

# *Semestre à choix Piste*

## *Pour une Ingénierie Sobre Techno- et Eco-responsable*

### *Syllabus* *2021-2022*

#### Table des matières

1. Enjeux et contexte.....	2
1.1. Limites planétaires et (in)soutenabilité.....	2
1.2. Introduction à la gestion intégrée des ressources et aux solutions d'adaptation au changement climatique.....	3
1.3. Introduction à l'histoire de l'industrialisation .....	4
1.4. Sociologie des techniques, usages et innovation.....	5
1.5. Introduction à la sobriété numérique .....	6
1.6. Politique publique .....	7
1.7. Incitations et obligations en matière de fiscalité verte : analyse économique.....	8
2. Outils et méthodes pour l'ingénieur I .....	10
2.1. Gestion de projet.....	10
2.2. Les Appels d'offres .....	11
2.3. Bilan Carbone .....	12
2.4. Analyse de Cycle de Vie.....	13
2.5. Méthodes et outils pour l'analyse et la gestion des risques.....	14
3. Outils et méthodes pour l'ingénieur II .....	15
3.1. Méthodes multicritères d'aide à la prise de décision .....	15
3.2. Méthodes centrées sur l'expérience utilisateur.....	16
3.3. Low-techs et right-tech via le prisme des besoins .....	17
3.4. Performance énergétique en milieu industriel .....	18
3.5. Science ouverte : communs et documentation appropriable.....	19
4. Cours de spécialité .....	20
4.1. Gestion énergétique et intégration des critères environnementaux .....	20
4.2. Recyclabilité et matériaux .....	21
4.3. Traitement de l'eau .....	22

# 1. Enjeux et contexte

## 1.1. Limites planétaires et (in)soutenabilité

(16H, Guillaume Mandil)

L'objectif de cette introduction est de proposer des éléments de compréhension sur la compatibilité des modes de vie (consommation et production) occidentaux avec les limites planétaires. Pour cela, une première partie s'attachera à faire un bilan de l'état de notre environnement tel qu'il est décrit par les différentes disciplines scientifiques. La partie suivante décrira les trajectoires types d'évolutions pour des civilisations en croissance physique (énergie, économie, pollution, ressources, ...). Sur ces bases la trajectoire suivie actuellement par notre civilisation sera discutée et des verrouillages à l'action seront identifiés. Enfin une dernière partie sera dédiée à des discussions sur les leviers possibles et les limites des approches actuelles pour atteindre des modes de vie soutenables.

Contenus :

- Constats sur l'état actuel de notre environnement
- Comportement du système terre-civilisation au regard des limites planétaires
- Discussions sur les modes d'actions envisageables pour un monde soutenable.

## 1.2. Introduction à la gestion intégrée des ressources et aux solutions d'adaptation au changement climatique

(8H, Catherine Freissinet)

Aujourd'hui les ressources en eau de manière générale font face à des contraintes majeures que sont la variabilité et le changement climatiques, l'accroissement de la demande, la dégradation de la qualité des eaux, les conflits d'usages et les tensions nationale (amont/aval) ou internationales (cours d'eau partagés) pour le partage de la ressource. Pour faire face à ces préoccupations une meilleure gestion des ressources en eau doit être envisagée. Pour cela il faut une approche intégrée de gestion des ressources en eau, dont l'objectif sera de :

- protéger la ressource et améliorer sa connaissance ;
- planifier l'utilisation de la ressource, et pratiquer une politique d'économie de l'eau ;
- impliquer les hommes et femmes équitablement, ensuite prévenir et gérer les conflits liés aux usages de l'eau ;
- satisfaire de façon globale les demandes légitimes et raisonnées (agriculture, électricité, usages domestiques, transports, industrie, loisirs, aquaculture, pêche...);
- préserver les écosystèmes et prévenir les risques (érosion, sécheresse, inondations).

Cette approche intégrée est d'autant plus nécessaire que la plupart des utilisations de l'eau apportent des avantages (économique et social) à la société mais elles peuvent avoir également des impacts négatifs (notamment sur l'environnement). Cette situation peut empirer à cause des procédures de gestion insuffisante, l'absence de réglementation ou le manque de motivation provoquée par les régimes de gouvernance de l'eau en place. C'est dans ce cadre que la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) prend toute sa place. En effet, la GIRE qui peut se définir comme : « Un processus qui favorise le développement coordonné et la gestion de l'eau, des terres et des ressources associées, afin de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte, d'une manière équitable, sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux » (Global Water Partnership, 2013) avec ses différents acteurs est l'approche de référence que nous aborderons tout au long de ce module.

