

Syllabus de la scolarité IENM

Promotion 2020-2023

Introduction

Ce document a pour objectif de présenter le contenu détaillé de la formation d'ingénieur de l'école nationale de la météorologie. Après avoir rappelé les objectifs généraux de la formation, son organisation sur les 3 années est brièvement présentée. Puis l'ensemble des UE de la scolarité est présenté en détail, semestre après semestre.

Ce document vient en complément du règlement des études de la formation IENM et du règlement intérieur de l'ENM.

Objectifs de la formation

L'ENM forme des ingénieurs, scientifiques de haut niveau dans le domaine des sciences météo-climatiques, et a choisi d'organiser la formation autour de sept activités métiers. Ces activités métiers sont ensuite déclinées en acquis de l'apprentissage. Le résultat constitue ainsi le référentiel des acquis de l'apprentissage et la formation est organisée pour permettre l'acquisition progressive des compétences de ce référentiel :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- S'intégrer efficacement dans une équipe de production opérationnelle en continu
- Analyser une situation météo en tout point du globe
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)
- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité
- Produire et expertiser des prévisions à long terme (mensuelles ou saisonnières) ou climatiques
- Communiquer sur l'actualité météo-climatique récente ou prévue

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Concevoir un réseau de mesures (dimensionnement, implantation, choix et achat du matériel déployement...) Concentrer et diffuser les données et métadonnées géophysiques
- Archiver les données et méta-données associées
- Définir le niveau d'intervention humaine (expertise, contrôle, validation, insertion de données qualitatives)
- Concevoir des données élaborées (fusion, spatialisation)
- Mettre à disposition les données sous un format standard et en gérant les droits d'accès
- Construire une chaîne de traitement logiciel comme un ensemble de composants réutilisables et inter-opérables
- Concevoir des applications WEB
- Utiliser les outils de visualisation de données géo-référencées
- Maintenir la chaîne de production en conditions opérationnelles

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Prendre une décision en interne en recherchant l'information de manière pro-active (y compris en provenance du terrain) et en synthétisant de multiples sources d'informations
- Communiquer en contexte de crise ou de polémique, à l'oral et à l'écrit en s'assurant de l'unicité du message transmis vers l'externe
- Estimer la météo-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin
- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information probabiliste quantifiant l'incertitude de la prévision et en faisant preuve de pédagogie
- Expliciter sa décision en argumentant son choix auprès d'autres acteurs internes ou externes
- Conduire ou participer à une réunion de crise
- Améliorer la protection de son interlocuteur contre les aléas météo-climatiques futurs en exploitant les données climatologiques passées, en utilisant les outils statistiques et informatiques adaptés
- Qualifier une situation météorologique en termes de durée de retour, d'écart à la moyenne, de percentile, de record en exploitant les outils statistiques et climatologiques

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Estimer la climato-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin
- Présenter les différents scénarios climatiques à échelle globale et/ou régionale en expliquant le fonctionnement de la machine climatique, en expliquant les sources de variation, en différenciant les causes naturelles et anthropiques de variation
- Identifier les impacts du Changement climatique sur le domaine d'activité de son interlocuteur,
- Expliciter son analyse en argumentant ses choix et en prenant en compte les enjeux sociétaux et géopolitiques
- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information climatique, quantifiant l'incertitude et en faisant preuve de pédagogie
- Produire de la documentation destinée aux acteurs et décideurs économiques
- Mettre en œuvre une stratégie de communication de l'information climatique et de son incertitude
- Améliorer la protection de son interlocuteur contre les aléas climatiques futurs en exploitant les données climatologiques passées, en utilisant les outils statistiques et informatiques et les résultats des méthodes de régionalisation

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique
- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Modéliser les milieux en interaction avec l'atmosphère
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle
- Manipuler et analyser de gros volume de données
- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques
- Adopter la posture de chercheur

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l’atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Identifier et spécifier le besoin, comprendre la problématique du client, identifier les enjeux
- Analyser les contraintes et la faisabilité (état de l’art, coûts, délais, ressources réglementation...)
- Élaborer une offre technique, avec toute la précision nécessaire et en respectant les délais
- Étudier le marché, élaborer une offre commerciale
- Rechercher, choisir, voire élaborer les différentes données nécessaires à l’étude (y compris données clients ou externe)
- Qualifier et pré-traiter les données si besoin (homogénéisation, données manquantes, valeurs aberrantes)
- Sélectionner les outils statistiques pertinents
- Mettre en œuvre et configurer les outils de simulation numérique pertinents
- Assurer une veille scientifique et technique dans le domaine des statistiques et de la modélisation
- Analyser, critiquer, visualiser, mettre en forme les résultats et estimer l’incertitude
- Présenter et valoriser les résultats auprès du client, mesurer sa satisfaction tout au long de l’étude

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l’ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- Organiser son travail efficacement en autonomie
- S’informer et communiquer
- Gérer un projet
- Manager une équipe
- Faire preuve de créativité et d’adaptabilité dans un monde en mouvement
- Adopter l’esprit d’entreprise

Organisation de la scolarité

La scolarité est structurée en 6 semestres (S5 à S10), chaque semestre est organisé autour d’Unités d’Enseignement (UE), chaque UE contenant des enseignements. L’ensemble des enseignements est rattaché à un ou plusieurs acquis de l’apprentissage du référentiel. Le détail en est donné plus loin.

Le schéma général de la scolarité est le suivant :

1ère année		
S5	S6	Juillet — août
Tronc commun		Stage 1A connaissance de l’entreprise de 6 semaines, en France ou à l’étranger.

2° année		
S7	S8	Mi-juin — juillet — août
Tronc commun	- Projet Etudes Modélisation Innovation (8 semaines en groupe, sous forme de bureaux d’études avec des applications métiers) - Prévision Conseil	Stage 2A (12 semaines). Période possible pour la mobilité internationale

	- Enjeux sociétaux	
--	--------------------	--

3^e année	
S9 (Rentrée mi-septembre)	S10
<p>Parcours ENM «Services Météo-climatiques – weather and climate services»</p> <p>Parcours Big Data (en partenariat avec ENSEEIHT département Maths appliquées)</p> <p>Parcours Développement Durable (I3D en partenariat avec Toulouse INP)</p> <p>Parcours Etudes environnementales (M2 SOAC mention EE en partenariat avec l'UPS)</p> <p>Parcours Statistiques (INSA) ou Hydrologie (ENSEEIHT) ou Ecoles du Ministère... ou ...</p>	<p>Projet de fin d'études (6 mois) encourageant là encore la mobilité, soit internationale, soit structurelle (hors de l'univers Météo-France)</p>

Vue synoptique des semestres

Semestre 5 (30 ECTS)

Unité ECTS — Nombre de crédits pour l'unité

Matière	Durée	Cours	TP/TD	Évaluation	Service enseignant
---------	-------	-------	-------	------------	--------------------

Sciences de l'ingénieur — 4 ECTS — 66h

Mathématiques	40h	38h		Test 2h	DE
Physique — Mécanique des milieux continus	16h	13h		Test 2h commun Transfert thermique	DE
Physique — Transfert thermique	10h	11h		Test 2h commun Méca Milieux Continus	DE

Sciences météo-climatiques — 7 ECTS — 102h

Physique et dynamique de l'atmosphère	90h	82h	2*2h	Tests sur 4h + ateliers notés	C3M
Système climatique	12h	3x2h	2x3h	validé/non validé (TP)	C3M

Traitement de données géo-physiques — 9 ECTS — 136h

Bases informatiques (algo, Linux, Python)	16h		16h	Non	C3M
Technologies Web	36h		18h mini-projet	Mini-projet	C3M
Capteurs et métrologie	39h	29h	6h	Test 2h + TP et exposés	IMO
Exploitation des mesures et des données d'observation	45h	29h	14h	Tests sur 2h	IMO

Production d'information météo-climatique — 4 ECTS — 45h

Introduction à la modélisation	12h	8h	4h	Compte-rendu de TD	C3M
Base de l'analyse météorologique	33h (+5h autonomie)			Quiz intermédiaire, Test sur table	PAM

Ingénieur premier de cordée — 6 ECTS — 108h

APP0	1 jour			Oui (Validé/non validé)	DE
Dynamique de groupe	12h	3h	9h	Oui (validé/non validé - voir fiche pédagogique)	DE
Bureautique et production de documents	13h	3h	10h	Oui (validé/non validé - voir fiche pédagogique)	DE
Connaissance de l'entreprise	10h	1h	Autonomie	Oui (validé/non validé - voir fiche pédagogique)	DE

Préparation à la vie professionnelle — partie 1	10h			Oui (validé/non validé - voir fiche pédagogique)	DE
Anglais	36h			Oui (validé/non validé - voir fiche pédagogique)	LET
Projet Voltaire (auto-formation)	10h	1h	9h autonomie	non	DE
Gestion de projet — module 1 (principes)	10h	8h	2h	Oui (validé/non validé via TP)	DE

