



TITRE

SYLLABUS

INGÉNIERIE DES DÉVELOPPEMENTS DURABLES

I3D

Une formation inédite co-accréditée par les 6 grandes écoles de Toulouse INP

ENM – ENSAT – ENSEEIHT – ENSIACET – ENIT – PURPAN

Version 2020-06



SOMMAIRE	2
LA SPECIALISATION INGENIERIE DES DEVELOPPEMENTS DURABLES	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
UE1 • CONTEXTES PLANÉTAIRES ET ENJEUX ANTHROPIQUES	8
UE1-1 ENJEUX LIÉS AUX ORGANISATIONS ET AUX ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES	9
UE1-2 ENJEUX ÉCOLOGIQUES.....	10
UE1-3 ENJEUX LIÉS AUX FLUX DES RESSOURCES	12
UE2 • SCIENCES, CONCEPTS ET MÉTHODOLOGIES SYSTÉMIQUES.....	17
UE2-1 INTRODUCTION À LA COMPLEXITÉ EN INGÉNIERIE	18
UE2-2 ÉPISTÉMOLOGIE DES SCIENCES D'INGÉNIERIE.....	20
UE2-3 THERMODYNAMIQUE DES SYSTÈMES AUTO-ORGANISÉS.....	21
UE2-4 FORMATION À LA RÉFLEXIVITÉ, OUTILS SYSTÉMIQUES ET D'INTELLIGENCE COLLECTIVE.....	23
UE3 • MODÉLISATION ET SIMULATION DE SYSTÈMES COMPLEXES	27
UE3-1 MODÉLISATION ET SIMULATION DE SYSTÈMES DYNAMIQUES.....	27
UE3-2 MODÉLISATION ET SIMULATION SPATIALES.....	29
UE3-3 MODÉLISATION DES SYSTÈMES SOCIO-ÉCOLOGIQUES	30
UE4 • MÉTHODES ET OUTILS DE CONCEPTION, D'ÉVALUATION ET DE PILOTAGE	33
UE4-1 OPTIMISATION MULTI-OBJECTIFS ET AIDE À LA DÉCISION.....	34
UE4-2 BILAN CARBONE.....	35
UE4-3 ANALYSE DE CYCLE DE VIE	36
UE4-4 ÉCOTOXICOLOGIE ET ÉVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX.....	38
UE4-5 ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE ET TERRITORIALE	39
UE 4-6 ÉVALUATION DES TERRITOIRES ET INITIATION À L'OUTIL DE L'ENTRETIEN SEMI-DIRECTIF	40
UE5 • GOUVERNANCE ET ÉCONOMIE DE LA SOUTENABILITÉ	44
UE5-1 ORGANISATIONS ET COOPÉRATION	45
UE5-2 INNOVATION ET SOUTENABILITÉ	47
UE5-3 L'AGRICULTURE URBAINE : UN VECTEUR D'ÉCOLOGISATION DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES.....	48
UE5-4 ÉCONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT	50
UE5-5 ÉTHIQUE	51
UE5-6 ANTHROPOLOGIE DE LA NATURE	52
UE5-7 PRÉGNANCE DU SOCIAL	53
UE6 • ACTIVITÉS DE MISE EN SITUATION	55
UE6-1 CRÉATIVITÉ	56
UE6-2 INNOVATION RESPONSABLE	57
UE6-3 ÉDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE	58
UE6-4 ATELIER D'INITIATION À LA PLEINE CONSCIENCE	59
UE6-5 LANGUES (ANGLAIS).....	60
UE7 • CONCEPTION DE PROJET.....	63
BONUS.....	67
BIBLIOGRAPHIE	69



LA SPÉCIALISATION TRANSVERSALE DE TOULOUSE INP

INGÉNIERIE DES DÉVELOPPEMENTS DURABLES (I3D)

« Le calcul ne peut connaître le cœur de la vie, la chair de la vie. Voilà pourquoi l'enseignement des connaissances pertinentes doit être tout d'abord une initiation à la contextualisation. » Edgar Morin [1, p. 156]

La transition environnementale, écologique, énergétique et sociétale en cours, soumet les organisations et les métiers à la nécessité de concevoir les processus d'ingénierie et de management en interdépendance disciplinaire et en lien contextuel avec tous les environnements. Le défi est colossal dans le paradigme culturel classique de l'hyperspécialisation. Des compétences nouvelles sont requises pour piloter la conception de projets dans l'interdisciplinarité, selon une «écologie méthodologique», apte à déployer en synergie complexe les concepts et les outils dans tous les domaines des sciences d'ingénierie.

Relier pour comprendre, intégrer pour concevoir

Toute action d'ingénierie technique est de fait une action d'ingénierie éco-socio-technique, car les projets s'inscrivent obligatoirement dans des environnements écologiques et humains. La contextualisation des projets est évidente dans les situations suivantes, par exemple :

- ▶ implantation d'une nouvelle technologie sur un territoire à forte identité culturelle différente de celle d'où est issue cette technologie ;
- ▶ étude de projet conçu comme opportunité de développement collatéral de filière ou de territoire (ex. : projet de production manufacturière à partir de matériaux biosourcés à même de dynamiser le secteur agricole local) ;
- ▶ création d'un réseau d'organisations fonctionnant en symbiose industrielle (notion d'éco-site) ;
- ▶ conception et implantation d'installations selon des modalités d'expertise participative.

Or, « *Notre mode de connaissance a sous-développé l'aptitude à contextualiser l'information et à l'intégrer dans un ensemble qui lui donne sens... Le morcellement et la compartimentation de la connaissance en disciplines non communicantes rendent inapte à percevoir et concevoir les problèmes fondamentaux et globaux* » [1, p. 145].

Dès lors que l'ingénierie ne se réduit pas à un « *enfermement dans une logique de prescription* » [2, p. 79], posture ayant désormais largement démontré ses limites et ses insuffisances, les modalités de conception, ainsi que la mise en œuvre des réalisations, relèvent d'une « *écologie de l'action* » [3, p.48]. Dans la phase de conception, il devient alors nécessaire de mobiliser en synergie des disciplines, des méthodes, des outils divers, selon des configurations modulables en fonction des projets et des acteurs. Cette éco-ingénierie (qui



n'est qu'accessoirement l'ingénierie écologique au sens strict) est nécessairement interdisciplinaire, voire transdisciplinaire [4, p. 13] et peut s'inspirer du fonctionnement des écosystèmes dans l'approche de son objet et dans ses méthodes de travail¹.

« Parce que l'action reste, dans le détail de ses facettes et de ses processus, insaisissable et méconnaissable, elle échappe à toute démarche d'ingénierie qui postulerait a priori une stabilité et une clarté de la cible, une connaissance exhaustive des activités à déployer pour l'atteindre, une stabilité des conditions d'exercice et donc des diverses ressources mobilisées. » [2, p. 79].

L'éco-ingénierie est par nature une ingénierie de la complexité

La pensée complexe s'exerçant sur des problématiques envisagées dans l'interdisciplinarité débouche inmanquablement sur des questionnements éthiques, épistémologiques et méthodologiques. Ainsi, dès lors que l'ingénierie n'est plus strictement mécaniste et prescriptive, qu'elle tient compte du tissu social où s'insère son objet, et des interfaces entre la science et le politique, par exemple, se posent des questions comme celles-ci :

- ▶ l'action est-elle plus efficace adossée à des connaissances plus explicatives ?
- ▶ s'il faut comprendre pour agir, dans quelle mesure ne faut-il pas agir pour comprendre ?
- ▶ quelle est la légitimité des préconisations des experts ?
- ▶ et le corollaire : quels processus de validation des projets doivent être mis en œuvre ?

La reconnaissance de l'incertitude, de l'existence de multiples points de vue légitimes et des processus délibératoires afférents, renouvelle profondément le statut de l'expert. Le paradigme de l'expertise à inventer, comme nouvelle manière de comprendre et de poser les problèmes, suppose :

- ▶ *« l'acceptation d'une coexistence d'approches quantitatives et qualitatives. Confiance dans le jugement pour traiter des situations complexes ;*
- ▶ *l'acceptation de solutions mixtes équilibrant l'apport brut de la technique et les apports de l'usage (comportements des usagers) ;*
- ▶ *la discussion de tout projet de manière équilibrée avec son prescripteur et ses usagers ;*
- ▶ *l'acceptation de la création d'un consensus par débat entre experts et non-experts, qui ne donne pas la prééminence au point de vue de l'expert. » [6, p. 2].*

Dans ce paradigme nouveau, qui cherche à dépasser la fermeture et l'incomplétude des modèles analytiques lorsque l'objet est complexe, la solution recherchée n'est pas prioritairement la solution optimale, mais une solution satisfaisante [7, 8]. Des méthodes et des outils transversaux spécifiques sont alors à mettre en œuvre, ce qui pose la question de

¹ L'éco-ingénierie ici définie est le pendant de ce que l'on nomme, outre Atlantique, les « sciences de l'environnement », le terme « environnement » étant à comprendre dans une acception étendue : « Les sciences de l'environnement modernes, inter et transdisciplinaires, se fédèrent autour d'objets-frontières comprenant des composantes qui croisent les sciences naturelles, les sciences humaines et sociales, les sciences de la santé et les sciences de l'ingénieur. » [5, p. 346]



la formation à ces méthodes et outils. Au-delà d'enseigner l'application des sciences, il s'agit de former à la conception [9, p. 202].

Formation à la conception interdisciplinaire en ingénierie

L'interdisciplinarité est une réalité dans de nombreux domaines, en particulier dans le champ des sciences et des techniques dont l'objet est complexe, comme l'agriculture, l'écologie, l'urbanisme, etc. À titre d'exemple complémentaire, notons qu'il existe également « *une approche écologique (écologie de la santé)... (qui) implique microbiologistes, parasitologues, climatologues, médecins infectiologues, épidémiologistes, écologues, mais aussi sociologues, anthropologues, historiens, géographes.* » [10, p. 121].

De même, dans le domaine des énergies, les concepteurs des nouveaux moyens de production d'énergies renouvelables ou des dispositifs destinés à l'efficacité énergétique doivent intégrer l'ergonomie des solutions, l'acceptabilité sociale, l'adaptabilité et les comportements des usagers, pour proposer des projets efficaces, viables et pérennes, ce qui nécessite la collaboration des sciences humaines et des sciences physiques, comme cela est mis en œuvre, par exemple, au Laboratoire Interdisciplinaire des Énergies de Demain de l'Université Paris Diderot [11].

Citons encore le développement durable, comme terrain d'application privilégié de la conception complexe et interdisciplinaire, dont les principes fondamentaux stipulent de penser l'économie, les questions sociales et environnementales de manière intégrée et en synergie.

L'interdisciplinarité est donc nécessaire et prometteuse. Les institutions s'efforcent de l'impulser dans les dispositifs traditionnellement cloisonnés. Ainsi, la Mission interdisciplinarité du CNRS a vocation « ...d'accompagner les équipes de recherche qui produisent de nouveaux concepts, de nouvelles méthodologies et des solutions innovantes qui n'auraient pu être obtenus sans coopération entre les différentes disciplines... » [12]. Ce qu'entend développer l'Alliance Athena (Alliance nationale des sciences humaines et sociales), avec l'implication interdisciplinaire des ShS dans la conception et la mise en œuvre de la transition énergétique, et qui vaut plus largement pour les grands enjeux de la transition (eau, ressources, déchets, etc.), débouche sur de nouvelles compétences d'expertise [13, p. 15]². Cependant, les conditions de réussite du travail interdisciplinaire sont exigeantes [14]. Une formation spécifique, en complément de l'acquisition d'une quelconque compétence spécialisée, est tout à fait indispensable. De longue date, l'UNESCO promeut l'interdisciplinarité dans l'enseignement général [15].

Dans une autocritique et une remise en question fondamentale [16], les écoles d'enseignement en gestion des entreprises, qui prennent acte d'avoir « *formé les responsables mêmes de la crise* » [15, p. 7], proposent de développer la culture générale, l'esprit critique et l'interdisciplinarité dans leurs enseignements. Ainsi, « *Il convient de ne pas cesser d'envisager les passerelles entre les disciplines enseignées, et de proposer aux étudiants des situations*

² « Il est important aujourd'hui de développer une coordination de la recherche SHS sur les énergies, dans les universités et écoles, les organismes (CNRS, INED, IRD, INRA...), et les groupes de recherche du secteur privé. Il y a là un enjeu de consolidation de nouvelles compétences pouvant compléter l'expertise existante dans ce domaine. »



d'évaluation qui mettent en jeu leur habileté à transcender le cadre disciplinaire (sujets sans préparation, improvisation, sujets de synthèse, etc.). » [16, p.9]. À la lueur de ce fait, les formations en ingénierie seraient fondées à penser que l'interdisciplinarité est synonyme d'innovation et de progrès.

La spécialisation I3D fonctionne avec le Mastère Spécialisé® interdisciplinaire en Eco-Ingénierie (MSEI) proposé par l'ENM en lien avec toutes les autres écoles de Toulouse INP pour préparer les ingénieurs de toute spécialité à l'ouverture interdisciplinaire afin de répondre au changement de paradigme de la pensée scientifique et technique et des pratiques ingénieriales requis par les évolutions globales et la demande sociétale vers le développement durable.

Pour satisfaire cet objectif, le dispositif général suivant a été conçu :

		Heures	Ects I3D
SEMESTRE 1		530	30
UE1	Contextes planétaires et enjeux anthropiques	50	2
UE2	Sciences et méthodologies systémiques	66	3
UE3	Modélisation et simulation de systèmes complexes	65	5
UE4	Méthodes et outils de conception, d'évaluation et de pilotage	85	4
UE5	Gouvernance et économie de la soutenabilité	65	3
UE6	Activités de mise en situation	72	3
UE7	Conception de projet	100	10
BONUS	Conférences et cours à la carte	27	-
SEMESTRE 2 : stage			30





UE1

Contextes planétaires et enjeux anthropiques

UE1 • CONTEXTES PLANÉTAIRES ET ENJEUX ANTHROPIQUES

Une des vocations de l'éco-ingénierie est de penser son objet dans un champ de problématiques élargi et de concevoir tout projet en lien avec des contextes. Ces contextes sont de nature économique, sociale, culturelle ; ils constituent des environnements (naturels, urbains, ruraux, etc.), ou encore des filières et des territoires. En outre, les interactions s'établissent sur des échelles variées de temps (court, moyen et long terme) et d'espace (échelle locale, régionale, planétaire).

Il se trouve que l'évolution récente du système humain a profondément modifié les environnements, à tel point que le rythme de leur dégradation dépasse celui de notre capacité d'adaptation [18]. C'est pourquoi, quelle que soit l'échelle, les actions ne doivent plus seulement être intrinsèquement pertinentes par rapport à des objectifs indépendants, mais doivent également concourir au bon état des contextes auxquels elles sont liées.

La connaissance des enjeux inhérents aux contextes déterminants est donc un préalable indispensable dans une formation à l'éco-ingénierie.

Les compétences développées par cette unité d'enseignement consisteraient à :

- ▶ savoir identifier, évaluer et relier entre eux les enjeux qui se posent dans toute problématique d'ingénierie, à l'échelle locale et à l'échelle globale ;
- ▶ comprendre les phénomènes et les mécanismes qui sont au cœur de ces enjeux ;
- ▶ pouvoir conduire un diagnostic intégré à des contextes (formulation des problématiques, mise en perspective, quantification, esprit critique par rapport aux connaissances et aux pratiques existantes).

		Heures
UE 1 : Contextes planétaires et enjeux anthropiques		50
UE 1 - 1	Enjeux liés aux organisations et aux activités économiques <ul style="list-style-type: none"> ▶ Économie ▶ Territoires ▶ Transports et déplacements ▶ Effondrement 	22
UE 1 - 2	Enjeux Écologiques <ul style="list-style-type: none"> ▶ Changement climatique ▶ Biodiversité 	8
UE 1 - 3	Enjeux liés aux flux des ressources <ul style="list-style-type: none"> ▶ Énergies ▶ Production alimentaire ▶ Alimentation et nutrition ▶ Eau ▶ Autres ressources et déchets 	20

Animateurs de l'UE1 : Stéphan ASTIER (Professeur émérite ENSEEIHT), Roman TEISSERENC (Maître de conférences ENSAT)



UE1-1 Enjeux liés aux organisations et aux activités économiques

Justification et objectifs

UE1-1.1 Économie

L'humanité est désormais mise en demeure d'assurer sa subsistance dans un contexte de plus en plus contraint par la démographie croissante, par la raréfaction de nombreuses ressources, par la dégradation de la biodiversité et l'accroissement généralisé des inégalités.

La réorientation du paradigme économique pour amortir la transition résultera de la conjonction de mesures institutionnelles et d'initiatives de terrain originales qui peuvent être sources d'inspiration et de créativité pour l'ingénieur.