Proposition de structuration du cours :

- GIRE et Cycle de l'Eau (lien entre les compartiments du sol, et interactions), changement climatique et projection,
- Comprendre, modéliser et prévoir l'évolution des ressources en eau et les risques associés sous différents scénarios d'évolution climatique : un outil pour la GIRE,
- Impact du changement climatique sur les ressources en eau : un exemple sur le bassin du lac d'Annecy,
- Ruissellement et îlots de chaleur urbain : comment s'adapter au changement climatique en région grenobloise à partir de solutions basées sur la nature en ville ?

### 1.3. Introduction à l'histoire de l'industrialisation

(8H, Christophe Roncato)

- **Présentation du cours :**

Relevant de l'histoire environnementale globale, ce cours se construit autour du triptyque industrialisation-désindustrialisation-réindustrialisation dans la période 1760-2020 et s'attache à mettre en lumière les enjeux sociaux et environnementaux liés à ce triptyque. Si toutes les industries peuvent être invoquées, les industries de l'énergie et des matières premières sont au cœur de la réflexion (comme elles sont au cœur des dérèglements climatiques et de la transition écologique). Après une mise en contexte rapide des révolutions industrielles des 18<sup>ème</sup> et 19<sup>ème</sup> siècle, une attention particulière est portée aux processus de désindustrialisation des pays occidentaux à partir des années 1970 (Europe, Amérique du Nord) et à l'émergence des nouveaux pôles industriels. Le « tournant industriel » chinois qui commence en 1978 est étudié plus particulièrement.

- **Objectifs et positionnement vis-à-vis des « acquis d'apprentissage du projet » :**

Ce cours permet de (re)situer l'histoire de l'industrialisation dans un contexte local, global et mondialisé ainsi que dans ses différentes temporalités (court/long terme) et de mieux comprendre l'articulation actuelle entre les enjeux industriels et les enjeux socio-environnementaux. Il répond plus particulièrement aux points 2) (état de l'art), 3) (cahier des charges), 4 (solution) et 7 (impacts) des « acquis d'apprentissage du projet ».

- **Mots clés :**

Industrialisation-désindustrialisation-réindustrialisation  
Consommation d'énergies et de matières premières  
Pollution locale, pollution globale  
Efficacité, sobriété, effet rebond  
Règlementation, dérèglementation, mondialisation  
Matérialisation, dématérialisation

- **Format du cours :**

Le cours se déroule en deux temps : une partie « magistrale » (pendant laquelle les étudiants sont invités à participer, interrompre l'enseignant-chercheur...) et une partie qui repose sur l'interaction entre l'EC et les étudiants. Les étudiants lisent un ou deux texte(s) avant de venir en cours pour préparer la séance et être prêts pour l'interaction. L'interaction est nourrie par tout type de document : textes, images, extraits de vidéo...

## 1.4. Sociologie des techniques, usages et innovation

(3H Stéphane Labranche + 12H Aurélie Catel )

La séance introductive à la sociologie de l'innovation visera à mieux identifier la place des technologies et des innovations dans le quotidien des individus, ainsi que leur réception, leur refus, le jeu qu'ils peuvent en faire et qui aura des répercussions sur les attentes, l'efficacité attendue, le niveau d'acceptabilité et les usages qui sont faits des innovations. Les exemples empiriques seront issus notamment du domaine de l'énergie : stockage d'eau chaude connectées ; nouvelles domotiques ; compteurs intelligents... Une mise en confrontation entre des projets étudiants concrets sera attendue !

Pour la suite du cours, nous montrerons que l'innovation doit s'appréhender à travers le contexte organisationnel dans lequel elle prend forme – start-up, grande entreprise, association... Nous montrerons que les enjeux de durabilité interrogent fortement les définitions du management de l'innovation technologique, remettant en cause les définitions admises jusqu'ici. Nous nous interrogerons sur les conséquences de ces changements. De nombreux exemples seront étudiés.

## 1.5. Introduction à la sobriété numérique

(8H CM + mini projet, Bernard Tourancheau)

### **Connaissances de base et objectifs pédagogiques :**

- bilan des effets directs du numérique sur les ressources fossiles
- bilan des effets du numérique sur les flux énergie-déchet-pollution-GES
- objectifs technophiles des perspectives réseau et calcul du BAU
- complexité et fragilité du numérique
- l'Internet initialement robuste, maintenant fragile
- entropie et codage, ascii vs raw vs jpeg
- flux vs immobilisation : coûts calcul/mémoire/réseau/stockage et coûts matériels/matériaux extraits/énergie grise
- rendements décroissants et « loi » de Moore
- limites physiques et limites techniques : taux d'erreurs, taux de pannes, 20MW

### **Savoir-faire et compétences :**

- estimer la fragilité introduite par le numérique
- déterminer le bénéfice/risque d'une solution numérique
- envisager différentes options pour augmenter la résilience des systèmes
- outils : RFC, asciidoc, md, asciart, latex
- Protocole Internet : vision lowtech initiale, distribué, robuste, ...
- Matériel : complexité, dépendance électrique
- Infrastructure : 4 % CO2e mondial, Cloud, Réseau, Stockage → limites, pérennité
- Sobriété, Outils de calcul et de programmation : règle de calcul, calculateur mécanique, recette, méthode, ...

