare technologies or portfolios of technologies:
 - Describe the differences between the various technologies in terms of orders of magnitude of energy production, efficiencies and costs
 - Understand the technical criteria that will be used to choose a production/transport/storage technology to fulfil an energy need at a specific site or region. Other courses will detail the contexts and methods to make these choices.

Assessment: online quizzes and reports

30h (2 ECTS)

Geopolitics of energy TEGEO

Responsable : M. Schenckery (IFP School)

Objectifs :

The course addresses the geopolitics of energy. It globally reviews resources, flows, market and prices. Drawing lessons from the past, it analyzes players (government, IOCs, NOCs, ...) behaviors and power struggles to outline the future of energy. Transformation of main energy industry value chains are discussed according to technological, economic and political drivers. Burning issues regarding recent energy policies are highlighted for the main economic regions (Europe, USA, Russia, Middle East, Asia and Africa). The methodologies used in the course will include PPT lectures, videos, debates and exercises. Blended learning is applied as much as necessary. The course may be delivered on-line upon request and is based on in class exercises and articles readings.

The course will give students an understanding of:

- Tools to analyze geopolitical issues in energy
- Outlook and trends about global energy resources and flows
- Main features of energy value chains and energy market structures.
- Energy transition challenges and key drivers
- Recent energy policies in the main geographical regions

Syllabus:

Tackled concepts		Geopolitics, energy economics, value chains, market power, politics, climate change
N°	Type	

1-2	Course 2*2,5 hours	Part 1 Introduction to energy economics and oil & gas geopolitics • Global energy supply and demand outlook • Exercises to understand energy indicators and units (BP Stats) • Global oil and gas flows • Business cycles and price discovery • Main players behaviors • Rent, taxes and subsidies • Other energy policies instruments 1-2 Invitee: TBD 30 minute on-line presentation + 30 minutes on-line Q&A - debate
3-4-5	Course 3*2,5 hours	Part 2: Energy transition drivers: • Transformative features and drivers • Pricing externalities • Stranded assets • Electric generation transformation and industrial implications (coal, gas VS wind, solar, nuclear, hydro) • Transport: evolution vs disruption (EVs, H2, bio fuels) • Negative emission technologies • Climate geopolitics • Technology geopolitics 1-2 Invitee: TBD 30 minute on-line presentation + 30 minutes on-line Q&A - debate
6-7-8	Course 3 * 2,5 hours	Part 3: Regional geopolitical issues • Europe: renewables and security of supply • Russia: Energy as a diplomatic weapon? • Asia: pollution vs economic development • Middle East: diversification out of the hydrocarbons? • USA: energy independence and consequences • Africa: export vs domestic 1-2 Invitee: TBD 30 minute on-line presentation + 30 minutes on-line Q&A - debate

At the end of the class, Students will be able to:

- Find, identify and prioritize noteworthy information on energy policies, energy value chains and climate change issues
- Recognize the main factors affecting geopolitics and their interactions with the energy sector
- Assess-economic issues of energy production and consumption.

Assessment :

- Short quizzes on data and concepts seen in course (30%)
- Report (10-15p) discussing a “hot” geopolitical issue (70%)

20h (2 ECTS)

Financement de projets énergétiques TEFIN

Responsable : Sébastien Bianchi, IFP School

Prérequis : Bases de droit, de comptabilité et de finance.

Objectifs : Les projets énergétiques (déploiement de smart grids, construction de centrales nucléaires...) demandent souvent des investissements très importants, portant sur des temps très longs. Les modalités de financement et de prévision contre le risque sont donc particulières. L'objectif de ce module est de présenter les outils de financement des projets énergétiques dans leur composante économique, financière et juridique.

Programme :

1. Introduction à la comptabilité (bilan, compte de résultat, tableau de flux de trésorerie et liens entre les états financiers et leurs conséquences sur les finances de l'entreprise)
2. Flux de trésorerie et de leur actualisation sur tableur
3. Critères économiques de base et intégration des flux d'impôts dans le modèle sur tableur
4. Modèles de flux en faveur du projet et en faveur des investisseurs et intégration d'hypothèses sur le besoin en fonds de roulement, sur l'inflation, sur la gestion des devises et sur les risques
5. Financement (mécanisme de crédit, structure de dettes, covenants, refinancement)
6. Aspects juridiques (principales clauses: contrat de concession / contrat de partenariat, contrats de construction et d'exploitation, contrats de crédit)
7. *Business models* (contrat de vente long terme, mécanismes de soutien, tarifs régulés)
8. Etude de cas

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- décrire la structure financière de l'entreprise (patrimoine, dettes, trésorerie) en utilisant les états comptables légaux et d'identifier leurs conséquences en les appliquant sur les modèles financiers;
- maîtriser les concepts de base, les principes et l'environnement du financement de projet;
- construire un modèle financier élaboré sur tableur en utilisant les méthodes de calcul économique (capital budgeting);
- choisir les projets dans lesquels investir en appliquant les principaux critères de choix d'investissement (TRI, VAN, temps de retour);
- analyser les risques en utilisant les méthodes de sensibilité et les méthodes matricielles des agences de notation;
- maîtriser les aspects juridiques du financement de projet en utilisant le droit des contrats

Evaluation : case study (group work), final exam

20h (2 ECTS)

Introduction à l'économie de l'énergie TEINE

Responsable : Bianka Shoai-Tehrani, RTE

Prérequis : bases de micro et macroéconomie

Objectifs

Il s'agit d'une introduction générale à l'économie de l'énergie : structure et fonctionnement des marchés (électricité et gaz, carbone), place du secteur énergétique dans macroéconomie.

Objectifs

Ce module a pour but d'offrir un panorama du fonctionnement des marchés de l'énergie aux niveaux international et national, de comprendre les interactions entre ceux-ci, le rôle des acteurs, ainsi que de proposer une ouverture vers la prospective énergétique et les problématiques liées au consommateur.

Contenus et éléments de programme

Ce module pourra ainsi aborder les thèmes suivants :

- Les marchés de l'énergie dans un contexte de transition énergétique, au niveau mondial
- Les marchés électriques
- Les marchés du carbone
- Eléments de macroéconomie appliqués au secteur énergétique
- Ouverture sur la prospective et les problématiques liées au consommateur

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- Comprendre les bases du fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz aux échelles internationale, européenne et nationale, notamment le rôle des différents acteurs impliqués, de l'Etat au consommateur
- Comprendre le fonctionnement du marché du carbone en Europe et des marchés du carbone émergeant dans le reste du monde
- Comprendre les notions de base sur la formation des prix sur les marchés, et sur les liens entre prix de l'énergie et macroéconomie
- Comprendre les notions de base de la prospective énergétique comme outil d'éclairage du débat public et d'appui à la planification publique et privée

Programme

Séance 1 : Introduction générale - les marchés de l'énergie dans le contexte de la transition énergétique

- Le contexte actuel des marchés de l'énergie : éléments historiques pour l'Europe (nationalisation, puis dérégulation) ; état des lieux de la libéralisation selon les régions du monde
- Le rôle de l'Etat, du régulateur, des acteurs du marché
- Panorama des marchés du gaz et du pétrole dans le monde : prix, volumes, spécificités/différences, pays acheteurs / vendeurs.

Séance 2 : Eléments de macroéconomie appliqués au secteur énergétique

- Rappels sur la définition et la mesure des indicateurs macroéconomiques classiques
- Introduction aux modèles macro-économiques et application à la modélisation énergétique mondiale

- Ouverture sur la prospective énergétique et comparaison entre régions du monde

Séance 3 : Les marchés électriques

- Les acteurs et l'organisation du secteur électrique
- Les principaux marchés électriques : du long-terme au J-1. Types de produits, logique d'offre sur les marchés, formation des prix, merit order, prix négatifs.
- Problématique de tarification, de rémunération des acteurs et de participation des consommateurs

Séance 4 : Le marché du carbone

- Présentation des différents mécanismes économiques possibles pour réduire les émissions de CO2 (instrument prix versus instrument quantité)
- Le marché européen du carbone (EU-ETS) : fonctionnement, historique et perspectives
- Lien entre le marché du carbone et le secteur énergétique
- Etat des marchés du carbone dans le monde

MODALITES PÉDAGOGIQUES

Cours magistraux, proposition de lectures, quizzes d'autoévaluation en séance

MODALITES D'EVALUATION DES CONNAISSANCES ET RÈGLES DE VALIDATION

Contrôle final avec QCM couvrant les différentes thématiques abordées + une question ouverte. Via une plateforme en ligne avec créneau horaire limité.

10h (1,5 ECTS)

Cycle de conférences TESEM

Responsable : Thierry Hommel (ENPC)

Objectifs : Le but de cours est d'aborder des thématiques importantes de la transition énergétique qui ne sont pas traitées dans les cours du M2, afin de permettre aux élèves d'obtenir une vision plus globale des enjeux de la transition énergétique. On pourra notamment aborder les sujets de l'accès à l'énergie, la précarité énergétique, la fin de vie des installations énergétiques, les politiques énergétiques à l'international, etc.