UE1-1.2 Territoires

Lieu d'ancrage anthropologique, d'identité, de projection symbolique, d'activité, d'expression du politique, etc., le territoire est bien plus qu'un espace et un support : il modèle les représentations des habitants qui en retour façonnent leur territoire. Les territoires forment des entités ouvertes en interaction avec d'autres, de sorte que selon la problématique envisagée, se redessine l'échelle du territoire à considérer.

L'économie marchande a récemment privilégié l'échelle globale, mais beaucoup d'initiatives novatrices s'inscrivent dans des territoires restreints et dans des logiques de réseau. L'organisation des activités sur un territoire a d'énormes incidences sur la sociabilité et sur les ressources énergétiques (via l'organisation spatiale de l'habitat et des activités économiques, le transport, la stratégie d'approvisionnement énergétique, etc.).

L'aménagement des territoires impulsé par les politiques publiques met en question les processus décisionnels et le rôle des acteurs (expertise classique ou co-construction).

UE1-1.3 Transports et déplacements

Les moyens de transport conditionnent les déplacements des personnes et les transferts de marchandises. Dans l'économie marchande planétaire, les échanges internationaux et la mobilité des personnes se sont développés à un rythme très élevé.

Les transports déterminent l'organisation de la production, les échanges commerciaux et le développement des territoires. Au carrefour des politiques publiques et des intérêts privés, les infrastructures et les modes de transports nécessitent des arbitrages. Le déséquilibre entre les divers modes et entre le niveau de desserte des diverses zones, les coûts externes de la congestion et des accidents, l'augmentation du coût de l'énergie fossile, les nuisances importantes occasionnées par les transports, secteur parmi les plus émetteurs de dioxyde de carbone et fortement consommateur d'espace, sont des motifs de remise en question des schémas tendanciels de développement économique. Les politiques de transport peuvent être des leviers du changement dans la structuration et l'organisation des territoires et des activités vers une économie plus sobre et plus équitable.

UE1-1.4 Effondrement / Collapsologie

Depuis le rapport « *The limit to growth* » rédigé par Meadows et ses collaborateurs en 1972, de nombreux travaux ont démontré que le système de développement actuel risque de connaître un effondrement dans un futur plus ou moins proche. Cet effondrement est généralement lié à la raréfaction des ressources non renouvelables.

Cette intervention propose de poser la question du devenir de la société thermo-industrielle pour comprendre comment des systèmes complexes et dynamiques peuvent connaître des changements drastiques liés à des faiblesses internes ou des perturbations externes.

Compétences visées

- ▶ Niveau 1 : connaître les enjeux économiques et organisationnels

Éléments de contenus

- ▶ Économie
- ▶ Territoires
- ▶ Transports et déplacements
- ▶ Effondrement

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 22 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : avec tous les thèmes de l'UE5
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : entre les quatre thématiques du module UE1-1

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (22h) : cours/TD : 22 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Dans le cadre de l'évaluation mutualisée de l'UE1 sous forme de Portfolio

Personnes ressources

- ▶ UE1-1.1 Nicola GALLAI (Maître de Conférences ENSFEA),
- ▶ UE1-1.2 Julia HIDALGO (Chercheur CNRS LISST), Jean-Marc FRAÏCHE (Directeur SIPHEM)
- ▶ UE1-1.3 Béatrice GIVRY (Enseignante ENAC)
- ▶ UE1-1.4 Roman Teisserenc (Maître de Conférences INP-ENSAT)

UE1-2 Enjeux écologiques

Justification et objectifs

UE1-2.1 Changement climatique

L'accroissement démographique et l'intensification de l'activité de production et des transports à l'échelle mondiale ont généré des impacts environnementaux majeurs et en particulier le réchauffement du climat planétaire avec les émissions de gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone dû à l'utilisation de l'énergie fossile. La poursuite tendancielle du



processus équivaldrait à un changement d'ère climatique en seulement un siècle, ce que ni les systèmes naturels ni les systèmes anthropiques ne pourraient supporter.

La météorologie, plus chaotique et dévastatrice, l'élévation du niveau des océans, la raréfaction de la ressource en eau, la désertification des zones sèches, l'extinction massive de nombreuses espèces, les conséquences sur la santé humaine, les tensions géopolitiques dues aux migrations, l'augmentation des inégalités, les coûts colossaux de l'ensemble des conséquences pour l'économie, etc. sont des exemples de nuisances et de menaces qu'il serait inique de reporter sur les prochaines générations. L'inertie du système climatique et les risques d'emballement liés à des processus d'auto-renforcement suggèrent la nécessité de mettre en place urgemment des actions volontaristes d'atténuation du changement climatique en diminuant les émissions de gaz à effet de serre. Le réchauffement étant amorcé, il devient également nécessaire de s'y préparer et d'envisager l'adaptation.

UE1-2.2 Biodiversité

La biodiversité, c'est-à-dire la diversité des écosystèmes, des espèces, la diversité génétique, caractérise le vivant. Elle est à la fois cause et effet de la dynamique des interactions entre organismes vivants dans des milieux changeants. La biodiversité est l'expression d'un système complexe qui détient le potentiel évolutif de la biosphère en conférant au vivant la capacité d'adaptation aux changements des conditions à l'échelle planétaire. La diversité du vivant est vitale du point de vue biologique et écologique, mais également pour l'humanité dans toutes ses dimensions. Notre survie dépend des systèmes agricoles et marins, qui dépendent eux-mêmes de l'ensemble des écosystèmes planétaires.

Au-delà des activités liées aux bioressources, comme l'agriculture, on peut mettre en évidence que toute activité, quelle qu'elle soit, dépend directement et/ou indirectement de la biodiversité. La biodiversité constitue en outre une source d'inspiration immense dans le cadre du biomimétisme fonctionnel, avec la suggestion de nouveaux modes de relation et de fonctionnement sociaux et économiques plus harmonieux et performants. Dotée de valeurs symboliques et culturelles, pourvoyeuse de ressources et de services, la biodiversité est un enjeu essentiel pour l'humanité.

Prérequis

- ▶ Connaissances générales en écologie

Compétences visées

- ▶ Niveau 1 : connaître les enjeux climatiques et les enjeux de la biodiversité

Éléments de contenus

- ▶ Aspects généraux de la biodiversité
- ▶ Biodiversité et agriculture

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 8 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : climat et changement climatique, modélisation de systèmes dynamiques et socio-écologiques



- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : écologie, production agricole

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (8 h) : cours/TD : 8 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Dans le cadre de l'évaluation mutualisée de l'UE1 sous forme de Portfolio

Personnes ressources

- ▶ UE1-2.1 David SALAS Y MELIA (Chercheur CNRM)
- ▶ UE1-2.2 Aude VIALATTE (Directrice de Recherche INRAE), Benjamin Pey (Maître de Conférences INP-ENSAT)

UE1-3 Enjeux liés aux flux des ressources

Justification et objectifs

UE1-3.1 Énergies

L'énergie, à la base de toute action et qui compte pour 50% de l'empreinte écologique globale de l'humanité, est un enjeu socio-économique majeur. Elle constitue une « ressource » essentielle pour l'humanité qui a développé son économie récente grâce à un recours massif aux sources fossiles, facilement exploitables et utilisables, mais également fortement dommageables à cause des émissions de gaz à effet de serre et des nombreuses pollutions que génèrent ses utilisations. La perspective de la raréfaction des énergies fossiles et les conséquences considérables de son renchérissement pour l'économie plaident pour une transition fondée sur l'efficacité, la sobriété et pour l'utilisation massive des énergies renouvelables. L'énergie est aussi un concept majeur de la science, dont les propriétés induisent des contraintes spécifiques de mise en œuvre.

L'objectif est de donner des éléments de connaissance factuels, chiffrés, accompagnés d'éléments d'analyses permettant d'élaborer une vision d'ensemble de la problématique de l'énergie, aux niveaux mondial et régionaux, ainsi que des enjeux associés, actuels et prospectifs, mis en perspective aux plans technique, économique et sociétal.

UE1-3.2 Production alimentaire

La croissance exponentielle de la population mondiale pose le problème crucial de la production alimentaire. De fait, pour des raisons diverses, près d'un milliards de personnes souffrent actuellement de malnutrition. L'intensification de la production a été rendue possible depuis une cinquantaine d'années grâce à l'injection massive d'énergie fossile bon marché dans le système productif, mais cette dépendance est désormais un risque croissant. Les impacts des pratiques agricoles intensives, affectation de la biodiversité, percolation généralisée d'intrants toxiques, réduction de la diversité génétique des espèces domestiques, etc., et la sensibilité des systèmes de monoculture à la fluctuation des conditions naturelles et économiques, les rendements décroissants, la dépendance du secteur aux subventions massives dans les pays de l'OCDE, la spéculation sur les matières premières agricoles, etc., révèlent les limites physiques et économiques de la production alimentaire actuelle. En outre, les sols sont sollicités désormais pour des productions massives non alimentaires comme les agro-carburants, ce qui accentue certains impacts et la précarité de certaines populations.

Des pratiques alternatives, agriculture biologique, agriculture intensivement écologique, permaculture, etc., émergent et semblent capables, selon la FAO, de nourrir la population mondiale, mais la transition est difficile. Hors du secteur agro-alimentaire lui-même, l'ingénierie nouvelle, qui fera de plus en plus appel aux ressources renouvelables et aux matériaux biosourcés en particulier, doit connaître les spécificités, le potentiel et les limites de la production agricole pour innover sciemment.

UE1-3.3 Alimentation et nutrition

Le régime alimentaire des populations des économies développées a profondément changé avec la généralisation de nouveaux modes de vie et la production agro-alimentaire industrielle. La composition des denrées en nutriment, les rations, les modalités de prise des repas, etc. doivent être en adéquation avec les besoins nutritionnels et les nécessités physiologiques des personnes.

En matière de nutrition, les connaissances et les habitudes ancestrales forgées par l'expérience se sont largement perdues et le système éducatif n'a pas relayé l'effondrement de cette culture, à tel point que les apports peuvent désormais ne pas être appropriés aux besoins. La nutrition, non conçue comme un acte fondamental d'approvisionnement du corps en matière et énergie, est reléguée à l'arrière-plan des priorités de temps et d'argent à dépenser. La part croissante de viande dans le régime alimentaire n'est pas sans incidence sur la santé également. Cette tendance privilégie des filières de production dont le rendement énergétique est très faible et les émissions de gaz à effet de serre conséquentes. La contamination des aliments est généralisée. Son origine peut être naturelle (mycotoxines), environnementale (polluants divers), agronomique et technologique (pesticides, additifs), ou secondaire, avec les transformations physico-chimiques et biologiques tout au long de la chaîne (micro-organismes pathogènes, substances néoformées). La surveillance de la qualité nutritive et de la contamination est nécessaire, en parallèle de l'éducation à la fonction vitale de nutrition.

Les maladies qui se généralisent dans la civilisation moderne sont dues à des causes multifactorielles, mais l'alimentation est reconnue pour sa contribution. Les défis majeurs qui attendent l'humanité (réchauffement climatique notamment) seront d'autant plus difficiles à relever que l'état de santé des populations sera dégradé.

À titre personnel, pour leur propre santé, et dans le cadre professionnel pour certains secteurs d'activité, il est important de fournir aux ingénieurs ces bases sur l'alimentation et la nutrition.

UE1-3.4 Eau

Plusieurs questions se posent en relation avec le cycle de l'eau et les besoins quantitatifs et qualitatifs de cette ressource indispensable. En effet, si le volume d'eau sur Terre paraît très important, l'eau douce n'en représente que moins de 1 %. L'eau douce constitue donc une ressource limitée, mais surtout, un enjeu pour l'avenir, à la fois pour la biodiversité et pour l'humanité. Les activités humaines génèrent des déchets qui ont des conséquences à la fois sur les flux de la ressource eau, via notamment le changement climatique, et sur sa qualité, par les émissions dans l'environnement de composés chimiques très divers dont les effets sont souvent difficiles à évaluer à grande échelle, ainsi qu'à moyen et court termes. La modification de ces flux et de la qualité de l'eau a un impact important sur les économies et les transferts d'eau, au détriment le plus souvent de zones déjà pauvres en cette ressource.

UE1-3.5 Autres ressources et déchets

Du point de vue thermodynamique, le système anthropique s'auto-organise de manière à maximaliser le flux d'énergie qui le traverse, avec accroissement consécutif de l'entropie extérieure au système. Par conséquent, s'épuisent les ressources non renouvelables et les ressources renouvelables pour lesquelles le taux de prélèvement excède le taux de renouvellement, et du côté des flux sortants, s'intensifie la production de déchets.

L'augmentation de la population mondiale et l'intensification des processus de production menacent désormais l'approvisionnement en certaines ressources (minerais, énergies fossiles, bioressources non domestiques, etc.) et la résorption des déchets par le métabolisme planétaire (gaz à effet de serre, molécules organiques, etc.).

L'économie ne doit donc plus considérer les réserves de ressources naturelles comme infinies ni gratuites. L'instauration d'une régulation des flux globaux entrants et sortants constitue un enjeu majeur que chaque acteur doit décliner à son échelle, notamment dans la conception en ingénierie.

Prérequis

- ▶ Connaissances générales sur les géo-cycles

Compétences visées

- ▶ Niveau 1 : connaître les enjeux liés aux ressources et aux déchets

Éléments de contenus

- ▶ Ressources énergétiques
- ▶ Production alimentaire
- ▶ Alimentation et nutrition
- ▶ Ressource eau
- ▶ Autres ressources et déchets

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 20 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : économie, territoires, transports et déplacements, analyse de cycle de vie, changement climatique, thématiques de l'UE5

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (20h) : cours : 20 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Dans le cadre de l'évaluation mutualisée de l'UE1 sous forme de Portfolio

Personnes ressources

- ▶ UE1-3.1 Stéphan ASTIER (Professeur Émérite ENSEEIHT)
- ▶ UE1-3.2 Philippe GRIEU (Professeur ENSAT)
- ▶ UE1-3.3 A déterminer
- ▶ UE1-3.4 Philippe BEHRA (Professeur ENSiACET)
- ▶ UE1-3.5 Maialen BARRET (Maîtresse de Conférences ENSAT)

Bibliographie

- ▶ BEHRA, Ph. (dir.) et al., Chimie et environnement, Dunod, Paris, 2013
- ▶ Le Cercle des économistes et E. Orsenna, Un monde de ressources rares, Perrin, Paris, 2007
- ▶ LEVEQUE, CH., SCIAMA, Y., Développement durable, 2nde édition, Dunod, Quai des Sciences, Paris, 2009
- ▶ MARSILY de, G. L'eau, un trésor en partage, Dunod, Quai des Sciences, Paris, 2009
- ▶ ORSENNA, E. L'avenir de l'eau, Petit précis de mondialisation II, Librairie Arthème Fayard, Paris, 2008



UE2

SCIENCES, CONCEPTS ET MÉTHODOLOGIES SYSTEMIQUES



UE2 • SCIENCES, CONCEPTS ET MÉTHODOLOGIES SYSTÉMIQUES

L'éco-ingénierie place d'emblée son objet dans une représentation complexe du réel. Par exemple, dans l'optique de la responsabilité sociétale, un projet local sera considéré dans un contexte global où les interdépendances économiques, environnementales, sociales, culturelles, etc. constituent un champ de contraintes, mais aussi des opportunités, qui conféreront à sa conception un degré de complexité élevé.

Les méthodes et les outils classiques, qui isolent un système de son contexte ou le partitionnent pour le simplifier et le modéliser linéairement ne sont donc plus systématiquement adéquates, car elles négligent des interactions pourtant déterminantes et le phénomène d'émergence. Ainsi, des méthodes systémiques sont nécessaires pour appréhender et optimiser des flux matériels et informationnels ou pour examiner les futurs possibles d'une organisation.

La complexité étant impossible à cerner exhaustivement, le libre arbitre du concepteur intervient dans la représentation et la modélisation d'un système. La validité des connaissances acquises n'est plus automatiquement conférée par la validité d'une méthode d'investigation, comme cela est le cas avec la méthode cartésienne, mais elle doit faire l'enjeu de processus délibératoires et d'évaluations au regard d'un projet. Le paradigme constructiviste (le réel n'est plus un donné, mais la représentation que l'on en construit) rend nécessaire un méta-regard sur la connaissance actionnée dans la conception des projets pour en fonder la validité. L'épistémologie est donc indispensable en éco-ingénierie de la complexité.

La thermodynamique des systèmes complexes auto-organisés relève également des sciences systémiques. Appliquée au système anthropique, elle est riche d'enseignements. Elle permet de dessiner des voies économiques alternatives, en cohérence avec les contraintes physiques du système planétaire, de refonder la notion de progrès, de relier science et culture, de reconsidérer certains objectifs de la gouvernance, etc.