### **Savoir-être :**

- esprit critique
- recul scientifique
- prise en compte de points de vue multiples

### **Bibliographie :**

- <https://ecoinfo.cnrs.fr/2021/03/01/agir-vers-la-sobriete-numerique/>
- <https://theshiftproject.org/article/pour-une-sobriete-numerique-rapport-shift/>

## 1.6. Politique publique

(10H CTD, Thomas Reverdy)

### **Formulation politique des enjeux environnementaux**

- Histoire du militantisme écologique, dynamiques des opinions concernant le changement climatique et ses origines anthropiques, émergence du concept anthropocène et prise de conscience des limites planétaires, confrontations autour de la collapsologie et des théories de l'effondrement,
- Structuration des clivages politiques en France autour du nucléaire, participation du mouvement écologique à la décision politique
- Analyse de controverses environnementales (par exemple la politique européenne des biocarburants)

### **Instruments et modalités d'action publique**

- Inspection des installations classées et de l'administration du risque, pouvoir régalién de l'administration
- Les politiques négociées de gestion des communs (Elinor Ostrom) : politique de l'eau, politique de déchets, responsabilité élargie du producteur
- Politique de soutien direct aux investissements, exemple des ENR, justification des mécanismes de soutien par les économistes du changement technique, la contestation de ces politiques par les autorités de régulation de la concurrence, la formalisation de la doctrine du contrôle des aides d'Etat...
- Marchés d'obligations : Certificats verts, Marché des quotas de gaz à effet de serre, Certificats blancs / Influence du courant d'analyse économique du droit dans la promotion des instruments de flexibilité. Mise en place en Europe, échec et contournement. Relance du marché des quotas avec le MSR et l'ajustement aux frontières.
- Mécanisme du Développement Propre : démonstration de l'additionnalité, "low hanging fruits", néocolonialisme vert
- La décentralisation politique et la mobilisation citoyenne : mouvement des communautés énergétiques, enjeux paysagers, transfert de compétences vers les collectivités locales
- Le retour des politiques industrielles avec le soutien européen aux démonstrateurs régionaux et avec le plan de relance
- "Capter" la demande écologique : le consumérisme vert, l'équipement du marché par les garanties d'origine, labels environnementaux, la compensation carbone
- L'évolution de la fiscalité écologique et les enjeux redistributifs

## 1.7. Incitations et obligations en matière de fiscalité verte : analyse économique

(10H CTD, Olivier Boissin)

Cet enseignement a pour objectif de comprendre les volets de la politique fiscale orientée soutenabilité. Il porte sur les instruments de la fiscalité écologique et en particulier sur le fonctionnement des taxes et marchés carbone, leurs résultats, points bloquants et attendues. Mais également, de manière plus large aux outils économiques de la théorie des incitations afin de parvenir aux objectifs spécifiés dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas Carbone.

Il s'inscrit dans une approche ouverte des enjeux, portées et des limites des outils incitatifs et d'injonction afin de positionner le débat non uniquement sur l'espace national ou européen, mais aussi dans sa dimension internationale. Près de la moitié des émissions eq. Carbone étant réalisés par les deux puissances chinoises et américaines, il est en effet important de replacer la question des outils économiques disponibles dans un cadre élargi d'économie internationale.

Mot clé : éco taxe – marchés carbone – crédit carbone – Cap and Trade – Corridor de prix ETS - EEX - taxe carbone - internalisation des coûts environnementaux - principe pollueur / payeur – délocalisation de la pollution / paradis de la pollution – discrimination par les prix - signal prix - EU ETS – SEQE - Taxe Intérieure sur la Consommation de Produits Energétiques (TICPE) - marché national du carbone chinois -

### Programme

#### Introduction

#### Partie 1 : Fiscalité verte

- 1.1. Nature des impôts, taxes et redevances payés par les pollueurs. Aides et subventions.
- 1.2. Analyse comparée des principaux instruments disponibles en économie ouverte.
- 1.3. Analyse coût / opportunités : portée et points bloquants. Illustration sur un procédé de fonderie.

#### Partie 2 : Outils théoriques

- 2.1. Le dilemme incitation / obligation dans la théorie économique.
- 2.2. Apport de la théorie des incitations appliquée aux questions environnementales.
- 2.3. Choix des polluants, produit ou service et discrimination par les prix. Recettes et signal prix.