Semestre 6 (30 ECTS)

Unité ECTS — Nombre de crédits pour l'unité

Matière	Durée	Cours	TP/TD	Évaluation	Service enseignant
---------	-------	-------	-------	------------	--------------------

Sciences de l'ingénieur — 7 ECTS — 127h

Traitement du signal	17h	16h		Test de 1h	DE
Statistiques Probabilités	64h	44h	7*2h 1*3h	3h de test	C3M
Physique — Mécanique des fluides et des solides	46h	32h	12h	Test de 2h	C3M

Sciences météo-climatiques — 7 ECTS — 127h

Circulation générale atmosphérique	23h (dont 4h de restitution d'articles et 6 h d'autonomie)	10h	3h	Sur TP et analyse d'articles	C3M
Dynamique des moyennes latitudes	30h	24h	2*2h	Test de 2h	C3M
Dynamique de la convection	16h	13h	2h	Test 1h	C3M
Dynamique de l'océan	15h	14h		Test 1h	C3M
Couche limite atmosphérique	27h	20h	3*1h+ 2*2h	Test 1h + CR TP	C3M
Rayonnement	15h	10h	4h	Test de 1h	C3M

Traitement de données géo-physiques — 4 ECTS — 84h

Outils de calcul scientifique	33h	24h	3*3h	Sur TP	C3M
Génie logiciel 1	51h	3h	48h en projet	Projet	C3M

Production d'information météo-climatique — 3 ECTS — 47h

Situations météorologiques types et modèles conceptuels associés	47h (+7h autonomie)	18h	26h	Quiz école numérique + atelier synopsis (3h)	PAM
--	---------------------	-----	-----	--	-----

Ingenieur premier de cordée — 4 ECTS — 70h

Anglais	36h	36h		Oui (voir fiche pédagogique)	LET
Techniques Communication orale	10h		10h (cours+ mises en situation)	Oui (voir fiche pédagogique)	DE
Projet Voltaire (auto-formation)	autonomie			validé/non validé (via site du projet)	DE
Concepts économiques fondamentaux	15h	15h		participation	DE
« Ecoute client » — module 1	9h	8h	1h	Sur TP	DE

Stage 1A — 5 ECTS — 6 semaines

Stage 1A	6 semaines			Via note de synthèse + Soutenance orale + évaluation entreprise accueil	DE
----------	------------	--	--	---	----

Semestre 7 (30 ECTS)

Unité ECTS — Nombre de crédits pour l'unité

Matière	Durée	Cours	TP/TD	Evaluation	Service enseignant
---------	-------	-------	-------	------------	--------------------

Sciences de l'ingénieur — 4 ECTS — 67h

Statistiques II	35h	21h	12h	Test de 2h	C3M
Analyse numérique	32h	20h	12h	Sur TD	C3M

Sciences météo-climatiques — 8 ECTS — 118h

Dynamique des fluides numérique	28h	13h	15h	Oui (voir fiche pédagogique)	C3M
Micro-physique nuageuse	16h	12h	3h	Test de 1h	C3M
Météorologie tropicale	15h	10h	5h	Sur TP	C3M
Chimie atmosphérique	10h	9h		Oui (voir fiche pédagogique)	C3M
Surfaces continentales	12h	10h	2h	QCM	C3M
Météorologie urbaine	10h	10h		Oui	C3M
Climat et changement climatique	27h	14h	12h	Test 1h	C3M

Traitement de données géo-physiques — 8 ECTS — 112h

Génie logiciel 2	85h (dont 48h)	31h	6h	Oui (voir fiche pédagogique)	C3M
------------------	-------------------	-----	----	------------------------------	-----

	de projet)				
Mise à disposition des données météo-climatiques	16h	10h	6h	Oui (voir fiche pédagogique)	C3M
Réseau de mesures	11h	3h	4*2h	Oui (voir fiche pédagogique)	IMO

Production d'information météo-climatique — 4 ECTS — 58h

Méthodologie de la prévision à différentes échelles spatiales et temporelles	58h			Oui (voir fiche pédagogique)	PAM
--	-----	--	--	------------------------------	-----

Recherche et innovation — 4 ECTS — 65h

Prévision numérique du temps	28h	21h	2*3h	Test de 1h	C3M
Assimilation de données	22h	21h		Test de 1h	C3M
Modélisation des processus physiques (turbulence, convection...)	15h	15		non	C3M

Ingénieur premier de cordée — 2 ECTS — 34h

Anglais	34h		34h	Oui (voir fiche pédagogique)	LET
---------	-----	--	-----	------------------------------	-----

Semestre 8 (30 ECTS)

Unité ECTS — Nombre de crédits pour l'unité

Matière	Durée	Cours	TP/TD	Évaluation	Service enseignant
---------	-------	-------	-------	------------	--------------------

Enjeux des sciences météo-climatiques — 1 ECTS — 15h

Météo-sensibilité	3h	conférence		participation	DE
Enjeux sociétaux et géopolitiques du Changement Climatique	9h	conférence		participation	DE
Sécurité (SPB)	3h	conférence		participation	DE

Prévision conseil - 6 ECTS — 90h

prévision conseil en météorologie et sciences connexes	90h			Test QCM, dossiers, briefings, activités conseils	PAM
--	-----	--	--	---	-----

Réponse à un besoin client (y compris équipe de recherche) — 8 ECTS — 8 semaines

Etudes pour répondre à un besoin client (2 au choix, en groupe) : — Projet Modélisation — Conseil Changement climatique (impact ?) — Assistance, Prévision, Energie...	8 semaines	projet		Soutenance orale + évaluation qualité technique des livrables par service d'accueil	DE
---	------------	--------	--	---	----

Ingénieur premier de cordée — 5 ECTS — 77 h

Anglais	34h	34h			LET
Droit	10h	10h		participation	DE
Management d'équipe (y compris 3h sur RPS)	15h	15h		participation	DE
« Ecoute client, offre client » — Module 2	6h	6h		participation	DE
Gestion comptable et financière	12h	12h		participation	DE

Stage 2A - 10 ECTS — 12 semaines

Stage 2A	12 semaines			Session Poster + évaluation entreprise d'accueil	DE
----------	-------------	--	--	--	----

Semestre 9 (30 ECTS)

un des parcours au choix

Unité ECTS — Nombre de crédits pour l'unité

Matière	Durée	Cours	TP/TD	Évaluation	Service enseignant
---------	-------	-------	-------	------------	--------------------

Parcours « services météo-climatique» (ENM) — 30 ECTS — 360h

UE1 : Produire les données d'observation météo-climatiques	60h	6h	Campagne de mesures + autonomie	Soutenance orale	IMO + CNRM
UE2 : Mettre en œuvre et configurer des outils de simulation numérique pour la prévision du temps et du climat	60h		24h reste en autonomie	Soutenance orale	C3M + CNRM
UE3 : Climate Change issues (UE en anglais)	60h			Formal debate	DE + LET
UE4 : Répondre à un besoin client dans un service météo-climatique (avec applications DCSC/DSM)	60h	12h	48h autonomie	Via fiche appréciation tuteur	DCSC + DE
UE5 : Valorisation économique de l'information météorologique et climatique	60h	8h	2*3h 2*6h reste en autonomie	Via CR TP	DE + C3M
UE6 : projet personnel tuteuré	60h	6h	52h autonomie	Via fiche d'appréciation du tuteur	Tout département

Parcours HPC-BigData— 30 ECTS — 330h

UE1 Cloud et classification	60h			Oui	EXT
UE2 Système et calcul réparti	60h			Oui	EXT
UE3 HPSC/calcul scientifique	60h			Oui	MF

UE4 Big Data	60h			Oui	C3M, MF
UE5 Problèmes inverses	60h			Oui	C3M + EXT
UE6 SHJS	30h			Oui	EXT

Parcours Etudes Environnementales (M SOAC EE) — 30 ECTS — 340h

UE Chimie de l'atmosphère	30h	10h	10h	4 Demi-journées terrain	EXT
UE Océan	30h	10h	10h	4 Demi-journées terrain	EXT
UE Climat	30h	10h	20h		EXT
UE Pollution et traitement	30h	10h	20h		EXT
UE Applications (simulation physique, océan, chimie de l'atmosphère, traceurs dans l'environnement)	50h		50h		EXT
UE Outils pour l'environnement	60h	30h	30h		EXT
UE Compétences transverses (droit de l'environnement, Développement Durable, normes/risques réglementation)	40h	20h	20h		EXT
Projet tuteuré	70h			Fiche évaluation tuteur	EXT