Parmi les compétences visées par cette unité d'enseignement, citons :

- ▶ la maîtrise de la cohérence des actions relativement aux environnements complexes ;
- ▶ la mise en œuvre de modalités de penser, elles-mêmes complexes ;
- ▶ la capacité à établir des relations transversales au sein des disciplines, des méthodes et des outils de l'ingénierie ;
- ▶ l'aptitude à modéliser un système complexe ;
- ▶ l'aptitude à porter un regard critique sur son propre système de pensée, mis en œuvre dans la pratique de l'éco-ingénierie.





		Heures
UE 2 : Sciences et méthodes systémiques		66
UE 2 - 1	Introduction à la complexité en ingénierie	17
UE 2 - 2	Épistémologie des sciences d'ingénierie	16
UE 2 - 3	Thermodynamique des systèmes auto-organisés	14
UE 2 - 4	Formation à la réflexivité, Outils systémiques et d'intelligence collective	19

Animateurs de l'UE2 : Vincent GERBAUD (Chercheur CNRS ENSIACET), Christophe GOURDON (Professeur ENSIACET)

UE2-1 Introduction à la complexité en ingénierie

L'ingénierie en complexité : science de la conception des projets pour l'innovation sociotechnique au service d'une économie symbiotique.

Justification et objectifs

Les changements globaux, systémiques, s'accroissent et la prédictibilité des évolutions est nulle, même à court terme. Il est de moins en moins envisageable de concevoir des systèmes centralisés et massifs engageant la société sur le long terme. En situation floue, incertaine, labile, voire inintelligible, la gouvernance technocratique et l'ingénierie purement technicienne ne sont plus à même de proposer des réponses appropriées.

Toute ingénierie s'inscrit dans un contexte sociotechnique. Tout projet technico-économique est d'abord une question sociotechnique, sociale et psychosociale. La demande sociétale de participation à la conception et à la décision des solutions s'accroît. Dans toutes les disciplines, l'ingénierie est ainsi amenée à devenir une ingénierie de la complexité, pour appréhender son objet et ses méthodes en tant qu'écosystèmes et pour susciter l'intelligence collective dans la conception des projets. Le cours d'introduction à la complexité en ingénierie met l'accent sur la désormais nécessaire co-construction de solutions avec les acteurs du système sociotechnique. L'ouverture des champs cognitifs peut ainsi s'exprimer dans la conception de projets. La subjectivité des points de vue et le partage ne sont plus des freins, mais des richesses et des opportunités. Les liens avec les contextes de tous ordres, et en particulier avec les écosystèmes et les acteurs civiques, sont recherchés pour leur potentiel de créativité et de régénération.

Les méthodes développées par l'ingénierie classique n'en deviennent pas pour autant systématiquement désuètes. Ainsi, trois approches majeures de la conception ont à cohabiter dans une vision élargie et intégrative : le réductionnisme (modélisation cartésienne) est un cas particulier de la modélisation, valable pour les systèmes dits simples ou compliqués ; la



modélisation de la complexité prise comme objet («complexité restreinte») est largement mise en œuvre dans le monde scientifique depuis l'avènement des puissants moyens de calcul ; la modélisation complexe («complexité générale»), que nous privilégions, insère le sujet dans le système modélisé, transformant la conception en processus de conception écosystémique. La vision intégrative de l'ingénierie en complexité élargit la notion de raisonnement valable et déplace l'exigence de conformisme méthodologique vers la recherche d'une rationalité heuristique dans la conception des projets. Il s'agit de mobiliser une intelligence de l'action intentionnelle et collective, qui dépasse la stricte intelligence méthodologique et résolutoire cadrée par des procédures et des règles. La modélisation complexe trouve une expression dans les démarches de co-construction et de gouvernance collaborative.

L'éco-ingénierie fait autant appel au savoir-être qu'au savoir-faire écosystémique. L'éco-ingénieur doit développer l'autonomie intellectuelle, c'est-à-dire la liberté conceptuelle par rapport aux normes et aux méthodes. Il lui faut cultiver l'agilité cognitive et la capacité de médiation dans les approches interdisciplinaires. Il doit pouvoir compter sur ses ressources internes pour proposer des trajectoires méthodologiques en situation inintelligible, incertaine et anxiogène. Il doit également être porté par une forte motivation, par l'enthousiasme, tout en sachant faire preuve de détachement, pour acquérir l'endurance et la résilience nécessaires au pionnier qui entreprend d'engager un collectif dans la voie de l'intelligence collective et du changement.

Prérequis

- ▶ Ouverture d'esprit et culture générale étendue.

Compétences visées

- ▶ Niveau 2 : Être capable d'appréhender la complexité comme un défi stimulant et une opportunité pour la créativité et le lien social en ingénierie.
- ▶ Niveau 3 : Être capable d'identifier les logiques réductionnistes et de reformuler les problèmes en complexité.

Éléments de contenus

- ▶ Présentation des enjeux et des objectifs de l'agir/penser en complexité pour l'ingénieur
- ▶ Processus de conception, processus de décision
- ▶ Résolution de problème en complexité
- ▶ Modélisation complexe
- ▶ Organisations et gouvernance

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 15 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : l'enjeu de ce cours est prioritairement de forger quelques dispositions nouvelles pour aborder la conception de projet dans l'UE7. Des connexions seront faites avec divers sujets d'autres cours, notamment : production industrielle, territoires, épistémologie, thermodynamique, modélisation des systèmes socio-écologiques, organisation et coopération, économie, créativité, ergonomie et santé au travail.
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : modélisation, cognition, gouvernance.



Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (15 h)
- ▶ La méthode pédagogique met à profit l'expérience et le vécu de chacun, largement invité à exposer des points de vue, à témoigner et à débattre.
- ▶ Les étudiants sont mis en situation de résolution de problèmes d'ingénierie réalistes, avec des études de cas à trajectoire ouverte, en travaux de groupe, pouvant faire appel à des jeux de rôles, pour rechercher en complexité des solutions satisfaisantes.
- ▶ Les apports théoriques sont distillés en situation, au gré des opportunités et de la demande des étudiants.
- ▶ Certaines séances interdisciplinaires sont co-animées avec Vincent Gerbaud (thermodynamique des systèmes auto-organisés), Pascal Roggero (sociologie des organisations), Irène Gaillard et Vanina Mollo (Ergonomie santé au travail).

Modalités d'évaluation

- ▶ L'un de ces exercices consiste à concevoir en complexité les modalités de l'évaluation mutualisée des modules UE2-1 et UE2-2.

Personne ressource

- ▶ Jean-Yves ROSSIGNOL (éco-ingénieur indépendant)

UE2-2 Épistémologie des sciences d'ingénierie

Justification et objectifs

Les enseignements liés à la notion de complexité : ingénierie, sciences de l'organisation, de la cognition, de la communication, etc., invitent à enrichir la façon dont on considère nos connaissances comme valables (épistémologie) et à regarder au-delà du paradigme positiviste. En effet, ces nouvelles sciences se distinguent de leurs aînées, les sciences naturelles, en ne se définissant pas par rapport à un objet, mais par leur projet de connaissance. La connaissance devient un processus de conception et de mise en œuvre d'actions dans un contexte toujours singulier et porté par des intentions plurielles.

Les sciences dites de l'artificiel, car s'appliquant aux créations humaines (artefacts), amènent d'autres épistémologies que la pensée cartésienne, comme la pensée constructiviste telle que formulée dans les textes fondateurs de J. Piaget, H.A. Simon, E. Morin et J.-L. Le Moigne.

S'interroger sur la validité des connaissances acquises ou produites et sur l'adéquation au contexte de ces connaissances fait intégralement partie des missions de l'ingénieur.

S'interroger sur la mise en œuvre de la démocratie participative et de la mobilisation citoyenne dans la résolution des controverses socio-techniques.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ Niveau 3 : être capable de se distancier de sa propre pratique d'ingénieur et de développer une critique et une mise en œuvre adaptée au contexte s'appuyant sur une réflexion éthique.





Éléments de contenus

- ▶ La question du vrai et l'épistémologie
- ▶ La connaissance comme processus ; intention et contexte.
- ▶ Sciences de la nature versus sciences d'ingénierie
- ▶ Éthique, pragmatique, épistémique
- ▶ Cas pratiques
- ▶ conférence débat sur « la technique rime-t-elle avec la Politique ? »

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 12 h + conférence débat de 4h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : Sciences d'ingénierie des systèmes complexes, éthique, gestion de projets.
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : philosophie des sciences, éthique, rhétorique, sciences cognitives.

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (16 h) : cours : 8 h ; TD : 4 h ; Conférence débat : 4h

Modalités d'évaluation

- ▶ Évaluation mutualisée avec UE2-1

Personnes ressources

- ▶ Georges GARCIA (Association Européenne Modélisation de la Complexité)
- ▶ Arnaud De Maria (Transilab)

UE2-3 Thermodynamique des systèmes auto-organisés

Justification et objectifs

L'objectif de l'UE2-3 « Thermodynamique des systèmes auto-organisés » est de fournir un cadre conceptuel permettant d'analyser ou d'interpréter toute évolution d'un système sous l'angle de la thermodynamique et de ses principes fondamentaux.

Les phénomènes physiques, chimiques ou biologiques obéissent aux grands principes de la thermodynamique. Il en va naturellement de même pour un individu, pour les organisations, pour l'humanité toute entière et pour toutes les activités qui les impliquent.

La thermodynamique, science systémique par nature, offre un éclairage particulièrement pertinent sur l'évolution (ou non-évolution) de tout système considéré comme ouvert, fermé ou isolé dès lors que les frontières du système ont été définies et que les relations que le système entretient avec son environnement ont été précisées.

La thermodynamique à l'équilibre, où l'entropie est maximale, est limitée aux systèmes fermés et est finalement peu pertinente pour étudier les systèmes réels au-delà de la connaissance des structures stables d'équilibre. En effet, les systèmes réels sont forcément ouverts et interagissent avec d'autres systèmes. C'est pourquoi on s'intéressera dans ce module à la thermodynamique hors-équilibre, linéaire et non linéaire, qui permet d'explicitier les phénomènes biologiques et sociaux d'auto-organisation et les processus associés.

Si le premier principe indique que rien ne se perd et tout se transforme, le second principe apporte une information capitale sur l'évolution au cours du temps, la flèche du temps : il indique que chaque processus, lié à une transformation ou une activité, engendre une production d'entropie qui peut être interprétée comme la dissipation d'énergie utile.

Cette dissipation est nulle dans le cas d'un processus réversible, qui est alors hélas infiniment long. La dissipation est donc nécessaire et inévitable pour que le processus engendre une transformation observable. D'autre part, Ilya Prigogine a affirmé que cette dissipation n'était pas une source d'ennuis (friction, dissipation de chaleur, perte d'énergie utile etc.) mais était aussi le moteur de la dynamique universelle des systèmes, leur permettant de s'organiser en structures dissipatives, résilientes et efficaces.

L'évolution d'un système pose plusieurs questions :

1/ Peut-il atteindre un état stationnaire (équilibre dynamique à ne pas confondre avec l'équilibre statique des systèmes fermés) ? Qu'apporte alors l'équation de Gibbs décrivant la production d'entropie comme une somme de (flux) x (gradient de force motrice) ?

2/ Peut-on quantifier à l'aide des théorèmes de fluctuation-dissipation la probabilité qu'un processus se déroule, qu'une décision se prenne ?

3/ Au-delà d'un seuil critique d'énergie ou de ressources apportées au système, celui-ci peut-il s'auto-organiser en formant des structures de plus en plus complexes capables de mémoriser de plus en plus d'informations, de façon à diminuer l'entropie interne et à accroître la capacité de produire du travail et donc à dissiper toujours plus d'énergie. Dans ce processus, faut-il maximiser ou minimiser le taux de production d'entropie ? Comment va évoluer un système auto-organisé, même si on ne peut pas le prédire ?

Prérequis

- ▶ Bagage classique de toute formation d'ingénieurs scientifique niveau L, quel que soit le champ disciplinaire d'origine : principes de la thermodynamique d'équilibre ; initiation à la thermodynamique linéaire classique ; cycles thermiques.

Compétences visées

- ▶ Niveau 2 : être capable de comprendre l'angle d'approche thermodynamique des systèmes et des processus.
- ▶ Niveau 3 : être capable d'avoir recours à la thermodynamique en appliquant ses principes à tout sujet, y compris hors du champ des sciences dures.

Éléments de contenus

- ▶ Rappels sur les principes fondamentaux de la thermodynamique
- ▶ Entropie et production d'entropie
- ▶ Les systèmes ouverts : structures dissipatives
- ▶ Évolution des systèmes : dynamique, théorème de fluctuation-dissipation
- ▶ L'auto-organisation en physique et dans l'Univers (quelques exemples illustratifs)
- ▶ Ouverture sur les sciences humaines et sociales

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 14 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : sciences d'ingénierie des systèmes complexes, prospective stratégique, Analyse du Cycle de Vie, projet (UE7).
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : systémique, physique, chimie, biologie, culture et société.

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (14 h) : cours : 4 h ; TD : 10 h étude-projet, en lien avec UE7
- ▶ Travail personnel : lecture d'ouvrages fondateurs

Modalités d'évaluation

- ▶ Capacité à mettre en œuvre l'approche thermodynamique en appliquant ses principes à un sujet (projet UE7 ou autre projet)

Personne ressource

- ▶ Vincent GERBAUD (Chercheur CNRS)

UE2-4 Formation à la réflexivité, outils systémiques et d'intelligence collective

Justification et objectifs

Ce module vise à favoriser la mise en œuvre de l'éco-ingénierie selon une approche en complexité. Pour cela il propose une initiation à la pratique réflexive (position de l'étudiant vis-à-vis de lui-même et de son environnement) un atelier carte mentale (représentation systémique) et un atelier d'intelligence collective (mise en œuvre dans un groupe).

Le travail individuel encadré de l'UE2-4 « Formation à la réflexivité » vise plusieurs objectifs :

- ▶ Il s'agit de d'accompagner l'apprenant pour lui permettre de réguler ses apprentissages et de contribuer à la construction d'un modèle d'action (Allal, 1993, 2007).
- ▶ Cette démarche réflexive implique un auto-positionnement de chaque étudiant vis-à-vis de son apprentissage et oblige à une auto-évaluation qui s'avère essentielle pour le développement des compétences (Paquay, 2005). Dans cette optique les étudiants sont invités à faire preuve de progression dans les compétences spécifiques de la formation qui définissent un éco-ingénieur.
- ▶ Il conduit à la création individuelle d'un portfolio de type réflexif (Michaud, 2010).

Le processus réflexif individuel implique chacun à des degrés divers mais élevés, en passant par des états de certitude où l'on a compris ce qui était attendu, puis des états de flou et des états de prise de conscience que rien n'est attendu mais que chacun doit trouver les intentions pour lesquelles il réalise son portfolio.

Pour faciliter cet exercice réflexif, un accompagnement est proposé, reposant sur des exercices de narration réflexive, et sur des méthodologies inspirées du Cycle de Kolb (Balas-Chanel, 2012) et de la Pensée Complexe (Morin, 1996).

L'atelier carte mentale a pour objectif de présenter et de permettre de s'approprier un outil systémique dont le spectre d'utilisations est très large (préparation et organisation d'une

réunion ou d'une production, mémorisation de concepts, hiérarchisation d'idées, aide à la gestion de projet, génération d'idées et brainstorming...). En fonction de l'utilisation envisagée, il s'agira de développer la performance, de permettre la coopération, de développer la créativité, d'apprendre à apprendre en développant des habilités métacognitives...

L'atelier d'intelligence collective a pour objectif de former les étudiants la maîtrise des outils d'animation de groupe et d'ateliers participatifs de co-construction et de discuter de leur mise en œuvre effective à travers des exemples de terrain.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ Niveau 1 : maîtriser l'utilisation de carte mentale et des techniques d'animation collective
- ▶ Niveau 3 : être capable de réfléchir sur son parcours de formation et d'affirmer ses compétences en éco-ingénierie dans un contexte

Éléments de contenus

Volume horaire

- ▶ Présentiel : Initiation à la réflexivité : 10 h + 2h entretien.
- ▶ Volume de travail personnel estimé à 28 h en moyenne
- ▶ Atelier carte mentale : 3 h
- ▶ Atelier intelligence collective : 4 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : Sciences d'ingénierie des systèmes complexes.

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (10 h) : cours : 0 h ; TD : 10 h
- ▶ Entretien : 2 x 1h
- ▶ Ateliers : 7 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Auto-co-évaluation lors d'un entretien individuel et lecture du portfolio.
- ▶ Évaluation à travers les mises en applications pour les projets tuteurés de l'UE7.