À l'issue de cours, les élèves seront capables de :

- Comprendre et débattre des grands enjeux énergétiques abordés lors du cycle de conférence
- Préparer un entretien avec un expert, mener l'entretien
- Rédiger un compte-rendu de séminaire ou d'entretien
- Rédiger une note de synthèse sur un sujet donné à partir de documents écrits comprenant articles de presse, articles de recherche, compte-rendu de séminaires et d'entretien

Evaluation : compte-rendu de séminaires et d'entretien, note de synthèse

20h (1 ECTS)

Energies et territoires (tronc commun, 75h)

Gouvernance de la transition énergétique, rôle des territoires TE-GOV

Responsables : Lydie Laigle (CSBT) et François-Mathieu Poupeau (LATTS)

Objectifs : Les observateurs sont unanimes pour souligner que la transition énergétique se jouera en grande partie dans et par les territoires. C'est en effet à ce niveau, très décentralisé, que devraient se recomposer les systèmes énergétiques de demain, autour, notamment, de circuits plus courts, d'une gestion plus fine du couple offre-demande et d'une meilleure valorisation du potentiel de ressources renouvelables. Mais pour que ce scénario puisse advenir, encore faut-il que les acteurs qui sont au cœur des dynamiques territoriales soient en mesure et en capacité de se coordonner et de collaborer : administrations d'Etat, opérateurs publics et privés, collectivités territoriales, entreprises, professionnels des différents secteurs impactés (bâtiments, mobilité, etc.), start-ups du numérique, associations, citoyens, etc. C'est à cette problématique, décisive, de la gouvernance des territoires de l'énergie qu'est consacré ce module, avec l'objectif de mettre les étudiant-e-s en capacité de mieux comprendre et analyser les systèmes territoriaux et les jeux d'acteurs qui se font jour autour du pilotage de la transition énergétique. Le cours traitera des grandes thématiques suivantes:

- la gouvernance multi-niveaux : de l'Europe aux politiques de transition et aux territoires en transition
- les territoires et collectivités dans les relations multi-niveaux (décentralisation)
- les agencements sociotechniques pour le développement des ENR
- les questions d'acceptabilité sociale des projets de transition énergétique
- les métropoles et la transition énergétique
- le rôle des différents acteurs dans les processus de rénovation énergétique

Programme :

Séance 1 : Présentation du cours et de son mode d'évaluation

Lydie Laigle (CSTB-Efficacy) et François-Mathieu Poupeau (CNRS, LATTS)

Séance 2 : Évolution des politiques européennes et de la planification énergétique : l'émergence des démarches territoriales *bottom-up*

Lydie Laigle (CSTB, Efficacy)

Méthode d'analyse par l'évolution des politiques publiques qui fabriquent autrement la transition énergétique

Séance 3 : Géopolitique locale de l'énergie en France : acteurs, logiques, enjeux

François-Mathieu Poupeau (CNRS, LATTS)

Méthode d'analyse par l'approche de géopolitique locale

Séance 4 : Les villes et la transition énergétique

Mathilde Marchand (doctorante au LATTS) François-Mathieu Poupeau (CNRS-LATTS) et

Lydie Laigle (CSTB-Efficacy)

Méthode d'analyse par la sociologie des organisations

Séance 5 : Conflictualité et « acceptabilité » dans la transition énergétique

Arthur Jobert (ingénieur-chercheur expert à EDF R&D), François-Mathieu Poupeau (CNRS-LATTS) et Lydie Laigle (CSTB-Efficacy)

Méthode d'analyse par les controverses sociotechniques

Séance 6 : De la source à la ressource : le développement des énergies renouvelables dans les territoires

A.Nadai (CIRED), François-Mathieu Poupeau (CNRS-LATTS) et Lydie Laigle (CSTB-Efficacy)

Méthode d'analyse fondée sur les agencements sociotechniques

Séance 7 : Les métropoles et la transition énergétique : l'expérience du Grand Lyon.

Pauline Gabillet (Chargée de mission planification énergétique, Grand Lyon), Lydie Laigle (CSTB-Efficacy) et François-Mathieu Poupeau (CNRS, LATTS)

Séance 8: Les politiques de rénovation énergétique : exemples de territoires français
Lydie Laigle (CSTB, Efficacity)

Méthode d'analyse par les systèmes d'acteurs

Séance 9 : Les acteurs professionnels : des médiateurs dans les processus de transition énergétique.

Gaëtan Briseperre (Sociologue indépendant spécialisé dans les questions d'énergie et de logement), François-Mathieu Poupeau (CNRS, LATTS)

Méthode d'analyse par la social practice.

Séance 10 : L'Agence parisienne du climat et son action en direction des copropriétés privées

Frédéric Delhommeau, Directeur habitat et rénovation à l'Agence parisienne du climat (APC) et François-Mathieu Poupeau (CNRS, LATTS) et Laigle (CSTB)

À l'issue du module, les élèves disposeront des méthodes d'analyse et « boîtes à outils » adaptées à chaque thématique : public policies, géopolitique locale, agencements socio-techniques, système d'acteurs, social practices, participation citoyenne et seront capables :

- d'expliquer en quoi la décentralisation et l'appropriation sont les enjeux majeurs en termes de gouvernance de la transition énergétique ;
- de resituer l'appropriation dans le cadre d'une réflexion sur le développement durable ;
- de présenter et de critiquer les outils de co-construction existants et potentiels ;
- de maîtriser les stratégies de dépassement du phénomène NIMBY ;
- d'analyser les motivations au déploiement d'une logique de décentralisation de la production et de la gestion de l'énergie.

Evaluation : Le cours sera évalué à partir d'ateliers de controverses organisés par petits groupes d'étudiant.e.s (fiche synthétique de 3 pages et présentation orale). Chaque groupe sera invité à réfléchir sur l'une des grandes controverses qui traversent actuellement le monde de l'énergie, en relation directe avec la problématique spécifique du module (les questions territoriales) : intervention des pouvoirs publics, gouvernance des territoires, instruments d'action publique, municipalisation des services publics, « acceptabilité » des projets d'équipement et d'infrastructures, etc. Insérées dans certaines séances du module (définies en fonction des sujets), ces controverses seront préparées par les étudiant.e.s à partir d'une recherche préalable, l'objectif étant de faire réfléchir l'ensemble du groupe sous forme dialectique (arguments pour, contre, essai de synthèse). Les responsables du module participeront par ailleurs à l'évaluation des projets intégrateurs pour s'assurer que les principaux modes de raisonnement du module ont bien été intégrés par les étudiant.e.s.

25h (2 ECTS)

Energy demand analysis and management TEDEM

Responsable : Christophe Crocombette, EDF R&D

Objectifs : Le module permettra aux élèves de comprendre le cadre réglementaire des politiques énergétiques territoriales, de connaître les déterminants de la demande énergétique (y compris sociologiques) et les leviers de l'efficacité énergétique et de l'optimisation énergétique. Il sera l'occasion d'acquérir plusieurs savoir-faire, en manipulant des données réelles (références qui pourront leur servir dans leur vie professionnelle) ou en analysant des situations concrètes issues de cas d'études récents. La présentation des modèles sectoriels leur permettra aussi de s'approprier l'approche méthodologique bottom-up.

Programme :

- **Séance 1 : présentation générale et contexte, Christophe Crocombette (EDF R&D)**
 - Présentation du module
 - Contexte monde (UNFCCC & éléments sur Chine, Inde, Afrique) - Europe (Clean Energy Package) - France (LTECV, SNBC, PPE, RT...)
 - Politiques de maîtrise de la demande
 - Présentation des secteurs (résidentiel, tertiaire, industrie, agriculture, transports) à l'échelle nationale
 - Décomposition en usages, technologies disponibles
 - Unités énergétiques et les différents stades de la chaîne énergétique (utile, finale, primaire, ...)
 - Périmètres des divers bilans de la statistique nationale française (SoeS, UNFCC, bilan carbone, etc.)
 - Bilans et mixes énergétiques à l'échelle nationale (principales sources d'information) - évaluation de la qualité – les petits détails – Eurostat – Enerdata - scénarios AIE
- **Séance 2 : introduction à la sociologie de la demande énergétique, Mathieu Durand Daubin (EDF R&D)**
 - Diversité des comportements et consommation d'énergie des ménages : Equipement et structure sociale des consommations d'énergie ; Confort, valeurs environnementales et gestes d'économie d'énergie ; Pratiques, modes de vie et projets énergétiques
 - Dynamiques et évolution des pratiques et consommations d'énergie : Rythmes, synchronisation, foisonnement et pointes de consommation, Evolution des activités domestiques et de l'occupation des espaces
 - Intervenir sur les consommations d'énergie : Efficacité énergétique, effet rebond et saturation ; Incitations, information et automatisation ; Nouvelles technologies et transformation des pratiques
- **Séance 3 : les politiques énergétiques en matière de maîtrise de la demande, Patrice Nogues (EDF R&D)**
 - Typologie des politiques et des mesures de maîtrise de la demande d'énergie (schéma : éviter-optimiser-améliorer efficacité-substitutions de vecteurs énergétiques) : régulations (directives, RT, CEE ...), fiscalité, incitations, accords volontaires, etc.
 - Économie de la MDE : analyse coût bénéfice des mesures (Mac curves ...), analyse en coût global actualisé, ...
 - Méthodes d'évaluation
 - Politiques MDE sectorielles
 - Grands gisements MDE par secteur
- **Séance 4 : modélisation de la demande énergétique à l'échelle d'une région, Patrice Nogues (EDF R&D)**
 - Approches "top-down" et "bottom-up"
 - Économétrie, élasticité, modèles statistiques
 - Modèles comptables, dynamiques, optimisation, équilibre offre-demande, rebouclage macro économique ; Focus transport : modèles 4 étapes, Luti
 - Illustration sur un cas d'étude français
- **Séance 5 : notion de système énergétique local industriel, Solène Le Bourdieu (ingénieure chercheur, EDF R&D)**
 - Présentation du concept d'économie circulaire
 - Ecologie industrielle et territoriale et conception d'éco-parcs industriels
 - Récupération de chaleur perdue des sites industriels
 - Réseaux de chaleur et de matière
 - Méthode d'intégration énergétique et énergétique et matière
 - Exemples d'applications, cas d'études
- **Séance 6 : Enjeux énergétiques aux échelles infra-nationales, Samuel Chiche (ingénieur de recherche, Efficacy), Romain Bonabe de Rougé (ingénieur de recherche, Efficacy)**