#### Partie 3 : Marché des ETS et taxe carbone

- 2.1. Enjeux et fonctionnement de l'ETS et des dispositifs de taxe carbone.
- 2.2. Portées et limites des mécanismes de marché : Rex sur le Blue Next NYSE.
- 2.3. Analyse comparée sur les autres marchés du carbone (EU ETS) et de la taxe carbone.

#### Partie 4 : Fiscalité écologique : cas pratiques

- 4.1. Le secteur français de la cimenterie. Analyse des dispositifs publics déployés, de leurs efficacités et des comportements sectoriel adoptés.

4.2. Chine : évolution de la politique nationale environnementale, avec application au secteur énergétique du charbon. Quels outils déployés, quels résultats effectifs et quels scénarios à venir ?

4.3. Internalisation des coûts environnementaux : Enjeux, portées et limites des outils et des pratiques. Application au secteur de l'aluminium.

## Conclusion

Compétence attendue : connaissance des outils incitatifs de marché et d'obligations afin d'inscrire les comportements des agents économiques en accord avec des objectifs de la SNBC.

## Pistes bibliographiques

- Bayer, P., Aklın, M., « *The European Union Emissions Trading System reduced CO2 emissions despite low prices* », PNAS April 21, 2020
- Boissin, O., « *Développement durable : des chiffres et des étoiles* », Grenoble-INP, 2021.
- De Perthuis, C., Ellerman, A. D., & Convery, F. J. « *Le prix du carbone : les enseignements du marché européen du CO<sub>2</sub>* ». Village Mondial, 2010.
- Encyclopédie de l'énergie, <https://www.encyclopedie-energie.org>, 2021
- Encyclopédie de l'environnement, <https://www.encyclopedi-environnement.org/> 2021.
- ICAP (International Carbon Action Partnership) « *Emission Trading Worldwide – Status Report 2020* ».
- Le Cacheux, J., ; Laurent, E., « *Le marché européen du carbone en quête de stabilité* », regard croisé sur l'économie, 2009.
- Miquel, P.A., Grosjean, J. Sterner, TH. « *Une fiscalité verte efficace pour le climat : retour sur l'expérience suédoise* ». Annales des Mines, Responsabilité et environnement, n°88, 2017
- Ministère de la transition écologique, « *La marché du carbone* », 2021.
- Stern, N., « *Managing Climate Change* », Collège de France, 2009.
- Swartz, S., « *Comment distribuer les quotas de pollution ?* », Revue d'Economie Politique, Vol 4 n°119, 2009.
- Taly, M., « *Les coulisses de la fiscalité* », PUF, 2016.
- Trotignon, R., Perthuis, C., « *Le climat à quel prix ? La négociation climatique* », Odile Jacob 2015.

## 2. Outils et méthodes pour l'ingénieur I

### 2.1. Gestion de projet

(12H, Jérémy Eydieux)

#### **A l'issue de cet enseignement les étudiants**

- comprendront en quoi le pragmatisme permet de dépasser le suivisme qui nous empêche collectivement de nous attaquer aux transitions.
- seront capables d'appliquer le pragmatisme à leurs propres projets, dans le cadre de PISTE.
- seront capables d'analyser là où il pourrait être utile, dans d'autres projets ou dans la société

#### **Éléments de gestion pragmatistes**

- 2h, CTD, une seule séance
- Introduction au changement de paradigme produit par le pragmatisme en gestion, leur donnant des pistes pour organiser leur participation aux transitions

#### **Points gestion de projet pragmatistes**

- 6x2h, CTD, toutes les 2-3 semaines
- Application du pragmatisme à leur projet sous forme de point d'étape avec les équipes, le format sera à préciser selon trajectoire des projets : les équipes séparément ou toutes les équipes ensemble, pour discuter du projet, de leurs analyses ou de leurs dynamiques collectives

## 2.2. Les Appels d'offres

(6H, Catherine Freissinet)

- Les différents types d'AO
- Comment lire un cahier des charges (marché public)
- Comment répondre à un marché public (rédaction de mémoire technique, composition d'une équipe, rédaction d'un CV professionnel pour répondre à un AO)
- Comment calculer les coûts ingénieurs et techniciens, comment faire un devis (MO, frais, TVA...)
- Qu'est-ce qu'un AO Européen de recherche collaborative / public privé ?
- Comment on répond ? comment on monte un consortium international ? Quelle est la position de l'ingénierie et des gestionnaires dans ce type de marché ?

## 2.3. Bilan Carbone

(4H CM + 6H BE, Matthieu Claus)

1ère séance (4H) : Comment quantifier l'impact des activités humaines sur le réchauffement planétaire ?