Personnes ressources

- ▶ Formation à la réflexivité : Vincent GERBAUD (Chercheur CNRS), Julia HIDALGO (Chercheuse CNRS), Roman TEISSERENC (TOULOUSE INP – ENSAT), Stephan ASTIER (TOULOUSE INP- ENSEEIHT),
- ▶ Atelier carte mentale : Marie Claude Betbeder (PRAG – Toulouse INP-ENSIACET),
- ▶ Atelier d'intelligence collective : Isabelle ESTEULLE (SICOVAL)

Références bibliographiques

- ▶ Allal, L. (1993). Régulations cognitives : quelle place pour l'élève dans l'évaluation formative ? In L. Allal, D. Bain, & P. Perrenoud (éds), Evaluations formative et didactique du français (pp. 81-98). Neuchâtel-Paris : Delachaux & Niestlé.
- ▶ Allal, L. (2007). Régulations des apprentissages : orientations conceptuelles pour la recherche et la pratique en éducation. In L. Allal & L. Mottier Lopez (Eds), Régulation des apprentissages en situation et en formation (pp. 7-23), Bruxelles : De Boeck & Larcier.
- ▶ Balas-Chanel, A. (2012). La pratique réflexive, une valse à 7 temps ? Expliciter n°93 janvier 2012
- ▶ Bélair, L., & Van Nieuwenhoven, C. (2010). Le portfolio, un outil de consignation ou d'évaluation authentique. In L. Paquay, C. Van Nieuwenhoven, & P. Wouters (sous la direction de), L'évaluation, levier du développement professionnel ? (pp. 161-175). Bruxelles : De Boeck.
- ▶ Michaud, C. (2010). Le Portfolio: un en(je)-u de formation et de développement professionnel. Thèse de Doctorat. Lyon : Université Claude Bernard Lyon 1.
- ▶ Morin, E. (1996). La complexité et l'action (chapitre 4). Dans : Introduction à la pensée complexe. ESF éditeur, 1990, 6e édition, 1996, p. 105-111. Coll. Communication et complexité.
- ▶ Paquay, L. (2005). Vers quelles évaluations du personnel enseignant pour dynamiser leur développement professionnel et leur implication vers des résultats ? Recherche et Formation, n° 50, p. 55-74.
- ▶ Pierre Mongin, Fabienne de Broeck. Enseigner autrement avec le Mind Mapping. Dunod. 2016
- ▶ Lucas Gruez. Cartographier ses idées pour apprendre, enseigner et accompagner. Chronique sociale. 2017.
- ▶ Rémy Roulier. Le Mind Mapping Facile. Amazone Diffuseur distributeur. 2015.
- ▶ Tony Buzan, Chris Griffiths. Le Mindmapping au service du manager. Eyrolles. 2011.
- ▶ Pierre Mongin, Jean-Luc Deladrière. Organisez vos idées avec le Mindmapping. Dunod. 2014.
- ▶ Pierre Mongin, Xavier Delengaine. Organisez vos notes avec le Mindmapping. Dunod. 2016.
- ▶ Pierre Mongin, Luis Garcia. Organisez vos projets avec le Mindmapping. Dunod. 2014.





UE3

MODÉLISATION ET SIMULATION DE SYSTÈMES COMPLEXES



UE3 • MODÉLISATION ET SIMULATION DE SYSTÈMES COMPLEXES

La formation en éco-ingénierie nécessite une compréhension globale du fonctionnement de la dynamique des systèmes environnementaux complexes, imposant de réunir les différentes compétences disciplinaires utiles à la représentation d'un objet commun. Dans ce contexte, plusieurs approches et outils de modélisation associés seront présentés. Ceux-ci permettent de construire une représentation partagée intégrant une multiplicité de points de vue via l'utilisation de représentations pertinentes (diagrammes, formulations mathématiques, ...), et de fournir des informations prospectives basées sur la simulation de scénarios sur des systèmes où des études à long terme et l'expérimentation ne sont pas possibles. La modélisation dynamique permet ainsi d'anticiper les conséquences d'une prise de décision (politique, réglementaire, technique) sur la dynamique d'un système donné.

Ainsi, les matières enseignées dans cette UE présentent plusieurs types d'architectures de modélisation (systèmes multiagents, systèmes d'équations différentielles, systèmes d'information géographiques) et d'outils logiciels permettant de représenter et analyser les systèmes sous différents points de vue (social, énergétique, spatial) en intégrant les effets de dynamiques et d'évolution dans l'environnement. Elles intègrent également un cadre de représentation et d'analyse des systèmes socio-écologiques et la présentation d'une méthodologie de modélisation participative qui pourra être mise en application sur le thème du projet développé dans l'UE7.

		Heures
UE 3 : Modélisation et simulation de systèmes complexes		65
UE 3 - 1	Modélisation et simulation de systèmes dynamiques	22
UE 3 - 2	Modélisation et simulation spatiale	18
UE 3 - 3	Modélisation des systèmes socio-écologiques	25

Animateur de l'UE3 : Claude MONTEIL (Maître de Conférences ENSAT)

UE3-1 Modélisation et simulation de systèmes dynamiques

Justification et objectifs

Les logiciels de simulation de systèmes dynamiques sont des outils puissants permettant de développer des langages communs entre les disciplines et d'apporter des éléments d'analyse dans la simulation de scénarios de fonctionnement de systèmes pour éclairer les prises de décision.

L'objectif du module est de se familiariser avec l'utilisation de ces outils en explorant plus particulièrement deux types de formalismes : les modèles basés sur des équations différentielles et les modèles multi-agents (ou SMA : Systèmes Multi-Agents).



Les modèles différentiels sont basés sur des équations définissant des vitesses de variation de variables d'état à partir de la formulation de bilans de flux (énergie, matière, information).

Les modèles multi-agents développent une approche individu-centrée basée sur entités représentant des agents et objets biologiques ou physiques auxquels on peut associer des règles de fonctionnement de tout type (algorithmique ou mathématique).

Ces deux types de modèles seront appliqués à un même système-exemple décrivant la dynamique de deux populations en co-évolution, illustrant ainsi deux approches de modélisation d'un même problème : « macro » (populations globales) et « micro » (individus spatialement situés), largement utilisée en écologie et dans la prise en compte des aspects sociaux.

On traitera également d'exemples de formalisme très utilisés dans ce type d'approche (diagrammes UML – Unified Modelling Language).

Prérequis

- ▶ Connaissances générales informatique et en mathématiques (systèmes d'équations différentielles)

Compétences visées

- ▶ Niveau 3 : être capable d'utiliser les logiciels de simulation de systèmes dynamiques et de comprendre les enjeux et potentialités des approches globales et individu-centrées.

Éléments de contenus

- ▶ Introduction aux systèmes complexes et à la simulation multi-agent
- ▶ Langage de modélisation UML et protocole de documentation de modèles
- ▶ Approche globale par équations différentielles d'un modèle biologique : le système proie-prédateur
- ▶ Approche individu-centrée du même système, application sous une plateforme multi-agent (NetLogo)
- ▶ Développement d'un modèle multi-agent sous NetLogo pour se familiariser avec le langage et étude de cas sur un modèle en agro-écologie

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 20 h + TD d'évaluation 2 h
- ▶ Travail personnel (en groupe) : dans le cadre du projet de l'UE7

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : utilisation transversale de ces outils utilisés dans l'UE1 et l'UE7, ainsi que dans le module relatif à la modélisation de systèmes socio-écologiques.
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : approche systémique, représentation de systèmes dans tous domaines d'application.

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (22 h) : CM : 8 h, TD : 14 h, étude-projet et terrain en lien avec UE7
- ▶ Travail personnel : oui

Personnes ressources

- ▶ Claude MONTEIL (Maître de Conférences ENSAT), coordinateur UE3-1
- ▶ David SHEEREN (Maître de Conférences ENSAT)

UE3-2 Modélisation et simulation spatiales

Justification et objectifs

La place de la géomatique est devenue incontournable dans l'analyse et la gestion des territoires et de leurs ressources. L'objectif de ce module est d'apporter une compréhension des concepts et enjeux liés à la représentation spatiale, la pratique d'un logiciel de gestion de système d'information géographique (SIG), et la capacité d'échange avec des géomaticiens pour pouvoir faciliter la modélisation des processus spatialisés dans des systèmes complexes. Une initiation à la modélisation prospective spatialisée et à la construction de scénarios est également proposée.

Compétences visées

- ▶ Niveau 3 : pratique des SIG, compréhension des concepts-clés de la représentation géographique, capacité à définir les données nécessaires et les traitements spatiaux à opérer pour modéliser un problème à dimension spatiale, acquisition de connaissances théoriques et pratiques dans le domaine de la prospective, construction de scénarios et usage de modèles de simulation.

Éléments de contenus

- ▶ 2h CM : Introduction aux SIG : Définition, domaines d'application, principales fonctionnalités, sources de données géographiques, modes de représentation de l'espace (raster, vecteur), structuration de données, référentiels cartographiques.
- ▶ 4h TD : Analyse spatiale en mode vecteur (logiciel ArcGIS) : Étude de cas sur la biodiversité dans des forêts fragmentées
- ▶ 4h TD : Analyse multicritère spatialisée (logiciel ArcGIS) : Étude de cas sur l'implantation d'une nouvelle usine avec utilisation du Model Builder
- ▶ 3h CM : Introduction à la prospective spatialisée : Apport de connaissances théoriques relatives à la prospective, à l'intérêt et l'usage des modèles spatiaux pour représenter sous forme de cartographies des scénarios prospectifs. Illustration avec différents cas d'étude.
- ▶ 3h TD : Construction de scénarios prospectifs spatialisés : Étude de cas sur l'étalement urbain à Toulouse. Travail en groupe.
- ▶ 2h TD : Restitution des scénarios / travaux de groupes : Débat et auto-évaluation sur les scénarios produits. Synthèse sur l'intérêt et les limites liées à la production de scénarios prospectifs spatialisés.

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 18 h
- ▶ Travail personnel (en groupe) : dans le cadre du projet de l'UE7

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : la représentation spatiale est un moyen important de partage interdisciplinaire car elle permet de visualiser et concrétiser

l'étendue et la dynamique des processus à dimension spatiale. Lien avec les UE « Agriculture urbaine » et « Évaluation des territoires »

- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : lien avec dynamique des systèmes et outils mathématiques dans la compréhension des référentiels cartographiques et la qualité d'un géoréférencement

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (18 h) : CM : 5h, TD : 13 h, étude-projet en lien avec UE7
- ▶ Travail personnel : oui

Modalités d'évaluation

- ▶ 1 TD SIG noté + 1 TD sur prospective noté

Personnes ressources

- ▶ David SHEEREN (Maître de Conférences ENSAT), coordinateur de l'UE3-2
- ▶ Romain WALCKER (Ingénieur CNRS)
- ▶ Thomas HOUET (Chercheur CNRS)

UE3-3 Modélisation des systèmes socio-écologiques

Justification et objectifs

La gestion de ressources, renouvelables ou non, à l'échelle d'un territoire constitue un enjeu capital dans nos sociétés. Ce problème s'inscrit dans des systèmes liant de manière étroite dynamiques de l'environnement et dynamiques sociales pour constituer des systèmes dits socio-écologiques (SSE).

Une partie de ce module est consacré aux méthodologies de représentation et d'analyse des systèmes socio-écologiques, avec un accent tout particulier sur l'importance de la spécification du problème, de son contexte, des types de connaissances à intégrer et des moyens de les expliciter, sur les méthodes de sélection et de représentation des acteurs pertinents, et sur la construction de scénarios et leur analyse en vue de décisions de gestion.

Une autre partie permettra d'appliquer ce cadre et de l'illustrer avec l'initiation à une méthodologie de modélisation participative : la modélisation d'accompagnement, destinée à la production de connaissances sur un système socio-écologique et à l'appui à la décision collective. La démarche utilise 3 types de modèles comme objets intermédiaires entre les acteurs de terrain : modèles conceptuels co-construits selon la méthode ARDI (Acteurs Ressources Dynamiques Interactions), jeux de rôles mettant en situation la question traitée, modèles de simulation (notamment multi-agents) permettant de tester des solutions concertées.

Le jeu de rôles est sans doute l'outil le moins connu, or les jeux de rôles sont des outils puissants utilisés dans de nombreux contextes professionnels. Ils sont par exemple mobilisés dans le milieu de la formation, du coaching et du conseil, de la concertation territoriale, ou encore de la recherche scientifique. Ils permettent de générer des apprentissages collectifs, d'outiller le dialogue multi-acteurs, de prendre du recul, d'accompagner le changement au sein d'une équipe de travail, ou encore de simuler des scénarios permettant d'anticiper des crises potentielles. Ce module proposera de tester ce type d'outil et de toucher du doigt les étapes de création nécessaire à leur mise en œuvre.

Cette démarche de modélisation d'accompagnement pourra en partie être appliquée dans le cadre de l'UE7 « projet ».

Prérequis

- ▶ Connaissances en modélisation multi-agent (UE3-1)
- ▶ disponibilité de données environnementales et sociales sur le cas concret du fil rouge (UE7)

Compétences visées

- ▶ Niveau 3 : aptitude à analyser et formaliser les éléments fondamentaux d'un système socio-écologique en vue de la simulation de scénarios pour prendre des décisions de gestion

Éléments de contenus

- ▶ méthodologie d'analyse et de représentation des systèmes socio-écologiques :
- ▶ Territoire, gestion de ressources et systèmes socio-écologiques
- ▶ Approches d'évaluation intégrée (« Integrated Assessment »)
- ▶ Méthodes de spécification du problème et de représentation du système socio-écologique
- ▶ Construction et évaluation de scénarios
- ▶ modélisation d'accompagnement : spécification du problème et de son contexte, co-construction du modèle conceptuel selon la méthode ARDI (diagrammes des Acteurs, des Ressources de gestion, des Dynamiques des processus, et des Interactions), définition et évaluation de scénarios, mise en application sous forme de jeu de rôle

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 25 h

Dimension systémique

- ▶ Ce module pourra éventuellement être remobilisé dans le travail participatif de conception de projet (UE 7).
- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : module d'interface entre les principes systémiques développés dans l'UE2 et le développement de modèles de simulation ; appui sur le module de modélisation et simulation de systèmes dynamiques (formalisme UML)
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : sciences cognitives, conception participative

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (25 h) : CM : 9 h, TD : 16 h, étude-projet et terrain en lien avec UE7
- ▶ Travail personnel : oui

Modalités d'évaluation

- ▶ Évaluation par validation du travail réalisé dans la partie modélisation d'accompagnement

Personnes ressources

- ▶ Claude MONTEIL (Maître de Conférences ENSAT), coordinateur de l'UE3-3
- ▶ Elsa LETEURTRE (Gérante société coopérative LISODE à Montpellier)
- ▶ Marc DECONCHAT (Directeur de Recherche INRA, UMR DYNAFOR)



UE4

MÉTHODES ET OUTILS DE CONCEPTION, D'ÉVALUATION ET DE PILOTAGE



UE4 • MÉTHODES ET OUTILS DE CONCEPTION, D'ÉVALUATION ET DE PILOTAGE

L'appréhension complexe des systèmes et des projets est fondamentale en éco-ingénierie ; des méthodes et des outils appropriés sont ainsi nécessaires. L'objectif de cette UE est d'acquies des méthodes afin de concevoir, d'évaluer et de piloter des systèmes complexes.

Les méthodes d'optimisation multi-objectif et d'aide à la décision multicritère seront présentées afin de concevoir ces systèmes. Ce type de méthode est particulièrement intéressant pour les problèmes d'ingénierie, qui sont multicritères par nature, et pour lesquels les contextes environnementaux et sociaux doivent être pris en compte dès le stade préliminaire d'un projet.

Le Bilan Carbone focalise sur les enjeux énergétiques et climatiques, selon une approche globale et transversale des organisations pour lesquelles il s'agit d'établir une cartographie des émissions de gaz à effet de serre, directes et indirectes, de les quantifier pour imaginer des plans d'action.

Grâce à un partenariat avec l'Institut de Formation Carbone (organisme de formation officiel au Bilan Carbone), le module Bilan Carbone est envisagé comme une formation intégrée, ce qui permettra de délivrer une attestation de formation à chaque stagiaire, à faire valoir auprès des employeurs pour l'obtention de la licence niveau 1 autorisant l'utilisation de la méthode, des outils, de la marque Bilan Carbone, etc., selon les mêmes droits que ceux accordés dans le cadre des formations propres de l'IFC.

L'Analyse du Cycle de Vie, méthode normalisée (ISO-14040), considérée comme la plus aboutie en termes d'évaluation globale et multicritère, sera également présentée. L'ACV se positionne comme un outil d'évaluation environnementale basé sur une approche systémique et comptable qui permet de mesurer les impacts d'un produit, d'un procédé ou d'un service.

Un point clé sera également consacré à la compréhension des critères mis en jeu dans ces études et les risques environnementaux, à travers le comportement et les effets d'agents polluants sur les écosystèmes (écotoxicologie).