Depuis le Grenelle de l'Environnement et jusqu'à la LTECV (2015) ou la mise à jour de la PPE (2019), les objectifs énergétiques nationaux sont de plus en plus ambitieux, en termes de réduction des consommations, d'efficacité énergétique et de développement des EnR&R (énergies renouvelables et de récupération). La mise en œuvre de ces objectifs s'opère cependant à une échelle beaucoup plus fine : villes, quartiers, ilots, etc. La réussite de la transition énergétique passe ainsi par une stratégie énergétique aux échelles régionales, départementales et locales. C'est dans ce cadre que la planification urbaine, avec sa capacité nouvelle d'intégrer l'énergie dans son aménagement, devient primordiale pour organiser et exécuter cette stratégie. Plusieurs outils accompagnent cette planification urbaine : SRCAE, SRADDET, PCAET, PLU, SDE...). Par ailleurs, les compétences des acteurs locaux ont fortement évolué ces dernières années. La séance sera l'occasion de présenter ces outils en abordant les points suivants :

- Historique : Objectifs depuis les années 2000 et les lois Grenelle jusqu'à la LTECV
- Détails des lois MAPTAM, NoTRE sur les compétences « énergie » des collectivités, Métropoles : quelles missions leurs incombent ?
- Détails de la planification urbaine de l'échelle régionale à l'échelle locale : prise en compte de l'énergie à chacune de ces échelles. Exemple des réseaux de chaleur.
- Les données énergétiques territoriales pour la planification et l'action énergie-climat
- Questions d'autonomie, autoconsommation indépendance, autarcie : définitions, enjeux et exemples des territoires à énergie positive.
- **Séance 7 : Approche énergétique à l'échelle d'un quartier**, *Samuel Chiche (ingénieur de recherche, Efficacity)*, *Romain Bonabe de Rougé (ingénieur de recherche, Efficacity)*

Cette séance est liée avec la séance suivante, qui sera dédiée aux études de cas et retours d'expériences. Ici, c'est d'un point de vue théorique que l'approche énergétique à l'échelle quartier est étudiée. L'échelle quartier est une échelle intéressante pour aborder les questions énergétiques pour plusieurs raisons, notamment : approche systémique, réseaux de distribution, mixité d'usage, zone suffisamment restreinte pour éviter trop de complexité. L'objectif de la séance est de révéler les questionnements et les études à mener pour répondre aux problématiques énergétiques d'un quartier : récolte des données territoriales, détermination de la demande, sources disponibles sur le territoire, proposition de scénarios de systèmes énergétiques efficaces.

- Pourquoi l'échelle quartier : caractéristiques et enjeux
- Analyse de la demande, des ressources, de l'approvisionnement et de la distribution d'énergie dans un quartier
- Analyse de la demande : quelles énergies, quelles consommations, quels outils pour obtenir ces informations (approche cartographique, modélisation de bâtiments, approches statistiques).
- Analyse des moyens de distributions (notamment en réseau -gaz, électricité, chaleur).
- Analyse des ressources : panel des EnR&R locales. Travaux Efficacity sur l'énergie fatale en milieu urbain (RECOV'HEAT)
- Typologies de quartiers (travaux EFFICACITY)
- Modélisation de la demande et scénarios de systèmes énergétiques pour répondre à cette demande : passage nécessaire pour le dimensionnement des installations.
- **Séance 8 : études de cas et REX**, *Samuel Chiche (ingénieur de recherche, Efficacity)*, *Romain Bonabe de Rougé (ingénieur de recherche, Efficacity)*

La séance est dédiée à la présentation d'applications des études théoriques présentées dans la séance précédente. Le but est de montrer de manière concrète les études réalisées sur des territoires réels à partir d'outils d'Efficacity et de son consortium.

- Outils d'aujourd'hui et de demain pour la conception des quartiers à haute performance énergétique : comparaison méthodes et résultats.
- Etudes de cas
- Un quartier existant : quel diagnostic et quelles trajectoires de transition ?
- Un quartier neuf : Détermination du système énergétique optimale
- Focus sur l'énergie fatale et le potentiel énergétique des territoires
- TD : Partage de données/outils avec les étudiants pour la réalisation de travaux dirigés : démonstration pas à pas et interprétation des résultats.
- **Séance 9 et séance 10 : présentation des étudiants.**

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- définir la notion de service énergétique ;
- identifier la part incompressible des demandes énergétiques et les conditions de sa réduction future ;
- expliquer la construction et le contenu d'un bilan énergétique ;
- mener une analyse fonctionnelle pour répondre de manière efficace aux besoins ;
- caractériser les élasticités-prix de court et de long terme et la dépendance au chemin suivi par le prix ;
- faire les liens entre méthodes d'analyse (issues du bilan) et méthodes de prévisions ;
- Construire un bilan énergétique partiel à un niveau local.

Evaluation : La pédagogie s'appuie sur le travail des étudiants - les rapports de synthèse auront été remis une semaine avant la présentation afin que les professeurs puissent faire un retour construit sur leur contenu. Les travaux pourront par exemple porter sur des études de scénarios pour quelques régions du monde présentant des caractéristiques marquantes en terme de demande ou maîtrise de la demande.

25h (2,5 ECTS)

Énergie, territoires, réseaux TERES

Responsable : Gérard Auriol, ENEDIS

Objectifs : les réseaux de distribution d'énergie (Électricité, gaz naturel, chaleur) sont aujourd'hui au cœur d'un triple mutation : transition énergétique, qui prend en compte les aspirations environnementales croissantes en développant des modèles disruptifs à la maille locale de production, de stockage et de consommation, transition numérique, qui rend possible l'émergence de « consomm'acteurs » et de systèmes aptes à monitorer finement l'énergie, transition institutionnelle et sociétale de la France, qui renforce les pouvoirs locaux dans la mutation des systèmes énergétiques à la maille des métropoles et des régions.

La transformation de ces réseaux les positionne comme un territoire privilégié d'innovation au cœur de préoccupations environnementales aujourd'hui omniprésentes. Le but de ce module sera donc d'assurer à ses participants une compréhension argumentée de ces enjeux et d'en intégrer les mécanismes dans leur dimension technique, économique, politique et sociétale qui dessinent progressivement un nouveau paysage énergétique.

Ce module intéressera les personnes désirant développer une logique d'innovation au sein de projets énergétiques, soit conduits par les opérateurs territoriaux (collectivités, ...), soit au plan national voire européens au sein de grands acteurs du marché comme d'acteurs émergents dans ce domaine.

Programme :

- **Séquence 1** (G. Auriol, ENEDIS): La production d'électricité en France et en Europe ; la production renouvelable d'électricité ; le mix électrique au sein du mix énergétique français: cette séquence donnera les éléments quantitatifs et qualitatifs de l'ensemble des éléments du mix énergétique et du mix électrique, au plan national mais en intégrant pleinement l'Europe puisque l'organisation à l'œuvre est transfrontalière : la présentation mettra en évidence les complémentarités entre les niveaux Europe, Etat et local, le système actuel et à venir étant fortement interdépendant.
- **Séquence 2 et 3** (Olivier Grob, ENEDIS, Gilney Dam, efficacy): Le réseau de transport et le réseau de distribution électrique : son architecture ; son fonctionnement technique et son dimensionnement ; les règles de dimensionnement technique seront abordées pour les deux réseaux, ainsi que les enjeux économiques associés (investissements, maintenance) qui ont une influence majeure dans les équations économiques de cette architecture, et qui éclaira ces questions pour les modèles alternatifs possibles.
- **Séquence 4** : la transition énergétique (G.Auriol) : La transition énergétique du point de vue des réseaux: dans un premier temps on donnera un panorama des évolutions en place et en émergence : énergies locales, flexibilités, maîtrise de l'énergie, rôle du numérique, stockage, véhicule électrique, ... ; dans un deuxième temps on présentera le corpus de textes réglementaires qui accompagne la mise en œuvre de cette transition; en fin on éclairera la dimension économique de la transition énergétique ainsi que les positionnements des acteurs.
- **Séquence 5** (O. Grob): Des ENR aux smartgrids :L'évolution des réseaux, selon trois axes : la (longue) marche vers les smart grids (définition, expérimentations ; déploiement industriel des solutions techniques, nouveaux usages du réseau) ; la question des données énergétiques (le comptage et le smart metering, l'open data, les plateformes de données énergétiques, la protection des données personnelles) ; les réseaux îlotés (boucles locales, réseaux privés, systèmes insulaires, ...)
- **Séquence 6** (Dominique Viou ; G. Auriol): Rôle des collectivités et organisation du système électrique : seront décrits l'organisation territoriale des réseaux d'énergie, l'articulation des différents rôles, les missions des autorités de régulation ; le fonctionnement des concessions de distribution et le rôle des autorités organisatrices seront détaillés.
- **Séquence 7** (Corinne Cacheux ; GRDF) : L'énergie gaz naturel : architecture de l'approvisionnement en gaz naturel ; éléments sur le marché du gaz. Le réseau de gaz naturel : éléments techniques, économiques et réglementaires du réseau de transport et du réseau de distribution. Les évolutions du secteur du gaz au sein de la transition énergétique : Power to gaz, méthanisation, hydrogène, transport, ...
- **Séquence 8** (Philippe Jamet ; Dalkia) : Les réseaux de chaleur : éléments techniques, économiques et réglementaires ; la place des réseaux de chaleur dans le renouvelable et les politiques locales
- **Séquence 9** (G. Auriol ; Dominique Viou) : La dimension politique et sociétale de l'énergie: « l'énergie est une variable politique » : transformation du positionnement des acteurs en France et en Europe ; éléments sur l'accroissement de la dimension citoyenne de l'énergie ; évolution des politiques locales. Présentation de la question de l'acceptabilité des projets liés à l'énergie, abordée par des exemples concrets : implantation des parcs éoliens, déploiement du projet Linky, cas tirés du nucléaire, centrales au gaz, ...