- \* différents GES et des rétro-actions.
- \* la comparaison des GES : le Forçage Radiatif
- \* L'impact à terme des émissions : PRG et PTG
- \* Reproductibilité des flux et source : Le Facteur d'Emissions
- \* Outils et référentiels : Quantifier avec une méthodologie transparente et reproductible.
- \* Flux d'émissions et de séquestration. Traitement des émissions évitées

2ème séance (4h) : Réalisation d'un bilan d'émissions de GES avec le Bilan Carbone (R)

- \* Réalisation du Bilan d'émission sur un étudiant

3ème séance (2h) : Adaptation de l'outil Bilan Carbone pour la prise en compte des émissions du projet.

- \* Unité d'œuvre et bilan annuel. Co- allocation des émissions entre co-produits
- \* Comparaison et scenario de référence : parallèle avec les Mécanismes de Dvt Propre/ Clean Development Mecanisme. Référentiel de l'Agence Française de Développement pour la prise en compte des émissions évitées dans les projets d'aide publique au Développement

## 2.4. Analyse de Cycle de Vie

(20H CTD, Peggy Zwolinski)

Dans ce module de formation, nous présentons l'approche nécessaire à la conduite d'Analyses de Cycle de Vie dans les activités des concepteurs/décideurs. L'objectif est d'amener les ingénieurs à raisonner en termes d'impacts environnementaux, en considérant l'ensemble du cycle de vie de leurs solutions pour pouvoir identifier des leviers d'actions.

Le programme mis en place vise à former les ingénieurs pour :

- Acquérir les fondements (méthode, algorithmes) de la méthode d'analyse ACV.
- Lire et interpréter les résultats d'une ACV dans leur domaine d'expertise.
- Avoir un esprit critique sur les résultats d'ACV issus de publications scientifiques ou non.
- Connaître les étapes de la méthode ACV et les différentes actions à mener pour dérouler ces différentes étapes selon leurs objectifs.
- Connaître les principales bases de données et quelques méthodes de calcul d'impacts.
- Comprendre et réaliser des calculs d'impacts, sur un exemple guidé, en particulier via l'utilisation de l'outil Simapro.
- Appréhender les limites de l'outil.
- Comprendre les problématiques de modélisation pour l'aide à la décision en conception/innovation.

Au travers des différents exemples et projets, les apprenants seront sensibilisés aux problématiques d'incertitudes, d'effets d'échelles, d'effets rebonds, d'optimisation... en ACV.

## 2.5. Méthodes et outils pour l'analyse et la gestion des risques

(12H CTD + 3H BE, Christophe Bérenguer)

### Acquis d'apprentissage :

- Maîtriser la notion de risque, son évaluation.
- Connaître les principales méthodes d'analyse et d'évaluation.
- Pratiquer leur mise en œuvre sur un cas d'étude (fil rouge)

### Contenu

L'objectif de ce cours est de donner une introduction complète à l'analyse et à l'évaluation des risques et de présenter les principales méthodes d'analyse des risques. Des méthodes et des modèles sont présentés pour répondre aux 3 questions principales d'une analyse de risque sur un processus :

- Qu'est-ce qui peut mal se passer ? (Identification des événements dangereux qui peuvent nuire à des actifs d'intérêt)
- Quelle est la probabilité que cela se produise ? (analyses qualitatives ou évaluations quantitatives; analyse causale pour identifier les causes d'un événement dangereux)
- Quelles en sont les conséquences ? (Identification et quantification du préjudice potentiel ou des conséquences négatives sur les actifs d'intérêt)

### Évaluation et gestion des risques

- Introduction et notions de base. Qu'est-ce que le risque ? Présentation du modèle conceptuel de base (modèle diagramme nœud papillon)
- Le vocabulaire de l'analyse de risque : introduction des principaux concepts de l'analyse de risque (Risque, Événement Dangereux, Scénario d'Accident, Actif, Conséquence, Gravité, Accident...)
- Dangers et menaces
- Métriques de mesure du risque, représentation et acceptation du risque (Comment mesurons-nous le risque et comment le représentons-nous ?)
- Méthodes d'identification des dangers : analyse préliminaire des risques (APD), analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC), étude des dangers en exploitation (HAZOP)<sup>[1][2][3]</sup><sub>[SEP]</sub>
- Développement de scénarios d'accidents (analyse des conséquences)<sup>[1][2]</sup><sub>[SEP]</sub>: arbres d'événements
- Analyse des causes et des fréquences : arbres de défaillances Introduction à l'analyse multicritères pour la hiérarchisation des risques et la prise de décision basée sur les risques)

## 3. Outils et méthodes pour l'ingénieur II

### 3.1. Méthodes multicritères d'aide à la prise de décision

(16H, Jean-Marc Tacnet)

La prise en compte des objectifs de développement durable nécessite de combiner des aspects économiques, environnementaux et humains dans l'ensemble des activités humaines. Dans les domaines industriels et technologiques, les ingénieurs ont longtemps prioritairement été focalisés sur des approches strictement techniques et économiques.