Repenser les organisations industrielles de façon à encourager l'économie circulaire est au cœur des préoccupations actuelles et de demain. Un volet important sera consacré à l'écologie industrielle et territoriale à travers des exemples concrets et sa mise en œuvre pratique à l'échelle d'un parc éco-industriel. L'innovation sociale et solidaire y sera abordée ainsi que les freins et les leviers pour sa mise en œuvre. Les outils d'optimisation multi-objectif seront appliqués à la conception d'échanges en eaux entre entreprises.

Enfin, un cycle de conférences sera dédié à l'évaluation des territoires, la pluridisciplinarité nécessaire pour conduire le changement sera abordée via les différents processus d'adaptation (reconfigurations territoriales, réorganisations institutionnelles...) ainsi qu'une initiation aux entretiens semi-directifs.



		Heures
UE 4 : Méthodes et outils de conception, d'évaluation et de pilotage		85
UE 4 - 1	Optimisation multi-objectifs et aide à la décision	4
UE 4 - 2	Bilan Carbone	15
UE 4 - 3	Analyse de cycle de vie	15
UE 4 - 4	Écotoxicologie et évaluation des risques environnementaux	16
UE 4 - 5	Écologie industrielle et territoriale	23
UE 4 - 6	Évaluation des territoires et initiation à l'outil de l'entretien semi-directif	12

Animatrice de l'UE4 : Marianne BOIX (Maître de Conférences ENSIACET)

UE4-1 Optimisation multi-objectifs et aide à la décision

Justification et objectifs

L'objectif de ce module est, dans un premier temps, de présenter les méthodes les plus représentatives d'optimisation multi-objectif (méthodes scalaires, méthodes interactives, méthodes floues ou méthodes exploitant une méta-heuristique) faisant intervenir la notion d'optimalité au sens de Pareto. Mais il s'agit surtout de sensibiliser les étudiants au développement d'une démarche, dont le prérequis indispensable est la formalisation du problème à traiter, impliquant des critères contradictoires. Dans un second temps, les méthodes d'aide à la décision multicritère (méthodes Electre, Prométhée, HAP, TOPSIS...) sont présentées afin de faciliter la prise de décision dans un environnement mettant en jeu un nombre important de critères antagonistes.

Prérequis :

- ▶ Optimisation mono-objectif

Compétences visées :

- ▶ Niveau 3 : mettre en œuvre les techniques d'optimisation multiobjectif en lien avec les outils de modélisation pour tout projet d'ingénierie

Éléments de contenus

- ▶ Un programme MILP (Mixed Integer Linear Programming) déjà écrit dans l'environnement ILOG sera fourni et devra être modifié pour mener à bien les phases d'optimisation grâce au solveur CPLEX®



- ▶ Application réalisée dans l'UE 4-5 relative à l'écologie industrielle : mise en œuvre d'une symbiose optimale basée sur les échanges de flux d'eau entre différentes industries

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 4h

Dimension systémique

- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : écologie industrielle, ACV

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (4h) : cours : 4h

Modalités d'évaluation

- ▶ Rapport de TD long à réaliser en binôme en écologie industrielle : évaluation de l'aptitude à choisir les méthodes d'optimisation et d'aide à la décision les plus adéquates pour un problème donné.

Personne ressource

- ▶ Marianne BOIX (Maître de Conférences ENSIACET)

UE4-2 Bilan carbone

Justification et objectifs

L'activité humaine génère des émissions de gaz qui provoquent un effet de serre additionnel responsable du réchauffement rapide de la planète.

Le bilan d'émissions de gaz à effet de serre permet d'établir une corrélation entre l'élévation de la température planétaire, paramètre global à forte inertie, et les flux matériels qui génèrent des émissions locales. Il propose une méthode d'inventaire et de comptabilisation pour la mise en place d'actions de réduction des émissions. Le Bilan d'émissions de gaz à effet de serre permet également de corréler l'impact climatique et l'économie d'une organisation, en évaluant sa dépendance directe et indirecte à la ressource fossile et sa vulnérabilité au renchérissement du pétrole.

Pour les organisations concernées par la nouvelle obligation réglementaire, un bilan d'émissions de gaz à effet de serre conforme au format exigé peut être extrait d'un Bilan Carbone.

Le Bilan Carbone est un outil essentiel pour la stratégie, le management et l'ingénierie responsables, au regard des enjeux énergétiques et climatiques.

Le cours est une formation intégrée de l'[INSTITUT DE FORMATION CARBONE](#) (IFC) correspondant au premier niveau de formation Bilan Carbone : *Initiation à la méthode V8*. Après le cours, les étudiants disposent des outils et de la documentation technique et méthodologique spécifiques au Bilan Carbone. La validation se traduit par une attestation de formation valorisable auprès d'un employeur.



Prérequis

- ▶ Connaissances générales sur l'effet de serre et le réchauffement climatique
- ▶ Maîtriser Excel

Compétences visées

- ▶ Niveau 2 : être capable d'expliquer les principes de la comptabilisation des émissions de GES
- ▶ Niveau 3 : être en mesure de réaliser soi-même le Bilan Carbone d'une organisation, en interne

Programme

- ▶ Principes méthodologiques du Bilan Carbone
- ▶ Cadrage de la démarche
- ▶ Outils du Bilan Carbone
- ▶ Étude de cas
- ▶ Préconisations et plan d'action
- ▶ Interprétation économique du Bilan Carbone
- ▶ Étapes du bilan
- ▶ Le bilan réglementaire d'émissions de gaz à effet de serre

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 15 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : climat & changement climatique, ressources énergétiques fossiles, ACV, économie
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : approche transversale d'une organisation

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (15 h) : cours : 10 h, TD : 5 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Assiduité et restitution d'un tableur Bilan Carbone après l'étude de cas

Personnes ressources

- ▶ Jean-Yves ROSSIGNOL, AJYR, expert Bilan Carbone, formateur pour l'IFC

UE4-3 Analyse de cycle de vie

Justification et objectifs

Dans un objectif de développement durable, il convient que l'éco-ingénierie puisse disposer d'un outil systémique capable d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit, d'un service, d'une entreprise ou d'un procédé. Selon la logique de pensée cycle de vie (ou ACV), il s'agit d'évaluer, pour pouvoir ensuite la réduire, la pression que l'activité humaine est amenée à exercer sur les ressources et l'environnement, au sens large, tout au long du cycle de vie du produit (service, entreprise, procédé, etc.), de l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie (mise en décharge, recyclage, fermeture, démantèlement...).

Il s'agit de familiariser les stagiaires aux grandes méthodes d'ACV, notamment en leur permettant de transformer des flux en impacts environnementaux potentiels.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées :

- ▶ Niveau 3 : comprendre la démarche d'analyse du cycle de vie, connaître les bases de données (EcoInvent) et les méthodes d'impact (CML, Impact 2002+, etc.), être capable d'analyser et de critiquer une analyse de cycle de vie déjà réalisée, être en mesure d'appliquer la méthode d'analyse du cycle de vie en utilisant un logiciel dédié

Éléments de contenus :

- ▶ Introduction : de l'écobilan à l'ACV, les normes ISO 14040
- ▶ Principe Général de l'ACV
- ▶ Présentation des quatre étapes de l'ACV :
 - 1- définition des objectifs du système :
 - 2- inventaire des émissions et extractions
 - 3- analyse de l'impact environnemental
 - 4- interprétation
- ▶ Méthodologie de réalisation d'une ACV : approche itérative (évaluation préliminaire ou screening, analyse détaillée), calcul « à la main », présentation sommaire des logiciels de calcul existants.
- ▶ L'application consistera à mettre en œuvre une méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie pour écoconcevoir un champ de panneaux solaires photovoltaïques en utilisant, par exemple, le logiciel SimaPro.

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 15 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : enjeux planétaires et anthropiques pour l'éco-ingénierie, Thermodynamique des systèmes auto-organisés, modèles de chaînes logistiques étendues, Bilan Carbone et bilan d'émission GES réglementaire

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (15 h) : cours : 4 h, TD : 11 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Présentation des résultats sous forme de rapport et d'exposé oral à partir d'une étude de cas réalisée avec le logiciel SimaPro

Personnes ressources

- ▶ Ludovic MONTASTRUC (Maître de Conférences ENSIACET)

UE4-4 Écotoxicologie et évaluation des risques environnementaux

Justification et objectifs

Cette unité d'enseignement apporte un socle de connaissances en écologie et en écotoxicologie, afin de préparer les stagiaires à mieux comprendre les enjeux de la maîtrise des procédés et de l'utilisation de composés chimiques, matériaux, déchets... Les connaissances scientifiques abordées au sein de ce module permettent d'appréhender, d'une part, la connaissance des effets sur les organismes, dans le temps et l'espace, des modifications chimiques ou physiques du milieu naturel et, d'autre part, de connaître les outils permettant une analyse des risques dans une démarche prospective.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées :

- ▶ Niveau 2 : Acquisition de connaissances générales pour mieux appréhender les réglementations concernant l'usage et le stockage des composés chimiques, comprendre l'utilité du respect des normes environnementales relatives aux substances chimiques, comprendre l'intérêt de la démarche d'Évaluation du Risque Environnemental
- ▶ Niveau 3 : maîtrise des outils pour l'évaluation de l'effet des contaminants

Éléments de contenus :

- ▶ Écotoxicologie : définitions et paramètres déterminant la toxicité des substances chimiques
- ▶ Les effets des substances chimiques : de la cellule aux communautés
- ▶ Les outils de diagnostics : du biomarqueur aux indices globaux
- ▶ Les tests biologiques d'écotoxicité

Volume horaire

Présentiel : 16 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : enjeux liés à la biodiversité, à la production alimentaire, à l'alimentation, à la production industrielle ; analyse de cycle de vie
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : écologie, chimie et sciences de l'environnement, évaluation des risques environnementaux (physiques et chimiques)

Modalités pédagogique

- ▶ Présentiel (16 h) : cours : 8 h, TD : 8 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Réalisation d'un rapport de synthèse sur l'évaluation de l'impact environnemental liée à un cas d'étude.

Personnes ressources

- ▶ Éric PINELLI (Professeur ENSAT) / Bertrant Pourrut (Maitre de conférences, ENSAT)

UE4-5 Écologie industrielle et territoriale

Justification et objectifs

À la suite de la Conférence environnementale qui s'est tenue en 2013, la France a défini sa deuxième feuille de route pour la transition écologique. L'un des principaux axes de travail est le développement d'une économie dite "circulaire" afin de répondre à l'enjeu majeur de diminuer la consommation de ressources (énergies, matières premières). Cet axe est en accord avec les préconisations de la Commission européenne sur la gestion efficace des ressources. L'écologie industrielle et territoriale y occupe une place significative, en constituant l'axe territorial de l'économie circulaire. Dans sa définition première, l'écologie industrielle permet d'atteindre une organisation des systèmes de production plus rationnelle et plus équilibrée, en essayant d'imiter la structure des écosystèmes naturels. L'accomplissement de ce concept réside typiquement dans la mise en œuvre de parcs éco-industriels (appelés aussi éco-parcs) dans lesquels des entreprises se rassemblent pour partager l'utilisation des ressources naturelles, des matières premières et certains services. L'idée phare de l'écologie industrielle étant de boucler les flux d'énergie et de matières de façon à atteindre un idéal en termes de durabilité et d'équilibre.

L'objectif de cette unité d'enseignement est de permettre aux étudiants d'avoir une bonne compréhension :

- ▶ des enjeux de ressources à l'échelle globale,
- ▶ de leurs interactions avec les problématiques environnementales globales,
- ▶ de leur traduction à l'échelle locale
- ▶ des outils proposés par l'économie circulaire pour mettre en œuvre, à l'échelle du territoire et de l'entreprise, des solutions concrètes et opérationnelles (écologie industrielle et territoriale, planification territoriale de l'économie circulaire, économie de fonctionnalité...)
- ▶ d'analyser la manière dont ces solutions peuvent s'insérer dans une démarche de responsabilité sociétale des entreprises et, par-delà, dans un projet d'innovation technologique, organisationnelle et sociale à l'échelle d'un territoire
- ▶ d'appliquer les outils d'optimisation multiobjectif et d'aide à la décision pour concevoir de façon optimale les échanges inter-entreprises d'un parc éco-industriel
- ▶ d'analyser et d'évaluer les solutions obtenues.

Prérequis

- ▶ Optimisation multi-objectif
- ▶ Méthodes d'aide à la décision

Compétences visées :

- ▶ Niveau 2 : maîtriser les principes pour la mise en œuvre de l'écologie industrielle
- ▶ Niveau 3 : être capable de mettre en œuvre la modélisation et l'optimisation multiobjectif pour la conception des systèmes

Éléments de contenus :

- ▶ Introduction à l'écologie industrielle
- ▶ Présentation des symbioses industrielles dans le monde
- ▶ Freins et leviers pour leur mise en œuvre
- ▶ Application : conception optimale du réseau d'eau d'un éco-parc (TD Long)

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 23 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : optimisation multiobjectif et aide à la décision, analyse de cycle de vie
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : écologie industrielle, écosystème industriel

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (23 h) : cours : 9 h, TD : 14 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Réalisation d'un rapport de synthèse sur un exemple de symbiose industrielle basé sur les échanges d'eaux

Personnes ressources

- ▶ Cyril ADOUE (Cours écologie industrielle)
- ▶ Marianne BOIX (Conception optimale d'un parc éco-industriel)
- ▶ Geneviève NGUYEN (TD approche d'innovations technologiques, organisationnelles et sociales)

UE 4-6 Évaluation des territoires et initiation à l'outil de l'entretien semi-directif

« Changement climatique et globaux : penser à interroger les territoires autrement »

Justification et objectifs

Les modèles climatiques tentent de donner un portrait du futur en dépit des nombreuses incertitudes (calcul, connaissances, choix sociétaux). Il existe cependant d'autres pratiques permettant d'imaginer un territoire dans son évolution future, notamment à travers la prospective territoriale. Néanmoins, notre système de pensée linéaire et rationnel actuel s'avère un véritable frein dès lors qu'il s'agit d'envisager des trajectoires futures qui arrivent à dépasser les enjeux climatiques et ses déclinaisons sociales, économiques et environnementales. Afin d'aller au-delà de cet obstacle, il semble nécessaire de revaloriser les nombreuses aptitudes enfouies en chacun de nous (qualités artistiques, imaginaire, empathie, bienveillance), notamment par le biais de l'imaginaire (le dessin), l'échange oral (le conte) et les interactions collectives (travail en groupes de 3-5). Dès lors, le spectre des possibles s'étale bien au-delà des solutions généralement exposées par les différentes parties prenantes (politiques, architectes, industriels), et des contraintes mises en avant (techniquement infaisable, le juridiquement impossible, socialement non acceptable). Ainsi, dans le contexte actuel de changements globaux dont les changements climatiques ne sont qu'une déclinaison, l'intervention souhaite amener les candidats à prendre conscience des inévitables processus d'adaptations en cours, envisagées ou nécessaires, qui prennent aussi bien la forme de reconfigurations territoriales, de réorganisations institutionnelles ou de restructurations socioéconomiques, et ce, à l'échelle aussi bien individuelle que collective.

Par ailleurs, le besoin de pluridisciplinarité qu'induit le changement climatique pousse à l'utilisation d'outils en dehors de leur discipline de prédilection. C'est ce que propose la deuxième intervention ; une initiation à l'entretien semi-directif qui est un mode classique de collecte de données dans le cadre des études sociologiques ou anthropologiques.