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- connaître des modèles énergétiques de production (centralisés, décentralisés, constitution du mix énergie et du mix électricité) et de distribution (constitution et fonctionnement des réseaux), puis intégrer les éléments clés de la régulation actuelle de ces marchés énergétiques (Europe, France, régulation locale des concessions de réseau ou des délégations de service),
- comprendre l'ensemble des ruptures à l'œuvre (nouveaux modes de production, nouveaux usages, compétition des usages entre eux, nouveaux rôles des consommateurs, réseaux locaux, ...) d'en déduire les impacts sur la conception et la maîtrise des réseaux ; une vision technique mais aussi économique et politique
- définir le cahier des charges d'un réseau de distribution en fonction des objectifs de production locale d'énergie.

Evaluation : Les élèves auront à traiter dans un délai rapproché de cas concrets, qu'ils aborderont en petit groupe ; ces cas feront l'objet de restitutions collectives au sein du module ; à titre d'exemple, cas concrets pouvant être étudiés : le quartier du plateau de Capucins à Brest métropole, le quartier Batignolles à Paris 17^{ème}, le quartier confluences à Lyon, Euratlantic à Bordeaux; démonstrateur d'utilisation des blockchains dans l'auto-consommation solaire dans les Pyrénées orientales, les projets de smartgrid Flexgrid (PACA), le projet de smartgrid Smile (Pays de la Loire et Bretagne), le projet you and grid (Hauts de France), la transition énergétique des Iles du Ponant dans le Finistère, Nice-grid et Interflex (gestion des flexibilités solaires), solution d'autoconsommation collective Rennes-grid, développement d'un réseau de chaleur renouvelable, projet de méthanisation, acceptation du compteur communicant Linky, ...

25h (2,5 ECTS)

Approfondissement « Optimisation technico-économique de systèmes énergétiques » - 120h (12 ECTS)

Economie de l'énergie TEECO

Responsable : Bianka Shoai-Tehrani, RTE

Prérequis : bases de micro et macroéconomie, Cours TET « Introduction à l'économie de l'énergie »

Objectifs :

L'objectif de ce module est de transmettre les outils d'analyse économique pour comprendre d'une part les dynamiques de court terme liées aux marchés de l'énergie : la formation des prix des différentes énergies, les modes de fonctionnement des marchés de l'énergie à l'échelle locale dans le cadre européen, qui connaît de profonds changements depuis plusieurs décennies, et d'autre part, les dynamiques long terme qui impulsent les évolutions structurelles du secteur énergétique : évolution de la demande et de la production, appréhendées via des méthodes d'analyse prospective qui permettent d'élaborer des projections économiques à moyen et long terme. Dynamiques sociétales (précarité énergétique...), réglementaires (régulation des marchés de l'énergie..), économiques ou territoriales sont autant de thèmes dont ce cours a pour vocation d'analyser d'un point de vue économique et en articulation avec les autres dimensions.

Programme :

- Les marchés des ressources naturelles non-renouvelables (pétrole, charbon, gaz naturel) : aperçus historiques, formation des prix (notion de rente, monopole/

concurrence, etc.), structures des marchés (acteurs, aires géographiques, etc.), régulations et politiques

- L'électricité : historique, merit order des technologies de production, formation des prix, rente inframarginale, financement des investissements, marchés spots vs. contrats de long terme, régulations et politiques publiques
- L'introduction des énergies renouvelables : historique, les spécificités de l'intermittence et la stabilité du réseau, les mécanismes et politiques de soutien, régulations et politiques publiques
- Caractéristiques et rôle du consommateur : spécificités selon les régions du monde
- Économie de l'efficacité énergétique et de la maîtrise de la consommation d'énergie : instruments et outils, effet rebond
- Articulation des échelles dans la gestion du réseau et systèmes d'incitation : échelles locales, régionales, nationales, grilles internationales
- Les dynamiques sociétales et enjeux économiques : la lutte contre la précarité énergétique sous toutes ses formes, la potentialité d'une sobriété choisie
- La prospective énergie-climat : modélisation du système énergétique mondial, construction de scénarios de décarbonation à long terme

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- Définir les différents types de produits sur les marchés électriques et analyser la formation des prix
- Définir la sécurité d'approvisionnement et comprendre le fonctionnement des mécanismes de capacité
- Définir la valeur économique de la flexibilité : stratégies de stockage et d'effacement
- Analyser les déterminants structurels et conjoncturels dans la formation des prix des énergies fossiles
- Analyser le rôle des instruments économiques dans l'ensemble du dispositif de régulation du secteur de l'énergie
- Analyser le rôle de l'énergie dans le développement économique et les possibilités de baisse de l'intensité énergétique
- Analyser les termes des arbitrages économiques dans les stratégies de localisation des acteurs
- Analyser les enjeux socio-économiques autour des aspirations des consommateurs : stratégies de lutte contre la précarité énergétique (pauvreté dans les pays développés, accès à l'infrastructure énergétique dans les pays en voie de développement), émergence de réflexion autour de la sobriété énergétique
- Poser les bases d'un raisonnement de prospective énergétique à long terme

Programme

Séance 1 : Introduction

- Présentation du cours (organisation, évaluation)
- Quelques éléments de microéconomie : modélisation simple du consommateur et producteur, courbe d'offre et de demande, effet d'une taxe ou d'une subvention, élasticité, externalités
- Rôle de l'état dans la régulation du secteur énergétique et environnementale (ressources naturelles, externalités, bien communs).
- Evolution de l'organisation du secteur énergétique : du monopole à la libéralisation

Séance 2 : Economie des ressources fossiles (gaz, pétrole, charbon)

- Economie des ressources naturelles, gestion de stock. Peak-oil.

- Place des énergies fossiles dans le contexte du changement climatique et de la transition énergétique.
- Exemple du switch gaz/charbon pour la production d'électricité : quel prix du CO₂ ?

Séance 3 : Le fonctionnement détaillé du secteur électrique et les marchés associés (1/2)

- Rappels du fonctionnement des marchés électriques : long-terme jusqu'au J-1
- Les Marchés infra-journaliers
- Equilibrage du système : responsable d'équilibre, rôle du GRT, mécanisme d'ajustement et règlement des écarts.
- L'ARENH une spécificité française

Séance 4 : Le fonctionnement détaillé du secteur électrique et les marchés associés (2/2)

- Les investissements : dans les moyens de production / dans le réseau. Notion de rente infra-marginale. Définition du parc optimal (version simplifiée screening curves puis éléments pour prendre en compte d'autres types de contraintes)
- La sécurité d'approvisionnement (SoS) et les mécanismes de capacité
- Les plans de développement du réseau en Europe (échelle nationale et européenne)

Séance 5 : Les énergies renouvelables dans le contexte de la transition énergétique

- Caractéristiques des ENR et enjeux techniques pour leur insertion
- Financement des investissements dans les ENR : hors marché ou par le marché. Mécanisme de soutien aux ENR.
- les spécificités de l'intermittence et la stabilité du réseau, l'adaptation du le mix de production et du réseau pour l'intégration des énergies renouvelables, la place du stockage.
- les mécanismes et politiques de soutien, régulations et politiques publiques
- Le financement de la transition énergétique : impôts, subventions, CSPE

Séance 6 : triptyque localisation – immobilier – énergie (économie géographique, spatialisation) (Vincent Vigué)

- Economie de l'adaptation au changement climatique : vulnérabilité et résilience des territoires, selon les modèles d'articulation intersectorielle bâtiment-transport
- Développement durable des villes : politiques climatiques à l'échelle urbaine, synergies et conflits entre politiques climatiques et autres enjeux urbains
- Modélisation des interactions entre systèmes naturels et activités humaines, dynamique des structures urbaines (modélisation couplée transport/usage des sols)

Séance 7 : Le prix de l'énergie pour le consommateur final et la participation des consommateurs (Bianka Shoai-Tehrani)

- Caractéristiques du consommateur en théorie économique
- Spécificités régionales : pays développés, pays en voie de développement, consommateurs dans le contexte d'un marché dérégulé
- Tarification pour le consommateur final, notion de coût complet de production, répartition de la facture entre production / transport et distribution / taxes.