Dès leur formation initiale, les approches quantitatives sont traditionnellement privilégiées pour les amener à concevoir, gérer des systèmes, infrastructures ou équipements. La préservation des ressources, la prise en compte des changements globaux liés au climat imposent d'imaginer de nouvelles approches et nécessitent aussi de combiner de nombreux facteurs pour s'adapter à des contextes de décisions toujours plus complexes en termes d'acteurs, d'échelles de temps, d'espace. Faire des calculs ne suffit souvent pas et on s'aperçoit assez rapidement que les décisions se prennent en réalité sur la base d'un grand nombre d'autres facteurs.

Dans le domaine de la gestion des risques naturels, par exemple, on cherche ainsi à privilégier les solutions dites « fondées sur la nature » qui vont permettre de lutter contre les inondations mais aussi préserver les milieux aquatiques, terrestres, améliorer durablement le cadre de vie...Les approches d'ingénierie classique (génie civil, hydraulique) demeurent certes nécessaires mais il s'avère rapidement indispensable de mobiliser d'autres méthodes telles que les approches d'aide multicritères à la décision pour appréhender la complexité et réellement aider les décideurs.

A l'heure actuelle, ces problématiques et méthodes sont somme toute peu abordées dans les cursus d'ingénieurs. L'objectif de la contribution au module est de sensibiliser les étudiants à ces approches et de leur permettre de les mettre en œuvre pour combiner les facteurs techniques, physiques, environnementaux, humains, économiques.

La structure et le contenu d'une contribution pourrait être le suivant :

1. Sensibilisation à la problématique de décision : mise en œuvre d'un jeu sérieux relatif au choix d'un aménagement de protection ;
2. Partie théorique relative à la description des contextes de décision, aux principes des méthodes d'aide multicritères à la décision (solutions, critères, préférences, agrégation, étude de sensibilité), à la prise en compte de l'imperfection de l'information ;
3. Application de la méthodologie globale à des cas d'études (projets) complexes nécessitant des approches pluridisciplinaires

## 3.2. Méthodes centrées sur l'expérience utilisateur

(8H, Julien Solers)

L'innovation peut prendre des formes très différentes les unes des autres et intervenir dans tous les domaines de la société. C'est un procédé complexe, incontournable et à fort enjeu. Elle présente cependant des risques conséquents dont aucune organisation n'est épargnée. En effet, le taux d'échec dans les projets d'innovation a connu une augmentation très importante entre les années 90 et 2000, passant de 40% à 95% aux USA et à 90% en Europe en 2004.

Durant la phase de développement ou même alors que le produit existe et est commercialisé, les causes des échecs peuvent être diverses. On citera, entre autres :

- Une mauvaise définition du produit
- Un manque de culture de l'innovation et d'expertise dans l'entreprise ou un manque de stratégie et d'organisation (mauvaise gestion des priorités, mauvais management et manque de collaboration en interne)
- Une connaissance insuffisante de l'utilisateur et des usages ou une connaissance insuffisante du marché
- Un mauvais timing
- Une mauvaise prise en compte de l'écosystème
- Des biais psychologiques et des idées reçues, notamment, le « biais de « pro-innovation » : certitude trompeuse qu'un produit technologique est inéluctablement destiné à s'imposer dans la société
- ...

Parmi ces sources diverses d'échecs, nous retiendrons le manque de consultation des « utilisateurs potentiels » auprès desquels, en lien avec notre sujet de « durabilité », l'expression d'attentes et d'aspirations est devenu saillant. Des stratégies de communication dites « greewashing » ne peuvent plus intervenir, et heureusement, sans être dénoncées par le marché).

Pour capter cette expression des utilisateurs et les valeurs qui les animent, des solutions existent : nommées différemment au fur et à mesure des périodes et de leur diffusion dans les entreprises (« études de marché », « usages », « expérience utilisateur », design thinking », etc.) nous travaillerons collectivement, à chaque étape de votre projet d'innovation, pour que cet utilisateur (dans ses formes multiples) soit représenté depuis les premières idées jusqu'aux développements.

Nous verrons en effet qu'à chaque étape, il est possible de convoquer cet utilisateur, de manière directe ou indirecte, de collecter son opinion pour mieux la prendre en compte afin de piloter la prise de décision dans un projet.

Volontairement tournés vers l'action dans les projets concrets de ce semestre, nous nous organiserons en groupes projets pour construire et partager nos incertitudes, stimuler notre créativité pour mieux formaliser notre objet d'innovation, rencontrer des utilisateurs, analyser collectivement, améliorer, en tirer des conclusions opérationnelles et, peut-être, pivoter...