Parcours Développement Durable (MSEI) — 30 ECTS — 533h

UE1 Contextes planétaires et enjeux anthropiques pour l'éco-ingénierie	50h			Oui	EXT
UE2 Sciences, concepts, et méthodologies systémiques	94h			Oui	EXT
UE3 Modélisation et simulation de systèmes complexes	65h			Oui	EXT
UE4 Méthodes et outils de conception, d'évaluation et de pilotage	85h			Oui	EXT
UE5 Gouvernance et économie de la soutenabilité	67h			Oui	EXT
UE6 Activités de mise en situation	72h			Oui	EXT
UE7 Conception de projet	100h			Oui	EXT

Parcours Statistiques (INSA) ou Hydrologie (N7) ou... — 30 ECTS

Selon filière école en échange					
--------------------------------	--	--	--	--	--

Semestre 10 (30 ECTS)

Unité ECTS — Nombre de crédits pour l'unité

<i>Matière</i>	<i>Durée</i>	<i>Cours</i>	<i>TP/TD</i>	<i>Évaluation</i>	<i>Service enseignant</i>
----------------	--------------	--------------	--------------	-------------------	---------------------------

Projet de fin d'études — 30 ECTS

Projet de fin d'études	6 mois			Rapport + soutenance orale + évaluation par entreprise d'accueil	DE
------------------------	--------	--	--	---	----

Syllabus détaillé sur les pages suivantes

Semestre 5 / UE Sciences de l'ingénieur

Mathématiques

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 40

Objectifs d'apprentissage

Le but de ce cours est de fournir des outils mathématiques permettant de traiter les équations de la physique. En fin d'enseignement, l'élève doit être capable de comprendre l'idée de formulation variationnelle d'un problème, et d'appliquer avec rigueur les techniques présentées.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe

Programme

Rappels et compléments de calcul différentiel

- Différentiabilité et classe C1. Matrice jacobienne, règle de la chaîne. Accroissements finis.
- Difféomorphismes, théorème d'inversion globale. Application : passage en coordonnées polaires.
- Classe C2, théorème de Schwarz, matrice hessienne. Conditions d'extrémalité.
- Application : étude de la fonctionnelle quadratique.

Intégrale de Lebesgue

- Présentation de l'intégrale, principales propriétés.
- Théorèmes de convergence.
- Espaces de Lebesgue des fonctions intégrables et de carré intégrable. Notion d'espace complet.
- Fonctions définies par une intégrale. Produit de convolution.
- Intégrales multiples : théorème de Fubini, changement de variable. Formule de Green.
- Transformations de Fourier et de Laplace. Application à l'équation de la chaleur.

Espaces de Hilbert

- Projections, bases hilbertiennes
- Séries de Fourier. Application : équation de la chaleur avec conditions aux limites.
- Opérateurs : endomorphisme adjoint, théorèmes de Riesz et Lax-Milgram.
- Problème de Sturm-Liouville, fonction de Green.
- Introduction aux espaces de Sobolev. Application : formulation variationnelle de l'équation de la chaleur.

Bibliographie :

- W. APPEL : Mathématiques pour la physique... et les physiciens (H & K)
- B. CANDELPERGER : Calcul intégral (Cassini)
- G. CHRISTOL, A. COT, CM. MARLE : Calcul différentiel (Ellipses)
- L. DI MENZA : Analyse numérique des équations aux dérivées partielles (Cassini)
- H. DYM, P. Mc KEAN : Séries et intégrales de Fourier (Cassini)
- M. EL AMRANI : Analyse de Fourier dans les espaces fonctionnels (Ellipses)
- C. GASQUET, P. WITOMSKI : Analyse de Fourier et applications (Dunod)
- H. REINHARD : Equations différentielles (Vuibert)
- F. RODDIER : Distributions et transformation de Fourier (Mc Graw Hill)
- C. TISSERON : Notions de topologie, introduction aux espaces fonctionnels (Hermann)

Modalités d'évaluation : 1 test écrit de 2 heures

Semestre 5 / UE Sciences de l'ingénieur

Mécanique des Milieux Continus

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 16h

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Modéliser les milieux en interaction avec l'atmosphère

Programme du cours :

1. Outils mathématiques

- (a) Théorème de transport de Reynolds
- (b) Outils tensoriels
- (c) Notation d'Einstein
- (d) Les opérateurs gradient, divergence et rotationnel

2. Principe de conservation

- (a) La masse
- (b) La charge électrique
- (c) La quantité de mouvement
- (d) L'énergie

3. Contraintes

- (a) Contraintes normales et cisaillement
- (b) Cercles de Mohr

4. Cinématique

- (a) Description Lagrangienne
- (b) Description Eulérienne
- (c) Passage Euler-Lagrange

5. Déformations

- (a) Gradient de déplacement
- (b) Déformation des volumes, des longueurs et des angles
- (c) Petites déformations et tenseur des déformations
- (d) Condition de compatibilité

6. Loi de comportement

- (a) Fluide Newtonien
- (b) Solide élastique

Modalités d'évaluation : test écrit de 2 heures commun avec la matière suivante (Transfert thermique)

Semestre 5 / UE Sciences de l'ingénieur

Transfert thermique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 10

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Modéliser les milieux en interaction avec l'atmosphère

Programme du cours :

1. Thermodynamique de l'ingénieur

- (a) Premier principe en système fermé et ouvert
- (b) Vanne, détenteur, échangeur, pompe, compresseur, turbine, tuyère et diffuseur

2. Transferts conductif et convecto-conductif

- (a) Équation de la chaleur locale et loi de Fourier
- (b) Forme adimensionnelle et conditions aux limites

3. Notion de transfert radiatif

- (a) Généralité
- (b) Le corps noir
- (c) Loi de Wien, loi de Stefan-Boltzmann

Modalités d'évaluation : test écrit de 2 heures commun avec la matière précédente (Mécanique des milieux continus)

Semestre 5 / UE Sciences météo-climatiques

Physique et dynamique de l'atmosphère

Date de la dernière révision : juillet 2020

Total d'heures : 90 dont 4h de tests

Compétences attendues en fin d'enseignement

- Appréhender le fonctionnement de l'atmosphère dans sa complexité : paramètres physiques, état moyen, éléments de bilan radiatif et de circulation générale, thermodynamique, instabilité verticale, grands équilibres, dynamique de grande échelle, utilisation du tourbillon potentiel, approche quasi-géostrophique, notions d'ondes.
- Établir les lois physiques et dynamiques qui gouvernent l'évolution du fluide atmosphérique. Appliquer diverses approximations et réaliser les analyses en ordre de grandeur pertinentes selon les échelles des phénomènes à étudier et le contexte d'étude.
- Résoudre des exercices théoriques en manipulant les équations établies en cours.
- Utiliser les concepts développés en cours lors de travaux pratiques d'analyse/prévision, et pour argumenter ou étayer une étude de texte scientifique.
- Mobiliser ultérieurement l'ensemble de ces acquis dans les matières météo-climatiques connexes : système climatique, circulation générale, convection, dynamique des moyennes latitudes,...

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Communiquer sur l'actualité météo-climatique récente ou prévue

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Expliciter sa décision en argumentant son choix auprès d'autres acteurs internes ou externes

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique
- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle
- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe

Mots clés

Pré-requis : Mécanique newtonnienne. Outils mathématiques : champs scalaires, champs de vecteurs, opérations vectorielles, dérivée eulérienne, dérivée lagrangienne, développement limité, opérateurs gradient, divergence, rotationnel et laplacien.

Acquisition : lois sur le rayonnement thermique, bilan radiatif du système terre-atmosphère, éléments de circulation générale atmosphérique, lois thermodynamique appliquées à l'atmosphère, adiabaticisme, pseudo-adiabaticisme, processus de saturation, stabilité/instabilité verticale, CAPE, CIN, modèle de fluide atmosphérique, barotropie/baroclinie, système d'équations de Navier-Stokes, équations primitives, système de Boussinesq, analyse en ordre de grandeur, équilibre hydrostatique, loi de Laplace, équilibre géostrophique, vent géostrophique, vent thermique, nombre de Rossby, circulation, tourbillon, tourbillon potentiel, fonction de courant, modèle barotrope non-divergent, ondes de Rossby, notions d'onde et linéarisation, relation de dispersion, vent agéostrophique, système quasi-géostrophique.