- Comment solliciter les consommateurs lors que cela est pertinent pour le système électrique ? Effacements de consommation et place dans les marchés.
- Économie de l'efficacité énergétique et de la maîtrise de la consommation d'énergie : instruments et outils, effet rebond
- Engagement des consommateurs : Autoconsommation, Principe et fonctionnement des Garanties d'origine (offres vertes)

Séance 8 : Enjeux socio-économiques autour de la consommation : précarité énergétique, initiative de sobriété (Bianka Shoai-Tehrani)

- Présentation de la précarité énergétique en France : définition, déterminants, et impacts.
- Les débats sur les indicateurs de précarité énergétique : le défi de « mesurer », approche budgétaire vs déclarative, les indicateurs adoptés en France/Europe.
- Lien avec des exemples concrets : le chauffage dans les bâtiments.
- Présentation de la sobriété énergétique : définition, périmètre, initiatives et signaux faibles dans la société civile
- La sobriété énergétique dans le débat public sur l'écologie : quantification à différentes échelles, du comportement individuel à la politique publique d'aménagement du territoire

Séance 9 : La prospective et les scénarios énergétiques de long-terme

- La prospective en appui à la décision d'investissement dans les capacités de productions et infrastructures énergétiques investisseur: notion de VAN privée et sociétale avec externalités, présentation du débat sur le choix du taux d'actualisation (privé ou sociétal). Concepts de l'Analyse Coûts-Bénéfices.
- Objectifs, utilisations et méthodes de prospective dans le secteur énergétique
- Exemples de scénarios énergétiques à différentes échelles géographiques (et temporelles)

Séance 10 : Economie de l'hydrogène

- Rappels : modes de production de l'hydrogène : vaporeformage, électrolyse alcaline, enjeux techniques de massification et de baisse des coûts de la production décarbonée de l'hydrogène par rapport aux procédés historiques, en lien avec le prix de l'électricité
- Paysage de la demande mondiale en hydrogène : aujourd'hui, l'hydrogène comme produit chimique, demain, l'hydrogène comme vecteur énergétique
- Marchés émergents au niveau local (en Europe : couplage avec l'éolien offshore en mer du Nord) ou à l'échelle mondiale

Modalités pédagogiques

Cours magistraux, quizzes d'autoévaluation, exercices

Modalités d'évaluation des connaissances et règle de validation

- synthèse d'articles sur un sujet à choisir
- exercice testant l'appropriation par les étudiants des outils d'analyse économique.

30h (3 ECTS)

Économie des smart grids TEESG

Responsable : Frédéric Lantz, IFP School

Prérequis : Micro-économie ; début du cours TET « Financement de projets énergétiques »

Objectifs : le module présente comment l'équilibre offre-demande est atteint sur le marché de l'électricité, ainsi que les outils mobilisés pour l'atteindre au meilleur prix. Puis il étudiera comment atteindre cet équilibre à un niveau plus local. Les outils d'optimisation seront mobilisés et le potentiel des *smart grids* étudié. Les gains environnementaux et économiques liés à cette optimisation seront calculés.

Programme :

- Equilibre offre-demande d'électricité et marché local
- Analyse de la répartition des gains associés aux *smart grids*
- Production intermittente d'électricité et intégration au réseau
- Analyse de la rentabilité des solutions de stockage stationnaire
- Intégration des véhicules au réseau

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- Analyser l'équilibre offre-demande d'électricité
- Comprendre le fonctionnement des réseaux électriques avec équilibrage en temps réel
- Comprendre les stratégies de fonctionnement sur le réseau ou *off-grid*
- Comprendre le fonctionnement de l'intégration des véhicules électrique au réseau
- Utiliser des outils de simulation et d'optimisation: Excel/VBA et R ou Skylab

Evaluation : contrôle continu, examen final

15h (1,5 ECTS)

Investment decision making for the energy transition TEINV

Responsable : Arash FARNOOSH, IFP School

Prerequisites : début du cours TET « Financement de projets énergétiques »

Objectives : The main purpose of this module is to present the investment decision-making methods and tools for the energy transition under current and future uncertainties in terms of energy markets & prices, legal aspects, fiscal regimes, environmental policies... The energy projects are very capital intensive, therefore the preparation of investment decisions requires a good mastery of project evaluation techniques. Decision making under uncertainty leads to consider a wide range of situations that the company may be confronted with. This leads the decision makers to implement some specific methods to respond accordingly. The impact of financing method and taxation system on the profitability of the projects along with the decision-making process in an uncertain future will be the main object of this teaching unit. Applications and case studies would be all dedicated to the energy sector. Recent developments in investment models such as portfolio-optimization & real-options theories applied to energy will be also discussed.

Syllabus :

- Fundamentals of investment decisions
- Fundamentals of project evaluation
- Energy projects structure
- Uncertainty, risk and sensitivity analysis

- New business plans under energy transition trends
- Assets monetization for energy projects
- Impacts of legal and fiscal terms on energy projects
- Project financing analysis in a carbon-constrained world
- Fossils versus renewables

At the end of the class, students will be able to :

- Gain an appropriate practice of the standard methods of investment analysis
- Build their own investment model and use models acquired by energy companies
- Analyze investment taking into account legal & fiscal aspects, inflation, financing mix and risks
- Make decisions related to the development of an energy project (greenfield &/ or upgrade)
- Recommend actions for the whole portfolio under uncertainty
- Construct optimization scenarios based on a probabilistic approach
- Make decision with real option analysis and value of information concept
- Understand the fundamentals of project financing for energy transition
- Use tools like excel with solver/VBA and classical (technical and economical) and advanced (uncertainties and sensitivity analysis) methodologies

Assessment: Team-work case-studies; individual Exams.

30h (3 ECTS)

Introduction à la recherche opérationnelle TIRO

Responsable : Édouard THISSE

Objectifs : La Recherche Opérationnelle (RO) est la discipline des mathématiques appliquées qui traite des questions d'utilisation optimale des ressources dans l'industrie et la logistique. Planifier une tournée de véhicules, remplir de manière optimale un conteneur, ordonnancer les tâches sur un chantier sont des problématiques typiques de la Recherche Opérationnelle.

Les outils mathématiques qui sous-tendent cette discipline sont les graphes, l'algèbre linéaire, l'algorithmique, pour ne citer que les principaux.

Programme :

- Plus courts chemins et programmation dynamique
- Programmation linéaire : algorithme du simplexe
- Programmation linéaire : dualité
- Phénomènes aléatoires
- Files d'attente

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- réécrire un problème sous forme d'optimisation sous contrainte ;
- mobiliser les algorithmes adaptés pour résoudre un problème d'optimisation linéaire ;
- mobiliser la théorie des graphes pour définir des lignes de déserte, des schémas logistiques ;
- utiliser les prix duaux pour hiérarchiser les contraintes

Contrôle des connaissances - Règles de validation : examen final

15h (1,5 ECTS)

Optimisation stochastique et énergies renouvelables - Stochastic Optimisation, Energy Management and Renewables - TEOST

Responsable : Wim VAN ACKOOIJ, EDF

Prerequisite: linear programming (Introduction à la RO), programming (e.g., c++, python, Matlab)

Summary :

In this module we will discuss the interaction between energy management and (mathematical) optimization. We will discuss how various decisions within the actual system can be seen, as resulting from complex optimization models. The complexity of these models stems on one hand from the necessity to represent the physical reality (to some degree) of operation and on the other from the need to manage uncertainty. Representing uncertainty in a meaningful way in optimization problems is not self-evident. This module will discuss how to think about this and consequently obtain ingredients of proper models. Since the ultimate objective of optimization models, at least in practice, is to provide solutions to either lead to better decisions or to provide non-trivial economic insights, we will also discuss the theory of optimization with some detail. We will therefore see favourable structural properties (e.g., convexity) of optimization models and their implication on the idea of optimality and interpretation, especially in layered problems. The favourable properties are to serve as a guideline, but there is a necessary trade-off with realism of the model. This too will be addressed. We will also discuss known and classic algorithms found in stochastic programming and see their implementation. The module will thus cover applications, theory and algorithms related to deterministic and stochastic programming.

At the end of the module, the students will be able to:

Modelling aspect:

- formulate or discuss a formulation of stochastic programs.
- understand the different ingredients of stochastic programs & their interpretation

Optimization aspect:

- understand two and multi-stage stochastic programs
- understand probability constraints, their interpretation
- have awareness of possible pitfalls

Algorithmic aspect:

- understand (deterministic) dynamic and stochastic dynamic programming
- understand “cutting-plane” based approaches

Program

Session 1 : 1.5 h CM ; 1h TD

- A high level overview of (deterministic) optimization and how it is fitting for decision making
- A description of optimization problem ingredients
- A discussion of special classes of optimization problems : LPs, MILPs, QPs, NLPs
- Illustration of an LP in Octave ?