### 3.3. Low-techs et right-tech via le prisme des besoins

(20H, Martial Balland, Kevin Loeslé, Sacha Hodencq)

#### Tronc commun - partie « théorique »

- Historique et définition(s) des low-tech
- Acculturation aux low tech techs sous différentes disciplines ; lien aux enseignements précédents présentant notamment l'histoire et l'éthique de la technologie, l'épistémologie, la sociologie, les réglementations, les limites planétaires & ressources, les méthodes de mesures d'impact et la science ouverte.
- Ecosystème low-tech, présentation des pratiques low-tech :
  - Exploration : connaître l'existant
  - Définition des besoins - conception : les low-tech amènent un changement de rapport aux ressources, vivant, consommation, confort ; un changement de système de valeurs.
  - Expérimentation : se confronter aux usages
  - Documentation : ouverte, libre et accessible
  - Partage, diffusion & transmission
- Approche via le prisme des besoins :
  - Se nourrir, cas d'étude alimentation : objets low-tech concrets (marmite norvégienne, four solaire, ...), cycle de l'alimentation des sols et végétaux aux déchets organiques (chimie sols, nutrition...)
  - Se déplacer,
  - Se loger (Habitat/isolation et introduction aux habitats passifs, réglementations, connexion aux réseaux et introduction à la démarche off the grid (accès à l'eau, à l'électricité), dimension architecturale de l'habitat sobre

avec interventions extérieures sur des aspects plus théoriques (Biologiste de la nutrition, Architecte) et exemples concrets, retours d'expériences.
- Place et limites de la démarche : low-tech & réseaux, villes, industrie, emploi.

#### Aspect pratique

Apprentissage par le faire : dans le cadre de la semaine d'intégration, réalisation de A à Z d'une low tech, de la bibliographie à la réalisation du tutoriel open source. Co-construction avec les étudiants futures usagers de ces low-tech

#### Mise en situation de low tech réalisées

Mise en situation de low tech réalisées et analyse des impacts environnemental & sociétal en usage réel (distinction usages attendus / usages réels).

### 3.4. Performance énergétique en milieu industriel

(12H, Thierry Clause)

#### Acquis de l'apprentissage :

- Donner les éléments quantitatifs permettant d'appréhender les enjeux de liés à l'énergie pour un industriel : environnementaux, réglementaires et économiques
- Présenter les différents acteurs de l'EE
- Préciser les « outils » et présenter leur mise en œuvre opérationnelle : Lean Energy Analysis, étapes clés de la mise en œuvre d'une démarche d'EE, audit énergétique, mesure des gains, définition d'objectifs et tableau de bord énergie
- Présenter des fiches pratiques avec des exemples classiques d'actions d'EE en milieu industriel
- Présenter les outils contractuels et les dispositifs d'accompagnement : Contrat de Performance Energétique, Fond Chaleur, Certificats d'Economie d'Energie
- Appréhender les apports d'un système de management énergétique : concepts fondamentaux d'un SME, norme ISO 50001, Crit'Ergie

#### Contenu

Efficacité énergétique, ISO 50001, audit énergétique, IPMVP, CPE, CEE, réglementation, BPX30.120

### 3.5. Science ouverte : communs et documentation appropriable

(4H CM, 6H BE, Emmanuel Laurent, Sacha Hodencq)

- Notions de Communs : historique, lien avec les pratiques actuelles, exemples
- Science ouverte :
  - Définition de la science ouverte
  - Licence ouverte : licences existantes et implications juridiques pour open data, open source, open access, open hardware & évolutions
  - Processus de science ouverte : principes et exemples concrets
- Intérêts et limites des approches
  - Brevets : histoires, dérives & actualités
  - Notion de reproductibilité en sciences, lien à la recherche
  - Lien aux sphères politiques
- Modèles économiques
- Témoignages, retours d'expériences

#### Mise en pratique

- Outils de capitalisation et diffusion (pad, wiki), documentation ouverte
- Lien au projet fil rouge
  
- 4h sur des aspects théoriques
- 6h sur la pratique - témoignages - débats
  - Conception de documentation ouverte
  - Diffusion / transmission avec les autres groupes étudiants pour qualifier la continuité
  - Témoignages et échanges avec des acteurs de la science ouverte (à identifier)

**Formats** pouvant intégrer des éléments de classe inversée associés à des cours magistraux, serious game, débats et témoignages, et s'appuyant sur des ressources existantes telles que les enseignements PASTECH à l'INSA Lyon ou les travaux menés par le projet européen FOSTER.

## 4. Cours de spécialité

### 4.1. Gestion énergétique et intégration des critères environnementaux

(20H, Delphine Riu)

#### **Objectifs**

- Comprendre la problématique d'une source de production d'énergie hybride : dimensionnement et pilotage pour garantir le fonctionnement nominal et dégradé.
- Intégrer des critères technico-économiques et environnementaux dans la phase de conception de la solution.
- Définir des indicateurs de choix pour privilégier tel compromis entre robustesse et performances.
- Intégrer des facteurs environnementaux liés au changement climatique dans les objectifs et l'analyse du projet.