Programme du cours

1. Introduction

1. Chimie atmosphérique
2. Les différentes couches de l'atmosphère terrestre
3. L'énergie solaire
4. Les échelles des phénomènes atmosphériques
5. L'observation de l'atmosphère
6. L'ordre dans le chaos

2. Échanges d'énergie/rayonnement

1. Transfert d'énergie dans le système Terre-atmosphère
2. Ondes électromagnétiques en météorologie

3. Etat moyen de l'atmosphère – éléments de circulation générale

1. Introduction
2. Etude de réanalyses météorologiques (**autonomie Python**)

4. Thermodynamique atmosphérique

1. Introduction à la thermodynamique
2. Définitions de base
3. Les gaz parfaits
4. Premier et second principes de la thermodynamique (entropie, températures potentielles)
5. Air humide, air saturé, processus de saturation des particules d'air
6. L'équilibre vertical
7. TP : analyse d'un radiosondage

5. Lois d'évolution de l'atmosphère

1. Modèle de fluide atmosphérique
2. Équations de Navier-Stokes

6. Approximations usuelles

1. Approximation de la pellicule mince
2. Approximation anélastique
3. Approximation hydrostatique, équations primitives
4. Coordonnées verticales
5. Approximation du plan tangent, β -plan, f -plan
6. Approximation de Boussinesq et système de Boussinesq

7. Équilibres de grande échelle

1. Introduction et rappels
2. Quasi-équilibre horizontal à grande échelle dans l'atmosphère libre
3. Équilibre du vent thermique
4. Équilibres de grande échelle dans la système de Boussinesq
5. Couche limite atmosphérique : équilibre d'Ekman
6. **TP Synopsis** : équilibres de grande échelle

8. Lois sur les mouvements de rotation

1. Circulation
2. Tourbillon
3. Tourbillon potentiel d'Ertel
4. Fonction de courant et potentiel de vitesse
5. Activités Python

9. Ondes de Rossby des moyennes latitudes

1. Introduction
2. Approche lagrangienne
3. Approche eulérienne
4. Approche ondulatoire
5. **TP Python**: ondes de Rossby et diagrammes de Hovmöller

10. Dynamique de grande échelle, système quasi-géostrophique (QG)

1. Vent agéostrophique et vitesses verticales de grande échelle
2. Activités Python
3. Système d'équations quasi-géostrophiques
4. **TP Synopsis** : dynamique de grande échelle
5. Tourbillon potentiel en météorologie dynamique

Modalités d'évaluation :

- **2 tests écrits de 2h chacun** : le 1^{er} sur les chapitres 1-4, le 2^{ème} sur les chapitres 5-10.

Bibliographie :

- Malardel S., 2005 : Fondamentaux de Météorologie : à l'école du temps, Ed. Cepaduès.
- Ambaum, Maarten H. P., 2010 : Thermal physics of the atmosphere. Hoboken, NJ : Wiley-Blackwell.
- Holton, J. R., & Hakim, G. J., 2013 : Introduction to dynamic meteorology. (5th ed.). Amsterdam : Academic Press.
- Lackman G., 2011 : Midlatitude Synoptic Meteorology : Dynamics, Analysis, and Forecasting, American Meteorological Society.

- De Moor, G. et Veyre, P., 1991 : Les bases de la météorologie dynamique. Cours et manuels. Météo-France.

Semestre 5 / UE Sciences météo-climatiques

Système climatique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 12

Compétences attendues en fin d'enseignement :

- Introduire les notions de climat et de système climatique
- Appréhender le fonctionnement du système climatique dans sa complexité
- Décrire les différentes composantes du système climatique
- Comprendre ce qui régit l'état moyen du climat observé
- Comprendre et décrire la variabilité climatique à différentes échelles spatio-temporelles (de l'échelle multi-décennale et globale à l'échelle « synoptique »)

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Communiquer sur l'actualité météo-climatique récente ou prévue

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Présenter les différents scénarios climatiques à échelle globale et/ou régionale en expliquant le fonctionnement de la machine climatique, en expliquant les sources de variation, en différenciant les causes naturelles et anthropiques de variation
- Produire de la documentation destinée aux acteurs et décideurs économiques

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat

Mots clés :

Pré-requis : Éléments du cours de physique de l'atmosphère — Introduction à la modélisation météorologique et climatique

Programme du cours :

1 — Climat et système climatique (1h)

- a) Définition du climat à partir de la météo : le climat est la distribution de probabilité des météos possibles. Définition des « normales saisonnières » (état moyen du climat), et mise en évidence que la météo n'est par définition pas « normale » : notions de variabilité et d'extrêmes.

- b) Description du climat observé en France (T, P, principalement). Généralisation Monde et classification de Koppen. Description des différents climats tropicaux, extratropicaux, et polaires.
- c) Définition du système climatique et description de ses composantes (atmosphère, océans, continents, cryosphère) et leurs interactions.

2 — Bilan d'énergie et état moyen du climat (2h30)

- a) Bilan d'énergie simplifié du système climatique. Équilibre entre flux solaire entrant et flux infra-rouge sortant. Calcul de la T de surface dans l'hypothèse « sans atmosphère » (-18 °C). Mise en évidence de l'effet de serre (Fourier 1820). Recalcul T surface pour des modèles simplifiés à une [plusieurs] vitre[s]. Limites de tels modèles.
- b) Description de l'effet de serre : importance de la vapeur d'eau, du CO₂ et des autres GES (Tyndall 1860). Premier débat sur sensibilité du climat au CO₂ (Angstrom et Arrhenius 1890-1900).
- c) Répartition spatiale du bilan d'énergie, notion de déséquilibre équateur-pôles. Rôle de la dynamique atmosphérique (cellules, eddies) et océanique (circulation horizontale [gyres], verticale [AMOC], et eddies) dans le transport d'énergie de l'équateur vers les pôles. Retour aux cartes T, P d'état moyen expliquées par le bilan d'énergie et le transport, et redessinées par la géographie des continents et le cycle hydrologique.

3 — Mécanismes de variabilité interne du climat (2h30)

- a) Définition de la variabilité interne et séparation en échelles de temps (intra-saisonnière, inter-annuelle et multi-décennale) et d'espace (de locale à globale).
- b) Variabilité inter-annuelle : ENSO, premier mode de variabilité couplée O/A en global (description, indice à partir de bascule de pression Tahiti / Darwin et/ou SST tropicale, téléconnexions), et NAO, premier mode de variabilité atm en NA/Europe (description, indice à partir de bascule de pression Açores / Islande, téléconnexions). Extension NAO vers modes annulaires (description rapide via ACP « admise »).
- c) Variabilité (multi-)décennale : AMV et PDV (description rapide via ACP « admise »), insister sur le fait que la variabilité interne peut générer des tendances sur plusieurs décennies avec exemple de simulation de climat stationnaire.
- d) Variabilité intra-saisonnière : MJO tropicale (description rapide), régimes de temps NA/Europe (classification admise) et lien avec notre météo de tous les jours.
- e) Introduction à la prévisibilité : importance des conditions initiales atm vs océan suivant les échelles de temps.

4- Programme des TPs (2x3h)

1 — 2x1h30

- - normales, variabilité, extrêmes
- - saisonnalité des températures

2 — 3h

- régimes de temps

Modalités d'évaluation: sans



Bases informatiques

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 16

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Il s'agit principalement de rappels du programme de classe prépa. Le but est d'assurer les pré-requis pour la suite de l'enseignement:

- savoir effectuer des manipulations de base dans un environnement linux
- élaborer un algorithme pour résoudre un problème simple
- mettre en œuvre un algorithme grâce au langage python
- utiliser quelques possibilités plus avancées du langage python
- commencer à appliquer les bonnes pratiques de codage

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Archiver les données et méta-données associées
- Mettre à disposition les données sous un format standard et en gérant les droits d'accès
- Construire une chaîne de traitement logiciel comme un ensemble de composant réutilisables et inter-opérables

Mots clés : Système d'exploitation, UNIX, Linux, algorithme, Python, codage informatique

Programme du cours :

les outils informatiques de l'ENM (1h en petit groupe)

le système d'exploitation Linux : notion de système d'exploitation, système de fichier, l'interpréteur shell, les droits d'accès, quelques commandes « filtres », les redirections (6h en petit groupe)

le langage Python : rappels sur les types de données, les opérations, les variables, les tests conditionnels, les boucles, les listes et les fonctions, compléments sur les exceptions et essais, les dictionnaires, les modules et les entrées/sorties (9h en petit groupe)

Modalités d'évaluation : sans

Technologies web

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 36

Compétences attendues en fin d'enseignement :

- savoir utiliser quelques outils réseau (ftp, wget,...)
- construire une page web statique
- distinguer le côté client et le côté serveur
- utiliser le patron de conception Modèle-Vue-Contrôleur
- concevoir une petite application web dynamique

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Concevoir des applications WEB

Mots clés : Réseau informatique, internet, page web, programmation côté serveur

Programme du cours :

outils réseau : ftp, wget, ssh (2h en 1/2 groupe) [Franck Ayrault]

Html/Css (10h en 1/2 groupe)

programmation côté serveur : interfaces cgi et wsgi, patron de conception MVC (6h en 1/2 groupe)

mini-projet « appli web » (18h en trinôme) [encadrement Claudine Guéguen et Franck Ayrault]

Evaluation : validation du niveau A (mise en application avec guidage) de la capacité « *Concevoir des applications web* », basée sur l'évaluation du mini-projet.