Session 2 : 1.5 h CM ; 1h TD

- A sketch and details of energy management problems at 3 major time horizons

- A description of various ingredients of the system (from a mathematical perspective)
- The importance and impact of uncertainty

Session 3 : 1.5 h CM ; 1h TD

- How to think about Modelling & Optimisation : a 4 step approach
- Abstract formalism for deterministic optimisation problems
- How can uncertainty impact optimisation problems: what questions to ask
- Stochastic Optimization a family of tools

Session 4: 1.5 h CM ; 1h TD

- Discussion of convexity, duality (Lagrangian) and the inherent convexification brought about by the Lagrangian ; The need for constraint qualification
- Gradients and sub-gradients of convex functions
- Understanding optimality, epsilon optimality, local optimality (or just KKT points) – and their impact on interpreting solutions

Sessions 5: 1.5 h CM ; 1h TD

- Representing uncertainty : meta-uncertainty, regular uncertainty
- Scenario trees, markov chains, random vectors and distributions
- Evaluating elements of the distribution – mean, cvar, etc...

Session 6: 1.5 h CM ; 1h TD

- Formalism of 2 and multi-stage stochastic programs
- Aspects of Robust optimization and Probability constraints
- Structure in stochastic programs with recourse

Session 7: 2.5h TP:

- Kick off for the project (evaluation)

Session 8: 1.5 h CM ; 1h TD

- Dynamic programming and Stochastic Dynamic Programming

Session 9: 2.5h TP :

- Implementation of an SDP / DP algorithm

Session 10: 2.5h TP

- Computer session to continue the project for evaluation

Bonus material made available for students:

- Probability constraints : differentiability, convexity
- Other algorithms : cutting plane approaches and variants for solving Stochastic Programs ; Benders Decomposition, supporting hyperplane methods

Evaluation : the module will be evaluated through the form of a “project”. Within the project the students will work on a problem inspired from “practice”, work on modelling, implementation and interpret the obtained results. This project will be delivered in the form of a written report.

25h (3 ECTS)

Approfondissement « Bâtiment et énergie » - 120h (12 ECTS)

Energétique des bâtiments et confort APAM1

Responsable : Patrick SCHALBART

Objectifs : Décrire les méthodes simplifiées et détaillées pour les calculs énergétiques des bâtiments, en présentant les spécificités de l'application des principes de la thermique pour les enveloppes des bâtiments. Au-delà des calculs des besoins (chauffage, éclairage...), les systèmes associés seront étudiés pour évaluer les consommations énergétiques, ainsi que le confort.

Programme :

- Application des 3 modes de transferts (conduction, rayonnement, convection) aux bâtiments
- Calcul des besoins de chauffage, d'ECS (eau chaude sanitaire), et d'éclairage
- Influence de la conception
- Calculs aérauliques et ventilation
- Etude des systèmes et des consommations associées
- Evaluation du confort
- Présentation des énergies renouvelables associées au bâtiment.

Evaluation : Participation tout au long du semestre sur des exercices d'application, rendus écrits échelonnés et présentation orale des projets de groupe permettant de mettre en pratique les méthodes de calcul, contrôle terminal.

30h (3 ECTS)

Projet bâtiments bioclimatiques BABIO

Responsable : Bruno PEUPORTIER

Objectifs : L'objectif de ce module est de mener à bien l'ensemble du processus de conception d'un bâtiment bioclimatique, c'est à dire très performant en termes de bilan énergétique et de confort. La prise en compte dans la conception des aléas d'usage, du contexte climatique, des gisements locaux et des risques environnementaux spécifiques constitue l'objectif principal. Le travail de conception mené en groupe, l'identification, la hiérarchisation et la synthèse des enjeux de conception bioclimatique constitueront les objectifs secondaires

Programme et évaluation : le module est organisé autour du projet de bâtiment à concevoir. Chaque cours est un support donnant de outils (méthodologiques et numériques) destinés à apporter un nouveau regard sur un paramètre du projet. Les étudiants sont organisés par groupe (un architecte par groupe) qui assurera la conception architecturale, réalisera les calculs (thermique, éclairage, mouvements d'air, énergies renouvelables, structure) et définira les détails de construction. Le bâtiment à concevoir est une station de mesure de paramètres météorologiques et environnementaux (température, rayonnement solaire, vent, composition chimique de l'air, température du sol, etc.) ainsi que d'observation de la faune et de la flore. Chaque groupe devra concevoir la station dans un contexte climatique différent.

60h (7.5 ECTS)

Analyse des cycles de vie ANCYV

Ce module apporte aux étudiants les compétences de bases de la méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV). Dans le secteur du génie civil, l'usage de cette méthodologie est de plus en plus fréquent, en lien avec l'évolution des exigences réglementaires et l'intérêt grandissant des donneurs d'ordre et de la société civile pour les questions environnementales. Depuis la réalisation d'études sur les matériaux (e.g. Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires) à l'évaluation d'un bâtiment ou d'un quartier (écoconception ou certification) en passant par l'évaluation des infrastructures et des espaces publics, les ingénieurs en génie civil auront de plus en plus à commander, coordonner, réaliser ou simplement participer à des évaluations environnementales par analyse du cycle de vie.

Ce module a pour objectifs de leur apporter des éléments en vue de maîtriser les bases de cette méthode afin d'être capable, sous la direction d'un chef de projet expérimenté, de mener une étude ACV et d'analyser une étude existante.

Objectifs :

- Connaître les principes, la méthodologie et les applications des analyses de cycle de vie (ACV) ;
- Connaître les profils ACV des principaux moyens de transport ;
- Identifier les problèmes méthodologiques spécifiques à l'application de l'ACV aux transports, savoir porter un regard critique sur une étude ACV dans le domaine des transports

Programme :

- Enjeux de l'évaluation environnementale, principes et méthodologie de l'ACV
- TD en binômes : étude de cas d'ACV dans les transports, calcul simplifiés
- ACV et transports de marchandises : ordres de grandeur des impacts des différents modes, transports combinés, points critiques (retour à vide...)
- ACV et transports de passagers, carburants verts, motorisations alternatives, compensation CO2
- L'ACV comme ouverture sur l'éco-conception : animation d'un jeu en entreprise

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- mener une analyse de cycle de vie d'un produit ;
- analyser les hypothèses normatives associées au choix des indicateurs d'une analyse ACV.

Evaluation : évaluation en classe pendant le TD, et remise d'une note d'analyse d'article scientifique

18h (1,5 ECTS)

Approfondissement « Mobilité, aménagement et énergie » - 120h (12 ECTS)

Défis et définitions des mobilités durables DEFD

Responsable : Arnaud PASSALACQUA (Lab'Urba - Université Paris-Est Créteil)

Objectifs :

Le cours a pour objectif l'acquisition de connaissances et de compétences, utiles aux fonctions qu'occupera la promotion dans diverses structures, notamment privées, du secteur de la mobilité.

Du côté des connaissances, plusieurs thèmes seront approfondis :

- l'évolution des paradigmes d'analyse dans le temps et dans l'espace : la valeur de la mobilité, l'analyse de la construction de la mobilité du quotidien, la place et l'évolution des modélisations de la mobilité et les relations entre mobilités et formes urbaines ;
- les notions et outils du secteur de la mobilité comme discipline ;
- les ordres de grandeurs de la mobilité (pratiques, coûts, effets environnementaux) dans les villes du monde et leurs évolutions ;
- les systèmes de mobilité (inscription territoriale, sociale, technique, économique..) ;
- les déterminants de la mobilité des personnes : modes de vie, cycle de vie, capacité physique, sociale, économique, organisationnelle des individus), localisation résidentielle, offre de transport et accès et aménagement des fonctions urbaines ;
- les acteurs et l'organisation de la mobilité ;
- les enjeux de durabilité de la mobilité et les leviers de sa régulation.

Du côté des compétences, le cours vise à rendre la promotion capable de :

- qualifier les mobilités et comprendre leurs évolutions dans un territoire ;
- qualifier les enjeux de la durabilité des mobilités dans un territoire ;
- défendre un point de vue sur les qualités et défauts d'un système de mobilité :
 - avec un vocabulaire précis et une démarche fondée sur des sources ;
 - en fonction du contexte (national, social, spatial. . .) ;
 - en interrogeant les innovations et en s'appuyant sur le temps long ;
- produire une vision de ce qui est souhaitable pour un territoire et non de ce qui est présenté comme le futur inéluctable, en considérant :
 - le système de mobilité et non pas uniquement l'objet mobile ;
 - la mobilité comme résultante ou organisatrice du territoire, des systèmes de localisation, des systèmes de valeurs et des modes de vie ;
- formuler des solutions aux enjeux de la mobilité durable d'un territoire dans les champs du social, de la technique des transports, de l'économie, et de l'aménagement et de l'urbanisme, en mobilisant les connaissances sur les usages des dispositifs de mobilité et les pratiques de mobilité.

Programme :

- Comment la mobilité est-elle devenue non durable ?
- Les pratiques de mobilités en France
- L'écosystème urbain et ses spécificités
- Les transports publics urbains en France et dans le monde
- Forme urbaine et mobilité
- La difficile quête de durabilité des mobilités
- Un même problème, des solutions ? La diversité des situations dans le monde

- Quelle innovation pour quelle durabilité des mobilités ?
- La soutenabilité réside-t-elle en dehors de la mobilité ?
- Le rail et les enjeux de la durabilité
- Un système au défi économique, social et environnemental : le transport aérien
- La décarbonation des mobilités en pratique

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- maîtriser le vocabulaire technique spécifique au domaine des transports et de l'aménagement ;
- analyser le rôle de la dimension spatiale dans l'analyse des problèmes de transports ;
- analyser les relations entre aménagement, infrastructures et demande de mobilités à l'échelle urbaine comme à l'échelle régionale ;
- identifier les acteurs centraux dans les définitions des mobilités et des systèmes de transport ;
- réaliser un état des lieux en termes d'enjeux pour la société des transports terrestres : marché du travail, accessibilité, coût... ;
- identifier les déterminants fondamentaux des besoins de mobilités urbaines et régionales ;
- définir les critères pour juger de la durabilité d'un mode (ou d'une combinaison de modes) à répondre à une demande de mobilité donnée.