#### **Contenu**

Le cours repose sur un bureau d'études de 20h : travail sur un cas d'études réel d'alimentation électrique pour zone isolé. Des points méthodologiques et des éclairages scientifiques seront donnés au fur et à mesure du projet.

La pédagogie utilisée est une approche par projet et inductive : les enseignements sont dispensés par la compréhension des enjeux du projet par les étudiants, au fur et à mesure de l'avancement du projet.

#### **Prérequis**

Connaissances scientifiques en production d'énergie.

Programmation sous Matlab ou autres outils équivalents.

Connaissances en optimisation (programmation linéaire notamment).

Rattrapages de ces pré-requis possibles en début de session via des supports de cours mis à disposition.

#### **Evaluation**

Compte-rendu de projet par groupe, avec trame et grille de compétences à compléter.

Mindmap individuelle à rendre en fin de projet sur la compréhension globale du projet.

## 4.2. Recyclabilité et matériaux

(20H, Alexis Deschamps)

L'ingénierie, qu'elle soit matérielle ou virtuelle, s'appuie sur l'utilisation de matériaux. Les évolutions des usages et grandes transitions sociétales ont des impacts importants sur les ressources à mobiliser pour fabriquer, transformer la matière, ainsi que pour la réinjecter dans une économie circulaire par le recyclage. Dans la perspective d'une ingénierie sobre, la question de la recyclabilité des matériaux, des procédés associés, et de l'impact du recyclage sur les propriétés des matériaux, devient centrale.

L'objectif de ce cours sera de montrer dans quelques domaines clés les enjeux posés par cette problématique, en travaillant à la fois sur l'amont (impact de la conception sur la recyclabilité) et sur l'aval (impact du recyclage sur les propriétés des matériaux et donc sur leur capacité à être réutilisés pour des applications spécifiques).

1. Introduction aux matériaux : liaisons, structure, propriétés (partiellement sous forme de cours en ligne pour les étudiants n'ayant pas de connaissances préalables)
2. Alliages métalliques :
  - a. Conception d'alliages et recyclabilité : compromis performance / simplicité, éléments difficilement séparables
  - b. Effet du recyclage sur les propriétés : effets délétères des impuretés, procédés de séparation
3. Matériaux pour l'électronique
  - a. Recyclabilité des matériaux pour applications électroniques, procédés associés, problématiques de séparation et purification
  - b. Électronique sobre : conception prenant en compte les ressources critiques et l'impact environnemental
4. Matériaux biosourcés
  - a. Les biomatériaux : supports cellulose et biopolymères : pourquoi, comment.
  - b. Les besoins en biomatériaux: performances versus recyclage
  - c. Matériaux d'emballages : éco-conception versus usages
  - d. Dilemmes de l'ingénieur producteur, quelques exemples

### 4.3. Traitement de l'eau

(20H Agnès Boyer)

#### **Contenu :**

Traitement des eaux usées résiduaires urbaines et industrielles : limiter les rejets dans l'environnement par un traitement adapté des eaux polluées par les activités humaines, industrielles ou domestiques. Les aspects de traitement des boues et déchets issus du traitement de l'eau seront également abordés

Contenu de cours : polluants traités et mesure de pollution, diverses opérations unitaires (OU) permettant le traitement des eaux (pour chaque OU du traitement des eaux : description des principes, éléments de dimensionnements, dysfonctionnements et actions correctives).

Opérations unitaires concernées : dessablage, décantation, flottation, traitement biologiques (boues activées, lits granulaires, méthanisation, ...), traitements tertiaires (membrane), procédés extensifs (lagunage). Filtration, centrifugation, incinération, compostage, épandage. Travail à partir de la station d'épuration de la Metro, Aquapôle, comme station de référence à laquelle s'ajouteront d'autres exemples industriels.

#### **Compétences :**

- Expliquer le fonctionnement technique des différentes opérations unitaires du traitement des eaux usées
- Choisir celle qui paraît la plus adaptée en se basant sur des critères techniques et environnementaux
- Pré-dimensionner les opérations unitaires
- Identifier des dysfonctionnements potentiels et proposer des actions correctives
- Proposer la meilleure voie de valorisation des déchets produits

**Objectif :** former aux traitements disponibles sans faire des ingénieurs spécialistes mais plutôt des ingénieurs en capacité à identifier le/les procédé(s) le/les plus adapté(s) en termes d'impact environnemental et à travailler avec les spécialistes afin de trouver des axes d'amélioration pour transformer les procédés existants en procédés plus durables.

**Prérequis :** notions de chimie, de microbiologie, de procédés – cours qui s'adaptera aux divers publics

#### **Bibliographie**

Memento technique de l'eau, Degremont

Techniques de l'ingénieur

Documentations techniques de constructeurs quand disponible