Semestre 5 / UE Traitement de données géo-physiques

Capteurs et métrologie

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 39h dont 2h de test

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le but de ce cours est d'expliquer les principales méthodes de mesure des paramètres caractérisant l'atmosphère. L'accent est mis sur la notion de qualité des mesures :

- Influence des conditions de mesure (critères d'implantation des capteurs)
- Technologie des capteurs et maintenance/étalonnage (notion de performance maintenue)

En fin d'enseignement, l'élève doit être capable :

- 🕒 D'appréhender et quantifier les incertitudes de mesure (notions de métrologie)
- 🕒 Pour chacun des paramètres météorologiques
 - o Comprendre la physique du phénomène météorologique à mesurer
 - o Connaître les principes physiques d'accès à la grandeur météorologique à mesurer
 - o Connaître les principes de fonctionnement des principaux capteurs
 - o Maîtriser les contraintes d'installation des instruments de mesure
 - o Optimiser la représentativité de la grandeur mesurée
- 🕒 Rechercher les solutions adaptées à des problèmes de mesures

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Concevoir un réseau de mesures (dimensionnement, implantation, choix et achat du matériel déploiement...) Concentrer et diffuser les données et métadonnées géophysiques
- Définir le niveau d'intervention humaine (expertise, contrôle, validation, insertion de données qualitatives)

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Rechercher, choisir, voire élaborer les différentes données nécessaires à l'étude (y compris données clients ou externe)

Mots clés :

Pré-requis : Bases en traitement du signal, connaissance des paramètres météorologiques, bases en rayonnement et statistiques

Acquisition : Principes de la mesure, éléments de métrologie, capteur, stations automatiques, centrale d'acquisition, concentrateur, installation, classification site de mesure, maintenance, étalonnage, traitement, transmission, configuration, organisation d'un réseau de mesure de référence (RADOME)

Programme du cours :

Y est dispensée la « connaissance de base » en mesure météorologique. Les élèves acquièrent des notions élémentaires de métrologie (définitions normalisées, calculs d'incertitude).

Toutes les mesures réalisées et utilisées dans le réseau météorologique opérationnel français sont étudiées. Parmi les points abordés lors de l'étude de chacune des mesures, figurent systématiquement :

- ⌚ les principes physiques,
- ⌚ la notion de réseau de mesures,
- ⌚ l'influence des conditions de mesure (précautions d'installation, caractérisation des sites de mesure),
- ⌚ l'adéquation du capteur à la mesure (principe, caractéristiques métrologiques),
- ⌚ les erreurs de mesure courantes,
- ⌚ les contrôles, la maintenance du premier degré,
- ⌚ les principes d'étalonnage.

Une douzaine d'heures est consacrée à des activités pratiques sur des systèmes de mesure et permettent, par exemple, de mettre en évidence les constantes de temps, les erreurs instrumentales, les précautions d'installation (environnement), les paramètres d'influence, les études des cas.

En outre, plusieurs conférences sur des sujets renouvelés en fonction des évolutions techniques et de l'actualité des réseaux, sont dispensées par des professionnels, confrontés quotidiennement à des problèmes de mesure. Les conférenciers proviennent de la Direction des Systèmes d'Observation, des équipes de maintenance ou de recherche.

Modalités d'évaluation : 2 tests écrits de 1h. Evaluation d'exposés et de comptes-rendus de travaux pratiques.

Bibliographie

- Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques OMM N°8,
- INSTRUMENTS AND OBSERVING METHODS REPORT No. 86 : Training material on metrology and calibration
- Vocabulaire international de métrologie — concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM) JCGM 200 :2008
- Meteorological Measurements and Instrumentation, R. Giles Harrison, WILEY Blackwell

Exploitation des mesures et des données de l'observation

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 45 dont 2h de test

Compétences attendues en fin d'enseignement :

A l'issue de l'enseignement l'élève doit être capable de :

- reconnaître et décrire les genres de nuages et les principaux météores et les associer à des phénomènes physiques
- lire et critiquer une observation, en apprécier la représentativité
- utiliser à bon escient les produits de fusion de données
- analyser images satellites et radar

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Analyser une situation météo en tout point du globe
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)
- Communiquer sur l'actualité météo-climatique récente ou prévue

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Concevoir des données élaborées (fusion, spatialisation)

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Prendre une décision en interne en recherchant l'information de manière pro-active (y compris en provenance du terrain) et en synthétisant de multiples sources d'informations

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Évaluer la qualité d'un modèle
- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Rechercher, choisir, voire élaborer les différentes données nécessaires à l'étude (y compris données clients ou externe)

Mots clés : observation, données, nuages, météores, critique

Pré requis

- Connaissances générales en physique : thermodynamique, notions d'optique.

Acquisitions

- Connaissance des nuages et des précipitations
- Usage critique de l'ensemble des données d'observation disponibles
- Lecture d'un TH et d'un METAR

Programme du cours :

- Lecture d'un TH (surface altitude), météores, observation des nuages (genre espèce variété + mise en pratique et codage CI Cm Ch et METAR)
- Observation aéronautique : lecture de METAR humain et automatique
- TD en tour d'observation
- Imagerie satellite — RADAR
- Profils verticaux, réalisation d'un radio-sondage
- Contrôles des données
- Produits de fusion de données

Modalités d'évaluation : 2 tests écrits de 1h chacun

Bibliographie

Supports de cours : les supports de cours sont disponibles sur l'école numérique.

Une sélection de documents d'exploitation est également disponible.

Une bibliographie introductive est proposée :

- Pretor-Pinney G, Le guide du chasseur de nuages, Point-Sciences, JC Lattès 2007

Références :

- Delmas et al., Physique et chimie de l'atmosphère, Belin 2005
- Cours et manuels de l'ENM N°22 (Observation et mesures météorologiques Tome1 Nuages et autres météores

Introduction à la modélisation météorologique et climatique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 12

Compétences attendues en fin d'enseignement :

- Énoncer les étapes principales de l'histoire de la prévision du temps.
- Formuler mathématiquement l'évolution temporelle d'un système comme la solution d'une équation différentielle ordinaire faisant intervenir la dérivée en temps.
- Discuter la notion de déterminisme.
- Expliquer, avec ses mots et mathématiquement, comment on parvient à prévoir numériquement, par un schéma d'Euler, l'évolution temporelle d'un système décrit par une équation différentielle ordinaire. En particulier, l'étudiant devra être capable de démontrer le schéma d'Euler à partir de la formule de Taylor.
- Distinguer la prévision à courte échéance (trajectoire courte) et la prévision climatique (étude d'un attracteur).
- Décrire la prévision climatique à l'aide d'un attracteur.
- Décrire et diagnostiquer la notion de chaos déterministe, ou sensibilité aux conditions initiales, au travers des exposants de Lyapunov.
- Citer un exemple de système chaotique et un exemple de système non chaotique.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique
- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Modéliser les milieux en interaction avec l'atmosphère
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle

Mots clés :

Pré-requis : équation différentielle ordinaire de degré 1, théorème de Cauchy-Lipschitz, formule de Taylor.

Acquisition : introduction aux systèmes dynamiques et à leur analyse.

Programme du cours :

- Idées pré-conçues sur la prévision du temps
- Formulation mathématique de la prévision d'un système
- Expérimentation numérique sur l'exemple du système de Lorenz
- Historique de la prévision du temps
- Présentation des modèles utilisés à Météo-France

Modalités d'évaluation : sur compte rendu de TD

Bibliographie :

- Malardel S., 2005 : Fondamentaux de Météorologie : à l'école du temps, Ed. Cepaduès.

Semestre 5 / UE Production d'information météo-climatique

Les bases de l'analyse météorologique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 33 face à face (dont 3h de tests) + 5 en autonomie

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le cours d'analyse et prévision du temps s'étend sur 4 semestres. Il s'agit d'aborder les concepts et les méthodes les plus novateurs permettant de réaliser une analyse puis une prévision météorologique. L'objectif est également de sensibiliser les élèves à la valeur ajoutée du prévisionniste dans la chaîne opérationnelle de prévision du temps. Cet enseignement prend essentiellement la forme de cours/TD, faisant appel aux outils utilisés par les prévisionnistes de Météo-France, mais également à d'autres outils externes à l'établissement. L'accent est également mis sur des séances de travail en autonomie, sur des activités de prévision grandeur nature et temps réel, notamment dans le domaine du conseil météorologique, et sur des activités transversales inter-départements thématiques (développement d'utilitaires pour des applications météorologiques, activités en langue anglaise, etc.).

A l'issue de cet enseignement, les élèves disposeront des compétences requises pour formuler et produire leur expertise dans tous les domaines de la prévision météorologique, et à différentes échéances, allant de la prévision immédiate jusqu'aux échéances des prévisions mensuelle et saisonnière.