Contrôle des connaissances – Règles de validation : l'évaluation du module se fonde sur 3 exercices :

- Présentation rapide d'un article de presse grand public choisi par l'étudiante ou l'étudiant : coefficient 1
- Exposé en binôme sur un sujet proposé dans la brochure du cours : coefficient 2
- Note écrite sur le cours (discussion transversale ou approfondissement d'une thématique) : coefficient 3

35h (3,5 ECTS)

Analyse des cycles de vie ACVMP

Responsable : Hélène TEULON

Objectifs :

- Connaître les principes, la méthodologie et les applications des analyses de cycle de vie (ACV)
- Connaître les profils ACV des principaux moyens de transport
- Identifier les problèmes méthodologiques spécifiques à l'application de l'ACV aux transports, savoir porter un regard critique sur une étude ACV dans le domaine des transports

Programme :

1. Enjeux de l'évaluation environnementale, principes et méthodologie de l'ACV
2. TD en binômes : étude de cas d'ACV dans les transports, calcul simplifié
3. ACV et transports de marchandises : ordres de grandeur des impacts des différents modes, transports combinés, points critiques (retour à vide...)
4. ACV et transports de passagers, carburants verts, motorisations alternatives, compensation CO₂
5. L'ACV comme ouverture sur l'écoconception : animation d'un jeu en entreprise.

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- mener une analyse de cycle de vie d'un produit ;
- analyser les hypothèses normatives associées au choix des indicateurs d'une analyse ACV.

Contrôle des connaissances – Règles de validation : évaluation en classe pendant le TD, et remise d'une note d'analyse d'article scientifique

18h (2 ECTS)

Projet Well-to-Wheel : bilan du puit à la roue des différentes filières énergétiques pour les transports PREEN

Responsable : **Camila FREITAS** (Ministère de la transition écologique)

Objectifs :

Cet atelier propose de comparer différents carburants présents et à venir (essence, diesel, GPL, éthanol, huiles végétales, GNV, électricité, hydrogène) pour les transports routiers individuels sous l'angle d'une réduction de la consommation d'énergie, des émissions de gaz à effet de serre, des émissions de polluants atmosphérique et des coûts. L'objectif du projet consiste à mettre en lumière les solutions énergétiques à privilégier par les décideurs publics pour les transports routiers individuels à un horizon 2030.

Programme :

L'atelier se divise en deux parties. La première est la réalisation en binôme du calcul de l'ensemble des impacts d'une filière énergétique. La seconde consiste en la comparaison des différentes filières entre-elles de manière à aboutir à des recommandations en terme de système énergétique dans les transports.

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- Comparer d'un point de vue environnemental, économique et des ressources primaires les différentes filières énergétiques dans le secteur des transports ;
- Régionaliser les réponses aux enjeux énergétiques.

Contrôle des connaissances - Règles de validation : soutenance orale + participation aux TD.

25h (2,5 ECTS)

Tomorrow's Mobility – Sustainable Technologies for the Automotive Sector (MOOC IFP)

Syllabus:

- The transport sector and the environmental regulations that drive technological developments in the automotive sector.
- Electric vehicles and components of the electric drive train (electric machine, power electronics, battery, control). Fuel cells vehicles.
- Limitations of electric vehicles today, why they are not yet massively used. Hybrid vehicles, degrees of hybridization, functionalities.

- Connected and autonomous vehicles: levels of autonomy, key technologies, constraints to their development.

After this course, participants will be able to:

- Explain the current transport situation regarding pollutant emissions and legislation.
- Design an electric drivetrain taking into account the electric engine, the electronics, the type of battery and control system by finding the right trade-off between performances and the constraints of weight and price.
- Design a hybrid powertrain taking into account the hybridization degree and the different architectures.
- List the pros and cons of these technologies and how they work.
- Understand autonomous and connected vehicle technologies, what it is and how does it work. Deduce the impact of these new technologies on society and the limiting factors.

Contrôle des connaissances - Règles de validation : Examen présentiel.

13h (1 ECTS)

Au choix, un des trois cours suivants:

EXTERNALITÉS DES TRANSPORTS : ÉLÉMENTS D'ANALYSE (TRANSPORT EXTERNALITIES ANALYSIS)

Emeric FORTIN (École des Ponts ParisTech)

Yelva ROUSTAN (CEREA - École des Ponts ParisTech)

Prérequis :

Ce module ne nécessite pas de prérequis spécifique mais une appétence pour les dimensions scientifiques et techniques associées aux problématiques environnementales.

Objectifs :

L'option retenue pour la construction de ce module est l'articulation entre les dimensions physiques, sociétales, économiques et politiques des externalités environnementales des transports. L'objectif premier est que les élèves puissent développer leur esprit critique vis-à-vis de ces enjeux majeurs pour la mobilité du 21^e siècle en développant, en cohérence avec la logique pédagogique de l'ensemble du Master, une capacité à intégrer les différentes dimensions des problèmes, pour être en mesure de se positionner clairement face aux débats multiples (médiatiques, politiques), et pour construire des réponses adaptées, articulant le technique, l'organisationnel et l'économique.

Pour ce faire, le cours vise évidemment à présenter l'état des connaissances scientifiques sur ce sujet et à permettre l'acquisition des connaissances élémentaires pour que les élèves puissent exercer leur esprit critique. Cela sera réalisé en insistant sur la nature des incertitudes inhérentes aux phénomènes étudiés mais aussi sur la façon dont il convient de les traiter, tant dans l'analyse que dans l'action. Il s'agit à la fois de travailler la notion de controverse scientifique mais également de travailler à l'évaluation de la qualité des sources, en analysant le rôle particulier du Groupement International des Experts sur l'évolution du Climat (GIEC) dans ce contexte sur la question du changement climatique.

Puis il s'agit de présenter comment les décisions peuvent être prises dans le cadre de l'incertitude, mais également d'analyser comment les échelles temporelles associées, peu cohérentes avec les modes de gouvernance publics et privés, peuvent être appréhendées dans l'action. À ce titre, le recours à la prospective sera clairement présenté. Une approche systémique et pluridisciplinaire, transmettant les éléments d'analyse et de modélisation relatifs aux différentes dimensions du problème constituera donc la logique pédagogique de ce module.

Programme :

Les différentes externalités sont analysées de manière séparée, la modalité d'évaluation permettant une remise en perspective globale de celles-ci.

Changement climatique (6 séances) : Cette partie est introduite par une première séance qui s'appuie sur une fresque du climat pour présenter les enjeux des changements climatiques et une synthèse des négociations internationales sur ce sujet.

Viennent ensuite trois séances permettant la compréhension des phénomènes physiques, mécaniques et chimiques en jeu dans le système climatique, la présentation des résultats des modèles, l'analyse critique de ceux-ci et de leur mobilisation dans le débat public et enfin une perspective quant aux stratégies d'adaptation et de mitigation

L'objectif général de ces interventions est de donner à la fois :

- une appréciation des bases fortes et bien comprises de la science climatique, de sa capacité à décrire et modéliser les climats passés ou actuels, en identifiant des facteurs essentiels qui influent sur la dynamique du système climatique (cycle du carbone, couplage océan/atmosphère...) ;
- une estimation des limites et incertitudes de cette science qui affectent ses capacités à faire des prévisions détaillées à toutes les échelles d'espace et de temps ;
- une présentation de l'articulation entre les mesures d'atténuation et d'adaptation ;
- une analyse des trajectoires temporelles.

En présentant comment les scénarios prospectifs sont construits, comment ils dépendent des hypothèses sur l'évolution des concentrations de GES, on réservera une place importante à la notion de « risque climatique » qui passe par l'identification, la qualification et le traitement des incertitudes. On étudiera aussi le rôle parfois ambigu que l'on fait jouer aux résultats de ces projections dans le débat politique

Puis l'économie est mobilisée pour analyser les ambitions et les modalités des politiques climatiques, en deux séances. Ces deux séances s'articulent avec le cours d'Économie de l'environnement qui a déjà présenté et comparé les instruments économiques d'internalisation des externalités. La modélisation technico-économique est mobilisée pour éclairer les termes des débats des négociations internationales sur le climat et la mise en œuvre de l'accord de Paris. La question des impacts économique du changement climatique, mais aussi des implications économiques de politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre est abordée. Là encore la question de l'articulation des différentes échelles temporelles et spatiales est au cœur de l'analyse proposée qui articule recherche de l'efficacité de certaines formes d'équité dans l'atteinte de l'objectif environnemental. Les trajectoires d'émissions compatibles avec les objectifs de l'accord de Paris sont détaillées, ainsi que ce qu'elles impliquent pour le secteur des transports. Les instruments de politiques publiques associés sont analysés.