L'intérêt de cet outil est moins la finalité analytique difficile à transmettre en une journée, que l'opportunité d'une nouvelle approche sur un objet. En effet, les étudiants pourront expérimenter la posture d'enquêteur : problématisation, relation asymétrique, en écoute active, dans une mise en situation concrète des principes de l'« agilité ». Un espace dans lequel ils seront invités à saisir un (nouveau) type de données à part entière (discours, récit, expérience, expertise, etc.) et le considérer comme une manière riche, qui donne du sens et dont l'analyse peut-être tout aussi robuste que celle qui ressort de données chiffrées par exemple. D'ailleurs, en filigrane de cette initiation opérationnelle et appliquée, c'est la question de la légitimité des sciences humaines (et particulier la sociologie) dans la construction de l'expertise de ces futurs ingénieurs qui est travaillée.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ favoriser les aptitudes dépréciées (qualités artistiques, imaginaire, empathie, bienveillance) au dépend de celles généralement valorisées (rationalité, pensée linéaire, compétition)
- ▶ mobiliser les aptitudes créatives pour imaginer les devenirs possibles de territoires à partir d'exemples de collectivités françaises
- ▶ application de la pensée complexe et de ses corolaires (dynamique, systémique, décloisonnement sectoriel/thématique) sur des exemples concrets
- ▶ se familiariser avec l'intégration des enjeux climatiques dans les problématiques territoriales (sociales, économiques, environnementales)
- ▶ appropriation de l'outil de l'entretien semi-directif
- ▶ mobiliser les principes de l'agilité en situation d'entretien
- ▶ développer l'appétence pour la pluridisciplinarité en questionnant la scientificité des disciplines

Programme

- ▶ Introduction à la notion d'adaptation aux changements climatiques à travers son historique politique, scientifique et sémantique
- ▶ Introduction à la prospective territoriale à travers un atelier de groupe qui suit la méthode modifiée du Backcasting
- ▶ Initiation à l'entretien semi-directif :
 - ▶ Observation des codes de l'entretien semi-directif.
 - ▶ Origine de l'outil et insertion dans la méthode sociologique.
 - ▶ Travail en groupe projet sur une ébauche de guide d'entretien et réalisation de l'entretien avec l'intervenante en sa qualité de sociologue, médiatrice scientifique, citoyenne, habitante, consommatrice, etc.
 - ▶ Initiation au travail d'analyse d'un entretien à partir de retranscriptions
 - ▶ Illustration d'une utilisation de l'entretien dans le cadre d'une étude



- ▶ Conclusion de la journée par un débat

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 12 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : climat & changement climatique, ressources énergétiques fossiles, ACV, économie
- ▶ Travail collectif sur les interrelations entre problématiques à l'échelle d'une collectivité
- ▶ Initiation à l'entretien semi-directif :
 - ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : climat & changement climatique,
 - ▶ Invitation à l'utilisation de l'outil dans les projets tutorés (UE7)
 - ▶ Écologie industrielle

Personnes ressources

- ▶ Guillaume Simonet, consultant et chercheur indépendant à www.abstraction-services.com.
- ▶ Camille Jonchères, sociologue et médiatrice scientifique



UE5

GOUVERNANCE ET ÉCONOMIE DE LA SOUTENABILITÉ



UE5 • GOUVERNANCE ET ÉCONOMIE DE LA SOUTENABILITÉ

Quelle que soit la nature technique d'un projet envisagé selon les principes et les méthodes de l'éco-ingénierie, la dimension humaine est partie intégrante de la conception et de l'élaboration. Il convient donc de connaître les fondamentaux sur les organisations humaines, du point de vue des relations, de leur pilotage, et de l'économie. La sociologie des organisations donne à comprendre comment les acteurs construisent et coordonnent des activités organisées, orientées, par exemple, vers un but économique. L'éco-ingénierie envisage la complexité de l'humain comme moteur et atout dans la démarche de conception pour contribuer à impulser des changements la conduite des organisations et des projets. Au-delà de l'éco-ingénierie technique, il peut être envisagé une éco-ingénierie des relations, pour renouveler les méthodes de management et pour donner un second souffle à la RSE après le bilan d'une dizaine d'années. Sur le plan économique, la prise en compte des contextes et des environnements replace la recherche du profit dans une perspective plus équitable, sobre en carbone, en énergie et en ressources naturelles, avec l'économie de fonctionnalité, l'économie circulaire, l'économie sociale.

Cette unité d'enseignement se propose de développer des connaissances et des capacités autour des thèmes suivants :

- ▶ interprétation des jeux d'acteurs ;
- ▶ intégration des projets dans les contextes socio-économiques ;
- ▶ management d'équipes, innovation managériale ;
- ▶ développement de la responsabilité sociétale ;
- ▶ économie alternative (économie de fonctionnalité, économie circulaire, économie sociale)
- ▶ prospective

		Heures
UE 5 : Gouvernance et économie de la soutenabilité		65
UE 5- 1	Organisations et coopération	16
UE 5 - 2	Innovation et soutenabilité	9
UE 5 - 3	L'agriculture urbaine : un vecteur d'écologisation des systèmes alimentaires	8
UE 5 - 4	Économie de l'environnement	6
UE 5 - 5	Éthique	10
UE 5 - 6	Anthropologie de la nature	10
UE 5 - 7	Prégnance du social	6

Animateur de l'UE5 : Pascal ROGGERO (professeur Université Toulouse Capitole)



UE5-1 Organisations et coopération

D'une conception complexe des organisations à des pratiques managériales renouvelées

Justification et objectifs

Cet enseignement s'articule en deux parties. La première, d'ordre plus théorique, propose une conception complexe de l'organisation respectant les principes du développement durable. La seconde, plus empirique et pratique, montre qu'une telle conception de l'organisation conduit à des pratiques managériales renouvelées.

1. Partant du constat que la conception instrumentale (ou simplifiée) de l'organisation qui prédomine aujourd'hui dans les théories et les pratiques managériales empêche de percevoir et concevoir les dimensions processuelle et coopérative du phénomène organisationnel, il est proposé de la déconstruire pour la compléter par une conception inspirée tant par la pensée complexe que par certaines théories des sciences sociales. Le développement durable qui entend articuler les dimensions économique, sociale et environnementale semble y conduire logiquement alors même que les organisations productives, de plus en plus confrontées à des environnements concurrentiels, évoluent majoritairement dans le sens opposé d'un approfondissement de la conception instrumentale (réduction des coûts, optimisation de l'utilisation des ressources y compris humaines, rationalisation des procédures s'imposant au travail, etc.). S'il est besoin d'outils, il convient de critiquer et de relativiser les mérites qu'on leur prête. En effet, quand l'organisation se représente à elle-même exclusivement au travers d'instruments ou d'outils inévitablement simplificateurs, elle travaille à une forme de mutilation des relations concrètes de travail en son sein ainsi qu'à un affaiblissement de ses propres capacités d'adaptation et d'innovation qu'elle prétend pourtant favoriser. Dans ces conditions, il est proposé d'enrichir la conception de l'organisation en mobilisant plusieurs corpus théoriques et disciplinaires notamment :

- ▶ des apports de l'approche systémique avec, entre autres, la loi de la variété requise de R. Ashby
- ▶ de la pensée complexe élaborée par Edgar Morin notamment son concept princeps d'« auto-éco-réorganisation »,
- ▶ de certains apports de l'étude des systèmes complexes principalement sur l'auto-organisation et les réseaux distribués
- ▶ et de théories de sciences sociales permettant de rendre compte de la coopération essentiellement les approches de la justification, du don, du sensemaking, de l'organisation apprenante et de l'acteur-réseau.

2. Cependant, il existe des contre-exemples à cette évolution générale vers une conception toujours plus instrumentale de l'organisation, notamment dans les entreprises du secteur du numérique. En nous appuyant sur ces derniers, nous montrerons que l'on peut concevoir et faire fonctionner l'organisation productive différemment. Ces illustrations permettront, dans une certaine mesure, d'exemplifier la conception complexe de l'organisation proposée qui se traduit par des préconisations managériales identifiables tant en termes de structures que de fonctionnements organisationnels.

Le manager partageant, peu ou prou, une telle conception devrait ainsi se montrer attentif à un certain nombre de principes d'action dans sa pratique. Au premier chef, il devrait être

amené à prendre conscience, identifier et délibérer sur ses propres représentations et les biais qu'elles impliquent. Il devrait s'attacher à favoriser les conditions structurelles, informationnelles, communicationnelles et comportementales de l'auto-organisation. A ce titre la démarche de projet mérite notamment d'être discutée. La coopération - et pas simplement la coordination - apparaît ici tout à fait cruciale. L'ouverture éco-organisationnelle constitue une dimension de plus en plus prégnante pour le manager qui, néanmoins, ne devrait pas la penser indépendamment de l'auto-organisation. Enfin, le changement ne devrait pas être conçu comme un moment particulier de l'organisation mais comme un processus permanent de réorganisation lié aux deux autres dimensions de la conception complexe de l'organisation.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ Niveau 2 : comprendre l'organisation productive comme un système dans un environnement, en identifier les principaux enjeux et leur interdépendance
- ▶ Niveau 3 : mettre en œuvre des projets comme des processus auto-éco-réorganisationnels

Éléments de contenus

- ▶ L'organisation comme une réponse au problème de l'action collective. Théorie des organisations et principales écoles de pensée
- ▶ Limites de la conception instrumentale et approche complexe de l'organisation.
- ▶ Les principes d'action au service d'un management complexe

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 16 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : pensée complexe, thermodynamique des systèmes auto-organisés, modélisation d'accompagnement
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : sociologie, management, économie, psychologie

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (18 h) :
- ▶ Travail personnel : 18 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Rapport d'étude de cas

Personnes ressources

- ▶ Pascal ROGGERO (Professeur Université Toulouse Capitole)

UE5-2 Innovation et soutenabilité

Justification et objectifs

En période de crise, l'innovation occupe une place centrale et déterminante pour le développement économique. Mais l'idée même d'innovation (produit, procédé) pose problème dès lors qu'elle peut tout aussi bien appeler au renforcement des systèmes technico-économiques en place qu'entraîner leur disqualification voire une rupture totale avec ces systèmes dominants. La question de la soutenabilité des systèmes socioéconomiques renouvelle cependant cette notion. Le cours présente plusieurs facettes de ce renouvellement en passant par une approche multi-niveaux de la transition sociotechnique vers la soutenabilité.

Il s'agira ensuite de partir des bases de l'économie de l'innovation et de sa diffusion puis d'explorer les pistes ouvertes par les questions de soutenabilité posées à l'économie d'un pays comme et aux entreprises.

La dernière partie propose un atelier dédié aux questions de management de l'innovation, il sera notamment question « d'open-innovation ». Il s'agira de produire une étude comparée des méthodes de créativité à travers le prisme de l'éco-conception.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ Niveau 1 : prendre connaissance des conceptions de l'innovation et du changement sociotechnique dans un contexte de soutenabilité
- ▶ Niveau 2 : identifier les méthodes liées à la conduite de projet innovant dans un cadre de soutenabilité

Éléments de contenus

- ▶ Notions sur la transition, l'innovation, fonctionnalité, open-innovation
- ▶ Ateliers expérimentiels sur les méthodes d'open-innovation

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 9h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : liens étroits avec les autres modules de l'UE
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : économie, sociologie, politique, gestion, management

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (9 h) : cours : 6 h, TD : 3 h / Travail personnel : 5 h

Modalités d'évaluation

- ▶ Validation du module : résultat des ateliers

Personnes ressources

UE5-3 L'agriculture urbaine : un vecteur d'écologisation des systèmes alimentaires

Mots clés : Agriculture urbaine ; Transition écologique ; Dynamiques sociales inclusives ; Système alimentaire ; Santé environnementale

Justification et objectifs

Il est estimé qu'en 2050 deux personnes sur trois vivront en zones urbaines (FAO 2015). Cette croissance urbaine accélérée fait peser des pressions sur l'environnement et la santé publique, et contribue à accroître la pauvreté et l'exclusion sociale (Michel et Ribardièrre 2017). Or, l'agriculture urbaine (AU) apparaît comme un vecteur d'écologisation des pratiques, de transitions multisectorielles et de réduction des inégalités écologiques (Dumat et al., 2019a). Pratiquée par 800 millions de personnes, elle fournit en effet des aliments frais, génère des emplois, recycle des déchets, crée des ceintures vertes (Glatron, 2016), favorise le lien social et l'alimentation durable (Calais et al. 2018). L'AU est polymorphe et multiscale (Bories et al. 2018 ; Ademe 2017) : jardins privés « zéro phyto » pour promouvoir la biodiversité (<http://adopteunherisson.bio/>); exploitations hybrides de maraichage urbain (production, éducation à l'environnement et insertion professionnelle), exemple de l'Arche en Pays toulousain; fermes aquaponiques basées sur l'économie circulaire (Lemoinier et al., 2019); dispositifs de culture en conditions contrôlées, hors sol et ciel de Cycloponics ou projet « Digital Urban Farming », première ferme urbaine verticale digitale au monde développée par la société Atos grâce à un financement interministériel. L'AU mondiale se développe (Contesse et al., 2018) car elle rend de multiples services : production alimentaire locale, valorisation des déchets, renforcement des liens sociaux, gestion participative des territoires (Vandenbroucke et al. 2018), éducation à l'environnement (Dumat et al., 2018), autonomisation des citoyens vers plus de justice alimentaire (Carolan 2018) et accroissement de la résilience des villes (Ferreira et al. 2018). Le tableau d'une AU magique qui engendrerait des villes jardins (Consalès et Dacheux-Auzière, 2018) permettant de « retrouver un paradis perdu » est cependant à nuancer ! Trois facteurs peuvent en effet limiter son développement : conflits d'usage pour l'espace (Brin et al. 2017) ; dynamique sociale insuffisante (Blanchard 2017) et/ou pollutions des écosystèmes avec des conséquences environnementales et sanitaires via les productions alimentaires de l'AU (Dumat et al., 2019 b & c).

De plus, les villes étant densément peuplées, la probabilité d'exposition humaine à des polluants est élevée. C'est pourquoi, en France depuis 2017, la loi n° 2015-992 (article 68 de la loi de transition énergétique) impose l'objectif zéro pesticide à l'État, aux collectivités locales et établissements publics pour l'entretien des espaces publics. La commercialisation et la détention de produits phytosanitaires à usage non professionnel ont été interdites en janvier 2019 : 17 millions de jardiniers amateurs sont concernés par ces changements de pratiques avec des conséquences plus larges d'écologisation de leurs pratiques (Miguet 2017). Des scénarios fréquents d'exposition aux polluants urbains sont l'ingestion d'eau et la consommation de légumes pollués (Xiong et al., 2018 ; Shahid et al., 2019).

L'alimentation est un sujet crucial (Augustin-Jean et Poulain, 2018) qui cristallise des questionnements liés à la santé (humaine et environnementale) et aux liens sociaux. Les maires en ont fait un fil conducteur pour dynamiser et structurer leurs territoires travaillant en

réseaux des villes françaises (France urbaine, 2018) et du monde grâce au « Milan Urban Food Policy Pact » (MUFPP 2015). Or, sur les thèmes intimement liés de l'alimentation durable et de la santé environnementale, l'AU favorise l'éducation inclusive (Dumat et al. 2017a) et la « pédagogie par projet » (Reverdy 2013). Dans un contexte de conflits d'usage sur les rares espaces urbains disponibles (Melé et al., 2003), l'AU apporte des solutions concrètes aux aspirations écologiques des citoyens : favorise l'émancipation, la créativité et l'intelligence collective, soulève des questions inédites en raison des contraintes liées au milieu urbain. Un atout majeur de l'AU naît de la nécessité des porteurs de projet et financeurs à travailler en amont la phase cruciale de l'adhésion au projet des citoyens (Cerema, 2018) grâce à des méthodes de concertation et référentialisation trans-sectorielles et transdisciplinaires (Marcel et Bouillier-Oudot 2011), mobilisation d'outils originaux issus de la recherche pour organiser les échanges entre les acteurs concernés (réflexivité, focus groupe, théâtre forum, etc.). C'est pourquoi, cette UE5-3 explore les atouts et les limites de l'AU comme vecteur de dynamiques sociales inclusives pour l'écologisation des systèmes alimentaires selon trois axes complémentaires : alimentation durable, santé environnementale et éducation inclusive. Des exemples de projets d'AU illustrent ces dynamiques sociales à l'œuvre.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ Niveau 1 : prendre connaissance des conceptions de l'innovation et du changement sociotechnique dans un contexte de transitions écologiques illustrées par les dynamiques de projets d'agricultures urbaines (AU).
- ▶ Niveau 2 : identifier les méthodes liées à la conduite de projets interdisciplinaires innovants d'AU

Éléments de contenus

- ▶ Notions sur l'agriculture urbaine, la transition écologique, les liens environnement-santé-société-risques
- ▶ Ateliers expérientiels sur les méthodes de co-construction des projets d'AU

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 8h
- ▶ Liens environnement-santé-société et gestion des risques (C. DUMAT) : 8h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : sciences d'ingénierie des systèmes

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (8h) : cours et TD

Modalités d'évaluation

- ▶ Exposés argumentés sous forme de théâtre forum (éducation populaire, démocratie participative)

Personne ressource

- ▶ Camille DUMAT, Professeur Université de Toulouse INP-ENSAT, CERTOP (CNRS-UPS-UT2J), Experte Ministère Transition Écologique et Solidaire et ANSES, Présidente du Réseau-Agriville, VP Association Française d'Agronomie

UE5-4 Économie de l'environnement

Justification et objectifs

D'après le dernier rapport du GIEC, notre environnement naturel est en danger. La destruction de la couche d'ozone, la perte en biodiversité, la disparition d'espèces animales et végétales, la pollution des mers, océans, lacs, la destruction des habitats ne sont que des exemples de la dégradation de la Nature causée par l'Homme. Or les conséquences pourraient être terribles pour le bon fonctionnement de notre société.