Ce semestre consiste en l'apprentissage de la terminologie et des techniques permettant d'exploiter les différents types d'observation (sol, altitude, radio-sondages, imageries), à travers la lecture de cartes (pointages, satellite, radar, émagrammes), l'élaboration de cartes Nebul, l'expression orale et la rédaction de commentaires techniques. Viennent ensuite — après le cours d'introduction à la modélisation météorologique et climatique — l'exploitation des champs météorologiques de base issus des modèles de PNT (Prévision Numérique du Temps) avec la compréhension des acteurs synoptiques, et la connaissance des champs pertinents à consulter. En lien avec les cours de Physique et de Dynamique de l'Atmosphère, les schémas conceptuels concernant les perturbations baroclines sont illustrés par la pratique d'exercices et de TD de niveau débutant. Des exercices sur papier alternent avec des séances de Travaux Pratiques sur le poste de travail du prévisionniste MF Synopsi.

A l'issue de ce semestre, l'élève doit être capable d'effectuer une expertise générale de la situation météorologique synoptique aux latitudes moyennes en synthétisant toutes les sources d'information (observations, modèles...) à sa disposition. Il doit maîtriser les concepts frontologiques de base et être capable de décrire une situation météorologique générale à l'échelle synoptique. Il ne lui manquera plus qu'à apprivoiser le concept d'interaction barocline, qui sera vu en tout début de semestre suivant ; après que la notion ait été abordée par le département C3M d'un point de vue théorique.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Analyser une situation météo en tout point du globe

Mots clés :

Pré-requis : Module « exploitation des mesures et des données », partiellement, le module « Physique et dynamique de l'atmosphère » à prévoir en avance de phase du présent module (environ 1 mois).

Acquisition : expertise humaine en prévision du temps, frontologie, profils verticaux, nébul technique, modèles de prévision, géopotential, Pmer, $\theta'w$.

Programme du cours : *(en italique, séances rattachées au département C3M)*

1. Objectifs et motivations du cours (3h)

- Généralités sur la prévision météorologique opérationnelle.
- La prévision humaine du temps : quelle place ? quelle légitimité ? Illustrations et exemples de productions (circuits, expertises, automatisations...). Notion de prévision-conseil et de météo-sensibilité.
- Programme de la scolarité « prévision du temps » (S5 à S9).

2. Exploitation des observations (9h)

- Données de surface (observations pointées, temps présent...) : passer du ponctuel à une appréhension globale d'une situation (exercice); déroulé (diaporama interactif) d'une situation fil rouge (pointage, satellite, radar).
- Découverte de Synopsis : généralités, modules pointage, satellite, radar. Situation du jour. Notions de cartographie.
- TD Synopsis (situation du jour (OPER) ou récente (REPLAY)). Mise à disposition de supports d'illustrations sur situation fil rouge. Production d'une nébul média. Différents types de nébul. Notion de zonage vs pictogrammes.

3. Exploitation des données de base des modèles de la PNT (9h) (pré-requis présentation PNT de C3M)

- Champs météorologiques de base : Pmer, géopotential, $\theta'w$, ZT500, HU, Vent. Coupes verticales. Terminologie. Illustrations sur situation fil rouge.
- Découverte du module modèle de Synopsis : 3D/2D modes analyse et prévision. Situation du jour. Briefing oraux (Italc ou équivalent). Mise à disposition d'exemples rédigés. + CTD conjoint C3M (grands équilibres synoptiques + champs moyens ERA)
- Évaluation intermédiaire : quiz école numérique + test sur table (2*30')

4. Perturbations et frontologie des latitudes moyennes (6h)

- Modèle conceptuel (coupes horizontale et verticale), cycle de vie (dont modèle Shapiro — Keyser), symbologie - cours **biblio préalable (avec restitutions...** et illustrations synopsis sur situation du jour ou archivée).
- Identification à l'aide des données observées et des données modèle (champs de base pour la détection des fronts) - mise à disposition documentation enrichie : illustrations photos - vidéos - time lapse.
- TD Synopsis : tracé frontologique sur situation du jour. Mise à disposition de supports illustrés sur situation fil rouge.

5. Profils verticaux et données d'altitude (4h) :

- Données d'altitude. Profils et nuages ; **quiz de vérification** sur école numérique + planches de correspondances profils — nuages (10 genres de base).

- e. Profils et perturbations : Diaporama + **quiz / illustrations sur école numérique et Synopsis** (correspondances secteurs de perturbations — profils, etc.). Illustrations sur situation du jour. Mise à disposition de supports illustrés sur situation fil rouge.

6. Évaluation (2h): test sur table

Modalités d'évaluation : voir ci dessus.

Bibliographie :

« Concepts et méthodes pour le météorologiste — Tome 1 » — Christophe Calas. Cours et Manuel n°21. Météo-France. 2013

Semestre 5 / UE Ingénieur premier de cordée

Dynamique de groupe, Techniques de réunion

Date de la dernière révision : juin 2020

Total d'heures : 12

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Les objectifs de formation sont de :

- Comprendre la dynamique des groupes restreints,
- Appréhender les techniques de décision en groupe,
- Appréhender les techniques de réunion.

A l'issue de cet enseignement, l'élève doit être capable de :

- Prendre la parole en groupe en tenant compte des acquis sur la dynamique de groupe,
- Comprendre et appliquer les bonnes techniques de décision en groupe,
- Appliquer les bonnes méthodes pour participer ou conduire efficacement une réunion.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- S'informer et communiquer
- Manager une équipe

Mots clés :

Pré requis : Néant

Acquisition : Techniques de réunion, prise de décision collective

Programme du cours :

La communication verbale et non verbale

- Introduction au thème général de la communication et des relations interpersonnelles
- Mise en situation de la prise de parole en public
- Le BA-ba de la communication
- La prise de parole en public

Le MBTI, outil de connaissance de soi

- Présentation et application de l'outil
- Présentations des préférences
- Les différentes façons de s'exprimer

La prise de parole en public

- Mise en scène individuelle de prise de parole en public et commentaires

Les relations interpersonnelles

- Les techniques d'écoute active : le langage, le questionnement, la reformulation
- Les comportements types face à autrui

Evaluation :

Le mode d'évaluation sera précisé par l'intervenant en début de formation.

Pédagogie :

Alternance de théorie et d'activités pratiques, travail en groupe et en individuel
Nombreuses mises en situation - Enregistrement et analyse vidéo
Remise de documents sur les notions enseignées.

Bureautique et production de documents

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 13

Compétences attendues en fin d'enseignement :

À l'issue de cet enseignement, les élèves doivent être capables de :

- prendre des notes, organiser leurs idées, les structurer selon un plan cohérent ;
- présenter leur travail sous forme d'un rapport écrit ou d'un exposé oral avec des logiciels bureautiques ;
- exploiter des données et les présenter avec un tableur ;
- respecter les principes de la typographie française et du design cognitif.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Communiquer sur l'actualité météo-climatique récente ou prévue

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Communiquer en contexte de crise ou de polémique, à l'oral et à l'écrit en s'assurant de l'unicité du message transmis vers l'externe

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Estimer la climato-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin
- Produire de la documentation destinée aux acteurs et décideurs économiques

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Élaborer une offre technique, avec toute la précision nécessaire et en respectant les délais
- Étudier le marché, élaborer une offre commerciale
- Analyser, critiquer, visualiser, mettre en forme les résultats et estimer l'incertitude
- Présenter et valoriser les résultats auprès du client, mesurer sa satisfaction tout au long de l'étude

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- S'informer et communiquer

Mots clés :

Pré requis : Outils informatiques de l'ENM, Connaissances de bases en informatique

Acquisition : Prise de notes, construction de plans, Traitement de texte, Tableur, Présentation d'exposé

Programme détaillé :

- Prendre des notes
- Organiser ses idées
- Transformer ses notes en rapport
- Types de plans, plans-type, argumentation
- Écrire lisiblement
- Préparer un exposé
- Présenter son travail avec LibreOffice Writer et Impress
- Tirer le meilleur de ses données avec Calc

Évaluation :

- Evaluation en continue via la remise d'un travail en fin de module.
- Evaluation de la production de production écrite et orale via le module connaissance de l'entreprise.

Pédagogie et bibliographie :

- Supports de cours et de TP mis à disposition des élèves sur l'École numérique, avec de nombreuses références bibliographiques (parmi les ouvrages de la médiathèque ENM et d'autres), des sites web d'auto-formation, de conseils, d'images libres de droit et des modèles de documents.

Semestre 5 / UE Ingénieur premier de cordée

Connaissance de l'entreprise

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 10

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Les objectifs de ce cours sont de :

- Familiariser l'étudiant avec les mécanismes de fonctionnement des entreprises et des marchés
- Sensibiliser au contexte économique
- Comprendre les évolutions organisationnelles des entreprises et de leur impact sur leur politique (choix économiques, ressources humaines)
- Savoir analyser son environnement économique et ses évolutions

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- Adopter l'esprit d'entreprise

Mots clés :

Pré requis : Néant

Acquisition : Eléments de stratégie des entreprises

Programme détaillé :

Après un cours de 1h sur

- Le monde du travail, l'entreprise dans la société,
- L'organisation du travail, le management des entreprises, les ressources humaines,

Les élèves disposeront de 8 heures pour produire un exposé par binôme ou trinôme, avec fiche de synthèse et diaporama. Une séance d'oral en classe entière sert d'évaluation du module ainsi que du module bureautique et production de document.