Pollution atmosphérique (2 séances) : Après une présentation des principaux polluants générés par les transports et l'état des lieux des concentrations et de leur évolution dans le temps, ces séances ont pour objectif d'expliquer les mécanismes en jeu pour définir la concentration dans l'atmosphère et son évolution au cours du temps. Les

émissions, les phénomènes de dispersions, de transformation et de retrait qui pilotent la durée de vie dans l'atmosphère seront ainsi abordés.

Bruit (1 séance) : il s'agit dans cette séance de présenter l'approche physique du bruit et de sa mesure. Puis une focalisation sur le bruit routier et le bruit ferroviaire sera réalisée.

Biodiversité (1 séance) : après avoir présenté rapidement les différences entre biodiversité génétique et fonctionnelle et le cadre définissant les politiques en matière de leur préservation, cette séance présentera les impacts directs des transports sur la biodiversité et les modalités de leur atténuation.

Évaluer les impacts des externalités sur la santé humaine (1 séance) : lors de cette séance, les méthodes d'évaluation des risques et des impacts sur la santé d'une pollution seront présentées et critiquées. Les apports et limites de l'épidémiologie, de la toxicologie et des études expérimentales seront exposés, de même que les notions d'évaluation des expositions, d'indicateurs de santé, d'indicateurs de pollution. Un focus sera réalisé sur la prise en compte croissante des effets cocktails.

Sécurité routière (1 séance) : état des lieux de la sécurité routière dans le monde et méthodologie de l'analyse des causes.

Que peut-on attendre des technologies dans la réduction des externalités des véhicules (1 séance) : une approche systémique de réduction des externalités liés aux transports sera réalisée lors de cette séance. Articulée autour des différents axes possibles (allègement, réduction des frottements, amélioration des rendements, traitements embarqués des pollutions, changement de carburants), un état des lieux et une prospective technologique seront réalisés, pointant en particulier les contraintes physiques et chimiques sur lesquelles on bute en la matière.

À l'issue du module, les élèves seront capables de :

- présenter brièvement l'historique des négociations internationales sur l'environnement ;
- analyser les jeux d'acteur en présence, les dimensions économiques sous-jacentes aux négociations ;
- énoncer les principaux scénarios d'évolution passée et les éléments prospectifs pour les systèmes climatiques ; identifier les contributions anthropiques dans ces évolutions ;
- analyser des scénarios prospectifs à long terme ;
- expliquer de manière simplifiée les mécanismes physiques et chimiques en œuvre dans le changement climatique ;
- identifier et quantifier les sources d'incertitudes ;
- mobiliser la modélisation pour comprendre les phénomènes physiques, géographiques, économiques en œuvre ;
- définir les limites des exercices de modélisation ;
- définir les articulations entre dimensions économiques, sociales et environnementales du changement climatique ;
- juger de la robustesse scientifique d'un article issu de publication généraliste sur le changement climatique ;
- dresser un panorama des problèmes de pollution de l'air et comprendre les différences et les synergies entre les problèmes des échelles globales à locales ;
- identifier le rôle du secteur des transports dans les émissions de polluants atmosphériques et citer les technologies dont on dispose dans les transports pour réduire ces pollutions, en maîtriser les grands principes techniques, les coûts, les performances ;
- restituer les grands principes en jeu dans la dispersion des polluants ;

- mesurer et mobiliser les outils d'analyse du bruit généré par une infrastructure de transport ;
- préciser le cadre d'utilisation d'une étude épidémiologique en fonction des hypothèses mobilisées pour sa réalisation ;
- présenter les instruments d'analyse des causes d'un accident routier ;
- appréhender la notion de biodiversité ;
- présenter et analyser les stratégies d'atténuation des impacts des transports sur la biodiversité.

Contrôle des connaissances - Règles de validation : l'évaluation du module passe par deux modalités. La première consiste en un examen d'une heure ayant pour but de vérifier que les principaux mécanismes présentés sont appropriés et que les ordres de grandeur sont acquis.

La seconde s'appuie sur la préparation par les élèves, réunis par groupes de 5 d'une vidéo de 30 minutes qui :

- restitue les termes d'une controverse en présentant et analysant les positions des différents groupes d'acteurs et leurs évolutions au cours du temps
- ou qui mette en scène un débat opposant deux groupes autour d'un sujet.

Animées par un élève qui aura en amont validé l'ensemble des sources qui seront mobilisées par les deux équipes afin d'éviter les querelles de chiffres stérile, les débats opposent deux équipes de 2 élèves qui défendent des positions opposées autour de chacun des sujets. Les principales dimensions abordées auront été validées en amont et l'animateur veille à ce qu'un temps suffisant puisse être consacré à chacune d'entre elles.

Travail d'approfondissement (1,5 ECTS) :

Un projet sur l'analyse de la stratégie climatique d'une région du monde. Il s'agit par groupe de deux ou trois élèves d'analyser quels sont les enjeux du changement climatique pour cette région, quelle est sa capacité à entreprendre des réductions de ses émissions (ce qui passe par l'analyse des politiques qu'elle a éventuellement déjà mises en œuvre mais aussi par de la prospective énergéto-économique le concernant), d'identifier sur cette base quelle serait le bon couple adaptation / atténuation pour elle et alors de critiquer sa position actuelle dans les négociations climatiques. Ce travail est encadré par Emeric FORTIN.

À l'issue de l'approfondissement, les élèves seront capables :

- de mobiliser les éléments d'analyse climatiques, physiques, énergétiques, économiques et politiques pour définir quelle devrait être la stratégie d'une région du monde en termes de politique climatique ;
- de réaliser une démarche prospective pour analyser la robustesse de stratégies climatiques ;
- définir les articulations entre mitigation et adaptation.

39h (4 ECTS + 1,5 ECTS si approfondissement)

Conception et exploitation des systèmes logistiques et transports CORT1

Responsable : **Philippe WIESER** (École Polytechnique Fédérale de Lausanne)

Objectifs :

Dans l'optique d'une approche systémique, les cours de ce module s'attacheront à présenter les défis et les enjeux actuels de la logistique globale (*supply chain management*) en général et de la fonction " transport " en particulier, dans l'environnement d'entreprises (privées, publiques, parapubliques) ainsi que d'organisations publiques et sociales (villes, collectivités publiques, ...).

Un chapitre particulier sera consacré à la planification des systèmes de transport en général, et l'exploitation d'un système de transport collectif en particulier.

Toutes les approches méthodologiques présentées seront associées à des présentations d'outils permettant de modéliser dynamiquement, dès la phase d'étude et de conception, le comportement physique et économique d'un système dans son environnement futur d'exploitation en prenant en compte la dimension d'analyse de risque.

Les intervenants s'attacheront à illustrer leurs propos par des exemples et des études de cas concrets liés à la problématique du *supply chain* et des transports, tirés de la pratique et de projets récents ou en cours d'évaluation.

Programme :

- Introduction générale, programme et objectifs du cours. La gestion de projet. Méthodologie et outils de gestion
- Gestion d'un projet par les risques
- Modèles économiques de conception de projets, approche probabiliste
- Planification et ordonnancement de projet
- Modèles d'analyse multicritère, choix de variantes
- Planification générale des systèmes de transport
- Planification de l'exploitation d'un système de transport collectif
- Introduction à la logistique globale intégrée (*supply chain*). Tendances actuelles de la logistique intégrée. Présentation et distribution des projets de groupes
- Transport et logistique. Système d'information - IS et IT, nouvelles technologies de l'information et de traçabilité
- Analyse de la demande, analyse prévisionnelle appliquée au domaine du transport et de la logistique. Exemples et études de cas
- Techniques de simulation numérique appliquées à la conception de systèmes de transport et de logistique, exemples et études de cas (problématique, résultats obtenus)

Contrôle des connaissances – Règles de validation : Présentation de projets et examen final lors de la dernière séance

39h (3 ECTS)

Mobilités connectées : nouvelles données, nouveaux usages MCN-DU

Responsable : Alexis POULHES, LVMT

Objectifs : Ce module présente les technologies de gestion, recueil, analyse, visualisation et enrichissement de données utilisées pour la mesure et la compréhension des mouvements de personnes et de véhicules sur les réseaux de transport. Sans faire complètement l'impasse sur les méthodes classiques d'enquêtes, il est résolu orienté

vers l'utilisation de technologies émergentes et la place croissante que prend l'utilisation de traces numériques dans la mesure des déplacements.

Le module privilégie la pratique de l'innovation et vise à ce que les participants mettent les mains à la pâte du numérique. Les séances de cours, organisées en miroir d'un projet, ont vocation à venir en réponse à, et à défaut susciter, les questions qui émergent du projet.

Programme :

Cours (15h) :

- Capteurs trafic, mesure des déplacements (3h)
- Contexte technologique : billettique, FCD, FMD, wifi, bluetooth
- Contexte juridique européen: directives G29 Définition du projet (4h)
- Rudiments de bases de données (6h)
- Algèbre relationnelle
- Structure d'une base de données
- Interrogation et analyse de données " définition d'une base de tests et spécifications des traitements
- Campagne de mesures terrain
- Visualisation, enrichissement, fusion de données (6h)

Projet (15h)

- Prise de contact avec fournisseurs de service (ex : TrenCube)
- Rédaction du dossier de spécification
- Acquisition de données (6h)
- Restitution des résultats (5h)

Contrôle des connaissances - Règles de validation : Dossier de spécification d'un système de mesure du serpent de charge d'un véhicule TC par capteur bluetooth. Comptendu écrit et oral d'une étude expérimentale.

32,5h (3 ECTS)