Cette UE vise à expliquer comment les sciences économiques s'emparent de cette problématique. Plus précisément, l'UE pose les questions suivantes :

- ▶ comment les questions environnementales sont intégrées dans les modèles d'économie néoclassiques ?
- ▶ Comment on évalue les conséquences sur notre société ?
- ▶ Quelles sont les solutions proposées par les économistes ?

Nous nous attacherons à exposer les solutions issues des théories classiques contemporaines mais aussi celles des modèles d'économie institutionnelles.

Prérequis

- ▶ Avoir suivi des cours de micro et macro économie niveau 1. Avoir des connaissances sur les problématiques environnementales.

Compétences visées

- ▶ Être capable de comprendre et d'utiliser l'analyse économique pour résoudre les problèmes environnementaux, comprendre le processus de politique économique, être capable d'appliquer des théories et des outils économiques, avoir une pensée critique, intégration du point de vue pluridisciplinaire dans une analyse économique.

Éléments de contenus

- ▶ L'économie et l'environnement
- ▶ La notion d'efficacité de marché
- ▶ L'évaluation économique et les politiques publiques

Volume horaire

- ▶ 3 séances de 2h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : pensée complexe, modélisation d'accompagnement
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : sociologie, management, psychologie

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (6h) : cours et TD

Modalités d'évaluation

- ▶ Validation

Personnes ressources

- ▶ Nicola Gallai, Enseignant Chercheur, ENSFEA, LEREPS

UE5-5 Éthique

Justification et objectifs

Le cours vise 3 objectifs entremêlés :

- ▶ la prise de conscience des enjeux éthiques liés à l'éco-ingénierie
- ▶ la capacité à envisager sa propre démarche éthique face à ses enjeux
- ▶ la capacité à débattre des enjeux éthiques avec différents interlocuteurs, à commencer par ses camarades

Interactif, le cours abordera différentes thématiques :

- ▶ Définitions et aspects institutionnels de l'éthique en France et dans le monde
- ▶ Éthique et technique
- ▶ Responsabilité(s) et engagement
- ▶ Éthique et nature

La séance consacrée à la nature comportera une conférence réalisée par Nathalie Serre sur la notion de « Land Ethics » et de ses deux impératifs : "penser comme une montagne" et "agir comme un chasseur léger". La conférence présentera cette éco-philosophie et l'éthique qui en découle, permettant de mieux situer les visions anthropocentristes et biocentristes sur les questions écologiques.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ Être capable de questionner un énoncé avant de proposer une solution
- ▶ Être capable de réaliser un choix technique ou sociotechnique en connaissance de cause
- ▶ Être capable d'adopter une démarche personnelle mais non individualiste sur les questions éthiques

Éléments de contenus

- ▶ Charte d'éthique Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF)

Volume horaire

- ▶ Présentiel 10h

Dimension systémique

- ▶ Comprend que le paradigme de la complexité introduit de fait l'éthique dans la conception des projets. "l'éthique c'est naturel et déjà inclus"

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (12h) : cours et TD

Modalités d'évaluation

- ▶ Validation

Personnes ressources

- ▶ Béatrice Jalenques-Vigouroux, Enseignante Chercheuse, INSA Toulouse

UE5-6 Anthropologie de la nature

Justification et objectifs

La dimension anthropologique ne saurait être ignorée quand il s'agit de développement durable. En effet, Philippe Descola (2005) a bien montré tout ce que la démarche technico-économique devait à ce qu'il appelle le « naturalisme ». En d'autres termes, cette idée que l'humain étant supérieur à la « nature », il se comporte à son égard comme « maître et possesseur », dans une logique d'exploitation de ressources qui ne pose problème que parce qu'elles s'épuisent et/ou que leur utilisation pourrait induire des effets négatifs pour les humains. Les ingénieurs n'ont généralement pas conscience de ce fondement ontologique à leurs pratiques aux autres. Un cours sur l'anthropologie de la nature permet qu'ils l'identifient, le pensent et le relativisent.

Prérequis

- ▶ Aucun

Éléments de contenus

- ▶ Introduire l'ontologie dite naturaliste (la dualité entre nature et culture qui caractérise les sociétés occidentales) comprendre la façon dont elle a émergé, sa façon de catégoriser les éléments de nature et de culture.
- ▶ Mettre en crise cette ontologie : montrer les avancés qu'elle a permis mais également les rapports de domination qu'elle fait émerger à l'échelle internationale. Ici un regard sera porté sur les autres types d'ontologies qui existent de par le monde : les sociétés animistes, et totémiques). En comprenant davantage sur ce qui fait diversité dans les pays du Sud, il est proposé des voies de dialogue entre "différents mondes" : une trajectoire tant scientifique que politique que l'on appelle "l'écologie relationnelle".
- ▶ Illustration avec des outils et à travers des exemples précis (les espaces naturels protégés, les espaces ruraux, les liens villes - campagnes) pour dépasser la dualité nature / culture dans les projets d'aménagement et les façons de penser un territoire.

Volume horaire

- ▶ Présentiel 10h

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (10h) : cours participatifs

Modalités d'évaluation

- ▶ Validation

Personnes ressources

- ▶ Damien Deville, Doctorant en géographie et anthropologie de la nature, Coprésident AYYA



UE5-7 Prégénance du social

Justification et objectifs

Doter les étudiants d'une culture minimale de sciences sociales apparaît comme un impératif si on veut les former au développement durable. Or, pour la plupart, les étudiants de la formation n'ont qu'un rapport très lointain avec cet univers scientifique. S'ils vivent dans la société, le rapport qu'ils entretiennent avec elle est un rapport vécu mais rarement réflexif. Sans outils cognitifs spécifiques, la connaissance du monde social se résume à l'intuition de le comprendre puisqu'on vit à l'intérieur. Il s'agit, dès lors, de leur montrer comment on peut prendre la société comme un objet scientifique et démontrer la prégénance du social dans des contextes où la figure de l'individu souverain apparaît comme l'idéologie de l'heure.

Prérequis

- ▶ Aucun

Volume horaire

- ▶ Présentiel 6h

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel (6h) : cours et TD

Modalités d'évaluation

- ▶ Validation

Personnes ressources

- ▶ Pascal ROGGERO (Professeur Université Toulouse Capitole)





UE6

ACTIVITÉS DE MISE EN SITUATION

UE6 • ACTIVITÉS DE MISE EN SITUATION

La mission de l'ingénieur, responsable de projets et de groupes, nécessite classiquement une bonne compréhension du fonctionnement humain et repose sur le savoir-faire relationnel.

L'ouverture d'esprit, la curiosité, l'esprit critique, la créativité et la résilience sont des aptitudes essentielles lorsqu'il s'agit d'innover dans un champ de contraintes de plus en plus important.

Les capacités personnelles de l'ingénieur sont déterminantes pour :

- ▶ impulser une dynamique positive de changement d'ordre éthique, conceptuel, méthodologique, organisationnel, relationnel, technique... ;
- ▶ faire preuve d'esprit critique et de créativité ;
- ▶ aider son environnement à créer du lien et donner plus de sens aux métiers.

L'ingénieur doit être capable de faire partager des valeurs, il doit être influent, savoir déjouer les résistances au changement, etc. Ces aptitudes requièrent autant le savoir-être que le savoir-faire. La pédagogie, la confiance en soi, la ténacité lui seront notamment des qualités indispensables qui nécessitent, certes, une compréhension étendue de l'être humain sur les plans anthropologique, psychique, cognitif et culturel, mais qui demandent impérativement un apprentissage par des expériences de vie qui conduiront l'ingénieur à affronter ses peurs, à maîtriser le stress, à découvrir ses forces et ses limites, à dépasser les échecs, à prendre des risques, à gagner confiance en soi, à acquérir la force intérieure du pionnier.

Les activités de mise en situation (AMS) relèvent classiquement de l'autonomie, de la mobilité transversale, du savoir écrire, de la capacité à travailler en équipe, de l'aptitude à organiser son travail, de la capacité à apprendre, de la prise en compte des aspects éthiques, etc. Dans le cadre de l'éco-ingénierie, les aptitudes suivantes sont également importantes :

- ▶ capacité à se projeter positivement dans un futur incertain, instable, risqué ;
- ▶ capacité à forger du sens pour soi et pour la collectivité ;
- ▶ capacité à accompagner un collectif dans un changement de paradigme (changement de changement, rupture, donc générateur de déni, de peur et de résistances) ;
- ▶ capacité à déconnecter sa motivation et son action des signaux positifs et des gratifications externes («mental de pionnier») ;
- ▶ aptitude à la résilience («mental de résistant») ;
- ▶ aptitude à s'insérer dans toutes les organisations et leurs cultures (capacité à faire preuve de mimétisme sans l'écueil du conformisme) ;
- ▶ esprit critique ;
- ▶ aptitudes à la pédagogie (savoir percevoir et prendre en compte «le moi d'autrui») ;
- ▶ aptitude à la créativité et goût pour l'expérimentation et l'innovation ;
- ▶ se connaître soi-même (forces, faiblesses, limites).

Ces aptitudes ne s'apprennent pas intellectuellement : elles se vivent et s'incorporent au long de processus d'apprentissage par le vécu d'expériences.



		Heures
UE 6 : Activités de mise en situation		72
UE 6- 1	Créativité	14
UE 6 - 2	Innovation responsable	8
UE 6 - 3	Activités physiques à dimension psychosociale	15
UE 6 - 4	Atelier initiation à la pleine conscience	18
UE 6 - 5	Langues (anglais)	17

Animatrice de l'UE6 : Émilie PRAT (enseignante INP)

Moyens et méthodes pédagogiques

- ▶ Mise en situation, expérimentation individuelle et collective, engagements voire défis physique et émotionnel sur des projets originaux : créations dansées, cohésion collective à travers une randonnée en montagne. Équipement sportif de l'INP et de l'ENM.
- ▶ En langue, travail en demi-groupe (répartition selon niveau), l'oral est mis en avant avec des exposés individuels.

UE6-1 Créativité

Justification et objectifs

Le monde est de plus en plus globalisé et néanmoins les métiers sont de plus en plus spécialisés. Pour conférer cohérence et sens à l'activité économique, il devient crucial de développer la transdisciplinarité. Les organisations sont demandeuses de médiateurs capables de comprendre plusieurs langages et domaines de compétence, de cerner les enjeux globaux et d'insuffler la vision et l'énergie pour faire aboutir des projets complexes. Ces compétences requièrent une certaine hardiesse intellectuelle et comportementale que peut conférer l'aptitude à la créativité.

Il s'agira non seulement de délivrer des connaissances sur la créativité, ses contraintes, et son processus mais surtout de mettre en situation expérimentale de création.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ Niveau 2 : connaître les principes de stimulation de la créativité, dans des situations de recherche individuelle et/ou collective
- ▶ Niveau 3 : être capable d'inventer des possibles et faire un choix de réponse



- ▶ Niveau 4 : être capable de fournir une réponse pertinente et originale ainsi que de formuler des critiques collaboratives, prendre conscience des possibles au-delà de l'idée de solution unique

Éléments de contenus

- ▶ Expérimenter les différentes étapes de la création
- ▶ Recherche permanente de nouveauté : Innovation, Originalité
- ▶ Brainstorming
- ▶ Improvisation
- ▶ Composition collective
- ▶ Analyse des actions à travers les composantes du mouvement : corps, temps, espace, énergie, autrui comme partenaire et comme auditeur/spectateur
- ▶ S'engager dans les rôles sociaux de danseur/acteur, chorégraphe/compositeur et spectateur sensible et critique,
- ▶ Apports culturels et historiques sur l'expression de la créativité en art chorégraphique

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 14 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : La créativité se déroule essentiellement en début de cursus et permet de servir de facilitatrice interdisciplinaire pour l'ensemble des UE de la formation
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : Le croisement des différentes disciplines est inhérent à la pratique d'un art, d'un sport ou de la médiation de pleine conscience, pratique intégrative par excellence.

Modalités pédagogiques

- ▶ TD : 17h

Modalités d'évaluation

- ▶ Intégrée au projet, composition collective à présenter devant le groupe, engagements émotionnel et moteur, évaluation par validation.

Personnes ressources

- ▶ Emilie PRAT (Enseignante Département des Sports, responsable du pôle artistique)

UE6-2 Innovation responsable

Justification et objectifs

- ▶ Connaître les principes fondamentaux de l'innovation responsable.
- ▶ Objectifs et les méthodes
- ▶ Découvrir des bonnes pratiques à travers des exemples d'entreprises

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ La mise en œuvre du développement durable dans les entreprises.
- ▶ Comment acquérir et conserver une longueur d'avance dans un environnement de plus en plus complexe et changeant ?
- ▶ Comment co-construire de nouvelles innovations dans ce contexte collaboratif complexe ?

Éléments de contenus

- ▶ Qu'est-ce que l'innovation ?
- ▶ Enjeux du développement durable dans les processus d'innovation
- ▶ Innovation responsable : pour qui et pour quoi ?
- ▶ Modèles et exemples d'innovation responsable
- ▶ Méthodes et outils pour l'innovation responsable
- ▶ Outils de la créativité : au service de quoi, pour qui et comment ?

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 8 h

Modalités pédagogiques

- ▶ Présentiel : 4h cours théorique
- ▶ TD : 4h étude de cas en sous-groupe et expérimentation en créativité

Modalités d'évaluation

- ▶ Intégrée au projet, co et auto évaluation

Personne ressource

- ▶ Sylvie SESE (animatrice HOPYNITY)

UE6-3 Éducation physique et sportive

Justification et objectifs

Certaines activités physiques sont des occasions d'expériences sur soi, et au sein d'un collectif. Apprendre par l'expérience, hors situation professionnelle, place la personne dans des situations réelles de résolution de problèmes qui forgent la capacité de transposition de ces aptitudes acquises sur d'autres registres (valeur « métaphorique » de l'expérience). Des exercices faisant appel aux dimensions corporelles, émotionnelles, sociales et intellectuelles révèlent le fonctionnement d'une personne et d'un groupe et permettent d'expérimenter autrement la complexité tout en développant la connaissance de soi, des autres et de la nature.

Prendre des initiatives, relever des défis, s'engager pour accomplir un projet, se dépasser, accroître la confiance en soi, s'adapter à autrui sont autant de qualités utiles à des profils d'ingénieur en situation de pionniers.

Prérequis

- ▶ Aucun

Compétences visées

- ▶ Niveau 1 : connaissance de soi : être capable de s'engager tout en gérant de sa vie physique en toute sécurité

- ▶ Niveau 2 : se connaître au sein d'un collectif, être capable d'entrer dans différents rôles sociaux pour l'accomplissement d'un projet gérer sa présence, son attention dans le contexte,
- ▶ Niveau 3 : être moteur, acteur, facilitateur à la réalisation du projet ou de l'expérience collective.

Éléments de contenus

- ▶ Se connaître dans différents milieux (course d'orientation en milieu naturel/ escalade en duo/ activité d'opposition en duel), être capable de gérer ses émotions, de s'engager, de persévérer,
- ▶ Se connaître face à autrui : entre aide, coopération, responsabilité, coacher.
- ▶ Connaissance du milieu pour sortie course d'orientation : lecture de carte, décider, s'organiser, sécurité, anticipation.

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 15 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : Constitution d'un groupe classe et d'une cohésion dans le défi sportif et une sortie hors du cadre de l'école.
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : Émergence de la transdisciplinarité par l'engagement de chacun des éléments individuels pour amener l'ensemble du groupe au bout de l'effort.

Modalités d'évaluation

- ▶ Validation qui tiendra compte de la qualité et de la pertinence de l'engagement dans ces situations sportives et sociales

Personnes ressources

- ▶ Émilie PRAT (Département des sports de l'INP)
- ▶ Olivier PRATVIEL (Département des sports de l'INP)
- ▶ Aurélie BAUDIER, Isabelle GIRALDO (Atelier de pleine conscience)

UE6-4 Atelier d'initiation à la pleine conscience

Justification et objectifs

De l'égo à l'éco : Transition intérieure et perspective pour un changement social et un développement durable. Comment tisser des liens entre la transition intérieure et extérieure, passer d'une culture individualiste à un monde solidaire ?

La qualité de la solution que nous créons dans n'importe quel système social dépend souvent de la qualité de présence, d'attention et de conscience des participants du système. La pratique de la pleine conscience peut être transformative pour les individus, les communautés et la société, car elle va aider à développer une qualité de présence attentive, ouverte et bienveillante.

Lors de cette formation nous allons pratiquer et faire des expériences pour consolider notre triple lien : le lien à soi, le lien à l'autre et le lien à la nature. En tissant cette triple connexion,

nous devenons des individus beaucoup plus résilients, créatifs pour une société plus solidaire, harmonieuse, pacifiste et juste.

Cet atelier est basé sur la pleine conscience, l'éco-psychologie, le changement de paradigme et l'intelligence collective.