- Production d'une fiche de synthèse et diaporama.
- Restitution orale devant l'ensemble de la promotion

Évaluation : Fiches de synthèse + présentation orale.

Préparation à la vie professionnelle – module 1

Date de la dernière révision : juin 2020

Total d'heures : 10

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Cette formation vise à préparer l'étudiant à la vie professionnelle, par la connaissance, la compréhension et l'intégration des mécanismes qui régissent les relations interprofessionnelles.

Pour cela, des thèmes seront abordés de façon à ce que l'étudiant sache :

- Valoriser ses premiers acquis professionnels, transversaux et personnels, à travers une réflexion sur le bilan et projet, personnel et professionnel ; avec pour objectif la mise en adéquation des compétences acquises en formation d'ingénieur et le devenir personnel et professionnel auquel se destine l'étudiant.
- Savoir évaluer ses performances, repérer ses points forts, ses points à améliorer.
- Évoquer le concept d'une stratégie de « recherche d'emploi », ou la meilleure manière de démarrer sa carrière professionnelle, en passant par un objectif de réussite des stages ingénieurs.
- Savoir communiquer et convaincre un professionnel (à l'écrit et à l'oral), en particulier savoir établir un CV orienté compétence acquise (ou en cours d'acquisition) et une lettre de motivation convaincante.
- Réussir un entretien avec un professionnel, en particulier pour la recherche de stage.

Mots clés :

Pré requis : Connaissance du cursus IENM

Acquisition : Utilisation efficace d'internet, Rédaction de CV, de lettre de motivation, principes de l'entretien de recrutement

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- S'informer et communiquer

Programme détaillé :

Module 1 : Bilan de compétences et projet professionnel

- Elaborer ses démarches de recherche de stage autour d'une «stratégie de recherche d'emploi» progressive
- Bilan personnel et professionnelle
- Construire son projet personnel et professionnel d'ingénieur

Module 2 : Communiquer sur son projet professionnel

- Connaître les attentes d'un recruteur, quelle que soit la taille, les domaines d'activité, en service public ou privé

- Construire son réseau professionnel
- Construire son CV
- Construire sa lettre de motivation

Module 3 : Se préparer à l'entretien professionnel

- Préparation de l'entretien de recrutement
- Ateliers entretiens de recrutement : préparation, mise en situation, visionnage de vidéos enregistrées
- Evaluation finale et plan d'actions défini par chaque élève pour le futur

Evaluation :

Evaluation de la restitution orale des interviews-métiers et des documents écrits (interviews métiers, CV, lettres de motivation).

Pédagogie :

Alternance de théorie et d'activités pratiques, travail en groupe et en individuel
Mises en situation - Enregistrement et analyse vidéo
Remise de documents sur les notions enseignées.

Semestre 5 / UE Ingénieur premier de cordée

Anglais

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 36

Objectifs :

- Réactivation des connaissances et compétences en compréhension et expression.
- Entraînement au TOEFL (Test of English as a Foreign Language)

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Adopter la posture de chercheur

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- S'informer et communiquer

Programme détaillé :

Anglais général

- Pratique des compétences essentielles de communication :
Travaux de compréhension de l'oral et de l'écrit à partir de documents vidéo et audio (extraits d'émissions télévisées, de sites internet...), d'articles de presse généralistes et scientifiques associés à des activités d'expression (présentations, discussions, débats...)
- Révisions grammaticales
- Renforcement du lexique de l'anglais général, professionnel et scientifique
- Entraînement au TOEFL

Evaluation :

- Exposé général

Semestre 5 / UE Ingénieur premier de cordée

Gestion de projet

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 10

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le but général de l'enseignement est l'acquisition des bases de la gestion de projet. A l'issue de la formation, l'élève devra être capable de :

- distinguer les projets des autres activités et connaître les particularités du management de projet ;
- comprendre la logique du déroulement d'un projet, les activités associées et les résultats à obtenir à chaque étape ;
- utiliser, après les avoir pratiqués sur des exemples, les principaux outils du management de projet (Planning, gestion des risques).

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Gérer un projet

Mots clés :

Pré requis : Néant

Acquisition : Cahier des charges, structuration et jalonnement d'un projet, WBS et OBS, planification des activités, planning, analyse de risques, suivi des actions, indicateurs

Programme détaillé :

Définition d'un projet

- Qu'est-ce qu'un projet
- Qu'est-ce que la gestion de projet ?
- Les acteurs d'un projet

Bases de la gestion de projet

- Comment découper et structurer un projet en lots (WBS et OBS)
- Gestion des risques
- Jalonner et planifier un projet (Pourquoi un jalonnement, ses apports)
- Pilotage d'un projet (suivi de l'avancement, reporting)
- Les revues de projet (objectif associé)
- Gestion des équipes

Évaluation : sur TP

Semestre 6 / UE Sciences de l'ingénieur

Traitement du signal

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 17h

Compétences attendues en fin d'enseignement :

A l'issue de cet enseignement, les élèves doivent être capables de :

- Identifier les situations et les domaines dans lesquels le traitement du signal peut être utilisé, d'identifier les techniques de traitement du signal utilisables pour traiter ces problèmes et de discerner les techniques de traitement du signal utilisables pour traiter ces problèmes
- Appliquer un filtrage et un estimateur linéaire à des signaux de géophysique et à des signaux issus des mesures météorologiques (in situ et télédéfectées)
- Comprendre les problèmes de discrétisation, de cascades énergétiques, de changement d'espace «spectral \leftrightarrow physique».

Le cours de traitement du signal s'appuie sur ceux de mathématiques et peut en être vu comme une extension et une application.

L'ensemble de ces connaissances verront des applications dans les cours d'Analyse et Prévision numérique, d'Assimilation et Adaptations Statistiques, Turbulence, Radar, etc.

Le cours est constitué d'un cours magistral émaillé d'exercices et d'une ou deux séances de TD pour manipuler les éléments qui auront été vus afin de préparer l'évaluation.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Manipuler et analyser de gros volume de données
- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

Mots clés :

Pré requis : Éléments de mathématiques et de probabilités, notion d'analyse hilbertienne, théorie des distributions.

Acquisition : Transformée de Fourier et en Ondelettes, filtrage linéaire, discrétisation, Shannon, exemple de transformée de Fourier et de passage de l'espace point de grille à espace spectral.

Programme détaillé :

1. Application de l'Analyse Hilbertienne

- Rappels sur l'Analyse Hilbertienne et la représentation spectrale d'une fonction L^2
- La transformée de Fourier discrète
- Le fenêtrage et la transformée de Fourier fenêtré
- Introduction à la transformée par ondelettes

2. Les signaux discrets

- Courte présentation de la théorie des distributions
- Échantillonnage d'un signal continu et condition de Shannon
- Phénomène de repliement spectral

- Les densités spectrales de puissance (DSP)

3. Travaux dirigés

- Illustrations de la transformée de Fourier discrète, du filtrage linéaire et de l'échantillonnage

Evaluation : 1 épreuve écrite de 1h.

Bibliographie :

- Ten Lectures on Wavelets, I. Daubechies, SIAM, 1992
- Éléments de mathématiques du signal, H. , Dunod éditeur, 2002

Semestre 6 / UE Sciences de l'ingénieur

Probabilité et Statistique I

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 18 + 46 ; dont 3h de test

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Probabilité

En fin d'enseignement, l'élève doit être capable de :

- Reconnaître des situations types dans lesquelles utiliser les lois classiques
- Mettre en œuvres les notions acquises dans ce cours pour comprendre le cours statistiques qui le suit dans la scolarité
- Mettre en œuvre les calculs liés aux durées de retour
- Utiliser des données probabilistes pour définir le seuil de rentabilité d'une activité
- Manipuler et faire des calculs avec variables aléatoires
- Appliquer les théorèmes fondamentaux

Statistique

Le but de ce cours est de présenter des outils et méthodes statistiques utiles à l'analyse et la résolution d'études intéressant notamment un domaine lié à la météorologie : climatologie, prévision...

Lors de ce semestre sont présentés, en lien avec le cours de probabilités, les outils concernant les données uni — ou bi-dimensionnelles, ainsi que le langage R adapté aux statistiques. L'étude des données multi-dimensionnelles sera abordée dans le cours Statistique II du semestre 7.