Prérequis

- ▶ Aucun

Éléments de contenus

- ▶ Le lien à soi
- ▶ Apprendre à se mettre à l'écoute de soi par l'attention à la respiration.
- ▶ Découvrir des pratiques de retour à soi.
- ▶ Prendre conscience de nos schémas habituels et exercer notre capacité à sortir de ces automatismes corporels, cognitifs et émotionnels pour être davantage présent à sa propre vie.
- ▶ Le lien à la nature
- ▶ Notion d'interdépendance : prendre soin de la terre c'est prendre soin de soi.
- ▶ Cultiver notre engagement écologique et le développement durable, prendre conscience de la responsabilité de nos actions.
- ▶ Le lien aux autres
- ▶ Cultiver la pratique du dialogue en conscience
- ▶ Développer notre sentiment de gratitude, de générosité et de réciprocité
- ▶ Co-initier des projets
- ▶ Utiliser les outils d'intelligence collective pour co-créeer des projets.

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 18 h

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules :
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière :

Modalités d'évaluation

Personnes ressources

- ▶ Aurélie Baudier, Psychopédagogue / Instructrice en mindfulness (MBSR), mindfulway.be
- ▶ Isabelle Giraldo, Instructrice mindfulness et formatrice BNB (Bonheur National Brut), Coordinatrice pédagogique de Graines d'Emergences

UE6-5 Langues (anglais)

Justification et objectifs

- ▶ Consolidation des connaissances de la langue anglaise et pratique des compétences de communication (compréhension et expression). Enrichissement culturel et interculturel.

Prérequis

- ▶ Un niveau minimum proche de B1 (CECRL) est souhaité.
- ▶ Les stagiaires sont regroupés par niveau.



Compétences visées

- ▶ Consolidation des connaissances de la langue anglaise et pratique des compétences de communication (compréhension et expression). Enrichissement culturel et interculturel.
- ▶ Acquisition du vocabulaire spécifique au développement durable et à l'éco-ingénierie.

Éléments de contenus

- ▶ Pratique des compétences essentielles de communication, notamment orales :
- ▶ travaux de compréhension de l'oral et de l'écrit associés à des activités d'expression ; présentations, discussions et débats.
- ▶ exploitation d'articles de presse, de vidéos et de sites internet en lien avec les thématiques de l'environnement, du développement durable, de l'énergie, du changement climatique dans un contexte anglo-saxon de préférence.
- ▶ étude de différents aspects des civilisations et cultures du monde anglophone
- ▶ renforcement des savoirs linguistiques (grammaire, lexique général et spécialisé...)

Volume horaire

- ▶ Présentiel : 14 h (cours et présentations/synthèses orales en anglais des projets longs devant un jury) + 3h de soutenances

Dimension systémique

- ▶ Connexions interdisciplinaires entre UE et modules : thématiques et vocabulaire
- ▶ Transdisciplinarité interne à la matière : exposés et échanges sur des sujets en rapport avec les enseignements du mastère et notamment des projets longs.

Modalités pédagogiques

- ▶ Travaux de compréhension de l'écrit et de l'oral et prise de parole en continu et interaction.

Modalités d'évaluation

- ▶ **Exposés en anglais** (10/15 minutes) sur des thématiques en lien avec le propos du master (notamment l'UE 1 : Contextes planétaires et enjeux anthropiques) débouchant sur un échange en classe.
- ▶ **Présentations/synthèses orales en anglais des projets** longs conduits dans le cadre de cette formation. Soutenances synthétiques en anglais et échange avec le jury.

Personnes ressources

- ▶ Stéphane GROS et James McDONAGH (professeurs d'Anglais à l'ENM)





UE7

CONCEPTION DE PROJET



UE7 • CONCEPTION DE PROJET

L'UE7 constitue un élément structurant et original du programme de formation.

Cette unité est le lieu d'exercice du passage de la pluridisciplinarité à la transdisciplinarité, où pourront être mise en évidence les démarches qu'implique la logique complexe.

Certes, l'UE7 s'inscrit dans la pédagogie par projet, mais elle présente une originalité pédagogique liée aux modalités de fonctionnement du groupe de stagiaires et à la place donnée aux enseignants dans l'animation du groupe.

Le volume horaire alloué est de 5 semaines, comprenant travail encadré (200 h) et production personnelle. 15 ECTS sont attribués à cette unité d'enseignement.

Conception de projet en mode collaboratif stagiaires/enseignants

Le projet n'est pas conçu comme un exercice d'application des savoirs enseignés, supervisé par le corps enseignant. Charpente du processus pédagogique, il proposera aux stagiaires et aux formateurs un travail collaboratif de bureau d'études pour co-construire un projet découlant d'une commande externe. Chaque module d'enseignement sera dispensé aux diverses étapes du projet, soit pour apporter les outils ou les méthodes nécessaires, soit pour induire la prise de recul et la réflexion qui conduiront à l'intégration de la complexité.

Les enseignants accompagnent les stagiaires et le collectif est lui-même accompagné par un conseil qui suscitera une réflexion à un méta-niveau, d'ordre épistémique, éthique et psychosocial (approche de l'humanisme méthodologique).

L'objectif prioritaire de la conception de projet est de mettre les stagiaires spécialistes en situation d'interdisciplinarité en leur proposant de travailler un sujet non directement connecté à leur spécialité d'origine, mais selon des approches et des méthodes possibles à réinvestir dans toute problématique d'éco-ingénierie, comme le requièrent, par exemple, les questions liées à la transition énergétique, à la gestion des ressources, à l'urbanisme, à l'adaptation au changement climatique, soit plus généralement à la conception durable de tout projet.

Le domaine technique du cas traité importe donc peu dans ce schéma pédagogique, car il est avant tout question de montrer comment la résolution d'un problème technico-économique s'insère dans un faisceau de questions contextuelles liées à l'éthique, aux impacts environnementaux, au développement de filières, de territoires, etc., dans un processus d'éco-ingénierie.

Objectifs pédagogiques prioritaires

- ▶ Mettre en œuvre les sciences de la conception dans l'interdisciplinarité.
- ▶ Rechercher des solutions satisfaisantes en complexité.
- ▶ Déployer les principes et les valeurs du développement durable dans un projet d'ingénierie.
- ▶ Équilibrer l'expérimentation et l'innovation dans projet collectif soumis à obligation de résultat.

Scénario pédagogique

- ▶ Phase 1 : Appropriation

- ▶ Les stagiaires sont placés en situation de bureau d'études. Ils rencontrent le commanditaire qui leur présente son projet et ses attentes. Les stagiaires prennent appui sur les modules de formation de l'UE1 Enjeux du développement durable et de l'UE5 Socio-économie, RSE pour replacer les enjeux du projet dans des enjeux plus vastes, et pour comprendre l'environnement économique et social du milieu émetteur et du milieu d'implantation. Les objectifs et les livrables du projet sont clairement énoncés et validés par le commanditaire à la fin de cette phase.
- ▶ Phase 2 : Organisation et construction méthodologique
 - ▶ Le groupe de stagiaires définit sa méthodologie et son organisation pour atteindre les objectifs fixés. L'UE2 Sciences et méthodes systémiques apporte les concepts nécessaires à la définition du cadre méthodologique général. Elle permet de déplacer le mode de conceptualisation des stagiaires, formés aux méthodologies classiques ne s'intéressant souvent qu'à une dimension à la fois, vers les méthodes systémiques de la pensée complexe.
 - ▶ Les modules de l'UE6 Activités de mise en situation stimulent la dynamique de groupe pour faire naître des approches nouvelles. Il ne s'agit plus de traiter séquentiellement du sujet mais d'aborder en parallèle chaque dimension du projet. La volonté est ici d'amener les stagiaires à la logique complexe, qui relie tous les constituants, toutes les dimensions d'un système.
 - ▶ Pour chaque tâche déterminée, le groupe délègue à un sous-groupe. Les sous-groupes rendent compte à l'ensemble du groupe régulièrement. Un comité de pilotage est constitué ; il est le garant de l'avancée du groupe. Le commanditaire est membre du comité de pilotage.
- ▶ Phase 3 : Co-construction
 - ▶ Le projet progresse par touches successives ne privilégiant aucune dimension a priori. Une succession d'itérations de réflexion-action est nécessaire pour conduire le projet.
 - ▶ C'est l'ensemble du groupe qui prend les décisions et les orientations. Le rôle de l'animateur est d'éviter déviations ou blocages. Il peut aussi être amené à prendre sa place de collaborateur au projet au même titre que les stagiaires. Des moyens sont mis à disposition du groupe pour accéder aux informations ou réaliser les études et enquêtes nécessaires.
 - ▶ A chaque comité de pilotage un écrit rend compte de l'avancement, de la distance séparant des objectifs finaux.
 - ▶ L'UE3 Méthodes et outils transversaux et l'UE4 Méthodes et outils d'évaluation, de conception et de pilotage répondent aux besoins d'outils que vont formuler les stagiaires au fur et à mesure de la conception.
- ▶ Phase 4 : Restitution
 - ▶ Une synthèse écrite rend compte de la démarche et restitue l'ensemble des résultats.
 - ▶ La présentation au commanditaire et aux acteurs de l'entreprise ou du territoire est l'occasion d'évaluer l'atteinte des objectifs et de faire le bilan de la démarche du projet.



- ▶ (Voir également le synoptique ci-après décrivant le processus de conception et le méta-processus pédagogique. Il fait apparaître les modules thématiques comme ressources pour l'étude, tout au long de son déroulement.)

Encadrement du projet

- ▶ Les enseignants en charge du projet accompagnent le déroulement du processus d'étude, animent le groupe de stagiaires avec lesquels ils sont impliqués. Les enseignants ne sont alors plus seulement les détenteurs du savoir : ils cheminent avec les stagiaires, dans une posture de professionnels expérimentés, aux côtés des jeunes en cours de professionnalisation. Ils conduisent le groupe en apportant leur contribution au projet.

Modalités d'évaluation participative

- ▶ Dans ce schéma pédagogique, l'évaluation ne se bornera pas à constater l'acquisition de connaissances, ni même de compétences. L'évaluation sera elle-même envisagée comme un processus pédagogique dynamique à même de révéler la progression de certaines compétences. La prise en compte de la complexité du système humain dans ce processus d'évaluation conduit à envisager des modalités originales d'auto-évaluation formative et de co-évaluation.
- ▶ «Évaluer des compétences, c'est mettre en situation la personne pour qu'elle agisse, en réponse à ses connaissances, certes, mais aussi eu égard à son contexte et à son histoire. Cela revient à modéliser en complexité la mise en situation active d'une personne en devenir, relativement à des objectifs, compte tenu de son contexte interne et externe... Dans ces conditions, la personne évaluée est partie prenante et ne peut que participer à la modélisation de l'évaluation, selon un processus de co-évaluation où l'apprenant et l'enseignant ont à délibérer sur les modalités à mettre en œuvre... En outre, puisque l'expression des compétences dépend du «contexte interne», c'est-à-dire de la psychologie et du vécu subjectif de la personne, il est également pertinent d'instaurer le principe de l'auto-évaluation.»

Coordination

- ▶ Didier KLEIBER (professeur EI PURPAN)
- ▶ Vincent GERBAUD (Chercheur CNRS ENSIACET)

Moyens et méthodes pédagogiques

- ▶ Suivi personnalisé de chaque groupe (4 ou 5 stagiaires) par les encadrants de l'UE et par les commanditaires du projet. Divers contacts avec entreprises, prises de rendez-vous, etc ... pour mener à bien le projet.



BONUS



BONUS

Dans le programme de la formation, il existe deux activités « bonus » que sont :

- ▶ 9h de conférences, organisées par les étudiants
- ▶ 18h de « cours à la carte » qui sont organisés par le comité de pilotage en fonction des demandes spécifiques des étudiants (ex. des années précédentes : droit de l'environnement, art et transitions, sciences cognitives, conduite du changement,...)



BIBLIOGRAPHIE



- [1] La Voie ; Pour l'avenir de l'humanité - Edgar Morin - Fayard - 2011
- [2] Quelques motifs raisonnés pour une ingénierie du contexte raisonnable - Frédérique Allard, Laboratoire Gestion et Cognition (EA 2043), Université de Toulouse (Université Paul Sabatier, Toulouse III) - Projectique, n° 1 - p. 77-90
- [3] La complexité est un nœud gordien - Edgar Morin - Management France - Fév-mars 1987
- [4] Projet d'établissement du CNRS - Février 2002
- [5] Former en sciences de l'environnement - Marc Lucotte - Le développement durable à découvert - CNRS - 2013 - <https://books.openedition.org/editions-cnrs/10886>
- [6] Formations d'ingénieurs et développement durable - Conclusion à la réunion réseau du 7 juillet 2011 - Claude Maury - Mines de Paris Paristech
- [7] La modélisation des systèmes complexes - Jean-Louis Le Moigne - Dunod - 1990, 1995
- [8] Le Constructivisme, t. 2 : Épistémologie de l'interdisciplinarité - Jean-Louis Le Moigne - L'harmattan - 2003
- [9] Les sciences de l'artificiel - Herbert A. Simon - Coll. Folio/Essai - Gallimard - 2004
- [10] Écologie prédictive & changement planétaire - Prospective de l'institut écologie & environnement du CNRS - Compte rendu des journées des 24 et 25 octobre 2012 - Avignon
- [11] Laboratoire interdisciplinaire des Énergies de Demain - <http://www.lied-pieri.univ-paris-diderot.fr>
- [12] Mission Interdisciplinarité du CNRS - <http://www.cnrs.fr/mi>
- [13] SHE et énergie - Alliance Athena - 2013
- [14] Interdisciplinarité ; Concepts-clés - Centre international pour la Recherche Agricole orientée vers le développement - <http://www.icra-edu.org/fr>
- [15] L'interdisciplinarité dans l'enseignement général - Louis d'hainaut - Division des sciences de l'éducation, des contenus et des méthodes, UNESCO - Mai 1986
- [16] Repenser la formation des managers - institut de l'entreprise, Cercle de l'Entreprise et du Management - FNEGE - juin 2010
- [17] Les "Laboratoires d'excellence" et les "Initiatives d'excellence" en formations innovantes de l'IDEX Toulouse - Université de Toulouse - 2013
- [18] Thermodynamique de l'évolution ; Un essai de thermo-bio-sociologie - François Roddier - parole éditions - 2012
- [19] La responsabilité sociale de l'entreprise ou l'épuisement d'un thème de gestion - Yvon Pesqueux, CNAM - Gouvernance, éthique et RSE ; état des lieux et perspectives - Dir.



Olivier Meier, Guillaume Schier - Coll. Recherche en Management - Hermès, Lavoisier - 2009

[20] Quand l'entreprise s'affiche «responsable»... - Gabriel Saint-Lambert - Education permanente - n° 167 - 2006-2

[21] L'évaluation en complexité : Cas de l'évaluation des compétences *dans* Complexité. Fondamentaux à l'usage des étudiants et des professionnels - Jean-Yves Rossignol - EDP Sciences - 2018 - <https://laboutique.edpsciences.fr/produit/1020/9782759822362/Complexite>



ANNEXE

Définition des niveaux de compétence

ANNEXE – DÉFINITION DES NIVEAUX DE COMPÉTENCE

Parmi les diverses rubriques des syllabus standardisés, l'une d'elles donne le ou les niveaux de compétences visés par l'enseignement. L'échelle des niveaux, notés de 1 à 4 est la suivante.

Niveau 1 : Notions

La personne est en mesure de :

- ▶ comprendre les notions ;
- ▶ savoir exploiter des résultats pour comprendre le contexte de travail ;
- ▶ savoir exercer ses fonctions dans un contexte totalement contrôlé et sous supervision;
- ▶ utiliser les composantes élémentaires de la compétence.

Niveau 2 : Mise en œuvre courante

La personne est en mesure de :

- ▶ décrire des notions, les restituer ;
- ▶ utiliser, exploiter des résultats ou manipuler des outils dans son contexte de travail à des fins de production ;
- ▶ exercer ses fonctions dans un contexte qui peut sortir du cadre normal, mais sans situation d'urgence ;
- ▶ mettre en œuvre aisément les différentes composantes de la compétence.

Niveau 3 : Maîtrise

La personne est en mesure de :

- ▶ mener à bien des travaux d'analyse et de synthèse ;
- ▶ concevoir en argumentant et justifiant ;
- ▶ exercer ses fonctions éventuellement dans un contexte mouvant, incertain et d'urgence ;
- ▶ participer à la transmission de cette compétence.

Niveau 4 : Expertise

La personne est en mesure de :

- ▶ juger, critiquer, valider, corriger ;
- ▶ innover, concevoir de nouveaux outils, inventer de nouvelles méthodes ;
- ▶ organiser le travail éventuellement en situation mouvante, incertain et d'urgence ;
- ▶ être un référent pour la transmission, l'évolution et la mise en œuvre de cette compétence.