En fin d'enseignement, l'élève doit être capable de :

- Décrire un échantillon à l'aide de méthodes graphiques et/ou de paramètres descriptifs pertinents
- Comparer entre eux plusieurs échantillons
- Vérifier une hypothèse posée sur une population
- Etudier les liaisons entre deux paramètres
- Modéliser le comportement des valeurs extrêmes

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Produire et expertiser des prévisions à long terme (mensuelles ou saisonnières) ou climatiques

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information probabiliste quantifiant l'incertitude de la prévision et en faisant preuve de pédagogie
- Améliorer la protection de son interlocuteur contre les aléas météo-climatiques futurs en exploitant les données climatologiques passées, en utilisant les outils statistiques et informatiques adaptés
- Qualifier une situation météorologique en termes de durée de retour, d'écart à la moyenne, de percentile, de record en exploitant les outils statistiques et climatologiques

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information climatique, quantifiant l'incertitude et en faisant preuve de pédagogie
- Améliorer la protection de son interlocuteur contre les aléas climatiques futurs en exploitant les données climatologiques passées, en utilisant les outils statistiques et informatiques et les résultats des méthodes de régionalisation

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Évaluer la qualité d'un modèle
- Manipuler et analyser de gros volume de données

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Rechercher, choisir, voire élaborer les différentes données nécessaires à l'étude (y compris données clients ou externe)
- Qualifier et pré-traiter les données si besoin (homogénéisation, données manquantes, valeurs aberrantes)
- Sélectionner les outils statistiques pertinents
- Analyser, critiquer, visualiser, mettre en forme les résultats et estimer l'incertitude

Probabilité

Pré-requis : Notions de probabilités et statistiques vues au lycée et en classe préparatoire scientifique. Cours de théorie de la mesure et de calcul intégral calcul intégrale de Lebesgue dispensé en début d'année à l'ENM.

Acquisition : Formalisme en théorie des probabilités, théorèmes fondamentaux, paramètres classiques des lois de probabilité, études des lois les plus courantes à une et plusieurs dimensions, matrice de variance-covariance. Point spécifique sur les vecteurs aléatoires gaussiens.

Statistique

Pré-requis : Probabilités.

Acquisition : Langage R, lois de probabilités, échantillons, estimation, tests statistiques, régression linéaire simple, valeurs extrêmes.

Programme du cours de Probabilité

1. Formalisme de base

- Notion d'espace probabilisable et d'espace probabilisé
- Probabilités conditionnelles — Événements indépendants — formule de Bayes
- Dénombrement et probabilités

2. Variables aléatoires réelles

- Définition d'une variable aléatoire
- Paramètres classiques d'une loi (espérance, variance) (rappel)
- Théorème de transfert

- Fonction de répartition
- Variables discrètes — Moments — Fonction génératrice
- Variables continues — Moments
- Fonction génératrice des moments
- Fonction caractéristique
- Loi centrée réduite
- Loi des grands nombres (rappel et approfondissement)
- Théorème central limite
- Théorème de Cochran

3. Lois de probabilités usuelles discrètes (sous forme d'exercice)

- Loi de Bernouilli (rappel)
- Loi binomiale (rappel) — Loi de Pascal
- Lois géométrique, hypergéométrique
- Loi de Poisson (rappel)

4. Lois de probabilités usuelles continues

- Loi uniforme (rappel)
- Loi de Gauss (rappel)
- Loi log-normale
- Loi de Cauchy
- Loi exponentielle (rappel)
- Famille de loi exponentielle

5. Variables aléatoires vectorielles

- Définition
- Vecteur aléatoire discret
- Vecteur aléatoire continu
- Espérance, variance, covariance, corrélation
- Espérance conditionnelle
- Fonction caractéristique
- Loi normale multidimensionnelle
- Théorème central limite (en dimension n)
- Loi du χ^2
- Loi de Student
- Loi de Fisher — Snedecr

Programme du cours de Statistique

1. Introduction à la statistique

- Définition — historique
- Champs d'application
- Etapes d'une étude statistique
- Notions de population et d'échantillon

2. Statistique descriptive

- Séries statistiques, types de données
- Représentations graphiques
- Paramètres de position
- Paramètres de dispersion
- Paramètres relatifs à la mesure de la dissymétrie et de l'aplatissement (facultatif)

3. Estimation

- Problèmes et techniques d'échantillonnage
- Estimations des paramètres moyenne, variance et proportion
- Estimation par maximisation de la vraisemblance
- Lois des estimateurs dans le cas de grands échantillons
- Lois des estimateurs de la moyenne et de la variance dans le cas de petits échantillons
- Intervalle de confiance

4. Tests statistiques : principes généraux

- Principes généraux d'un test statistique
- Hypothèses de test
- Niveau et risques de 1^{ère} et 2^{ème} espèces
- Statistique de test
- Zones de rejet d'un test
- P-value

5. Tests statistiques : comparaison d'échantillons

- Tests de comparaison des moyenne et variance de 2 échantillons dans le cas de grands échantillons
- Tests de comparaison des moyenne et variance de 2 échantillons dans le cas de petits échantillons

6. Test du Chi-deux

- Définition du test — conditions d'utilisation
- Test de conformité à une loi théorique
- Test d'homogénéité de plusieurs échantillons
- Test d'indépendance entre deux variables

7. Contingence

- Table de contingence
- Expression de l'indépendance
- Expression de la liaison fonctionnelle
- Etude de la liaison entre deux paramètres
- Utilisation du test du Chi-deux d'indépendance : coefficient de Tshuprow, interprétation des fortes contributions au Chi-deux
- Evaluation de la qualité d'un modèle de prévision de phénomènes : scores basés sur une table de contingence

8. Outils pour l'étude de la normalité

- Graphiques
- Droite de Henry
- QQplot
- Test du Chi-deux de conformité
- Test de Shapiro-Wilk
- Test de Kolmogorov-Smirnov

9. Régression linéaire simple

- Présentation générale
- Coefficient de corrélation linéaire, interprétation, test de significativité
- Modèle de régression linéaire simple : définition et hypothèses
- Droite de régression, estimation des paramètres, tests de significativité
- Qualité des ajustements, intervalles de confiance et de prévision
- Applications à la météorologie

10. Théorie des valeurs extrêmes

- Durée de retour
- Méthode par blocs : loi GEV
- Méthode à seuil : loi GDP

11. Apprentissage des bases du logiciel R

Modalités d'évaluation : 2 épreuves écrites : l'une de 1h, l'autre de 2h.

Bibliographie

- Support de cours donnés aux élèves et remis à jour annuellement
- Statistique La théorie et les applications de Michel Lejeune édition Springer
- Probabilité et statistiques analyse des données de Gilbert Saporta édition Technip
- An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values de Stuart Coles chez Springer
- www.wikistat.fr

Semestre 6 / UE Sciences de l'ingénieur

Mécanique des fluides et des solides

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 46 (dont 32h de cours et 12 de TP)

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique
- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Modéliser les milieux en interaction avec l'atmosphère

Programme du cours :

1. Mécanique des solides

- (a) Solide rigide (2h TP)
 - ✓ i. Torseur cinématique et partie anti-symétrique du gradient des vitesses
 - ✓ ii. Principe fondamental de la dynamique
- (b) Solide déformable (Hook) (2h TP)
 - ✓ i. Tenseur des contraintes et des déformations
 - ✓ ii. Méthode de résolution sur des cas simples

2. Mécanique des fluides (Newtonien)

- (a) Statique des fluides (2h TP)
 - ✓ i. Calcul de pression
 - ✓ ii. Tension de surface
 - ✓ iii. Poussée d'Archimède et centre de poussée
- (b) Cinématique des fluides
 - ✓ i. Vitesse et accélération en approche Euler-Lagrange
 - ✓ ii. Fluide irrotationnel et fluide isovolume
- (c) Dynamique des fluides non visqueux (2h TP)
 - ✓ i. Equation de Navier et théorème de Bernoulli
 - ✓ ii. Force exercée sur un obstacle
- (d) Dynamique des fluides visqueux (2h TP)
 - ✓ i. Equation de Navier-Stokes
 - ✓ ii. Mise sous forme adimensionnelle, nombre de Reynolds
 - ✓ iii. Ecoulement laminaire, Poiseuille
 - ✓ iv. Ondes de surface et onde acoustique
- (e) Dynamique des fluides visqueux avec convection thermique (2h TP)
 - ✓ i. Equations de conservation
 - ✓ ii. Mise sous forme adimensionnelle, nombre de Rayleigh

Modalités d'évaluation : Test écrit de 2h.

Semestre 6 / UE Sciences météo-climatiques

Circulation générale atmosphérique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 23

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le but de ce cours est de développer la connaissance de la dynamique atmosphérique observée à grande échelle, la théorie de la circulation axisymétrique stationnaire des latitudes tropicales, et la contribution des tourbillons, transitoires et stationnaires, à la dynamique de grande échelle.

En fin d'enseignement, l'élève doit être capable de décrire la circulation atmosphérique à grande échelle et connaître les modèles conceptuels qui permettent de comprendre ces mouvements. Le TP permet d'appréhender l'impact du chauffage aux latitudes intertropicales sur la circulation à l'aide d'un modèle simple. Les acquis de ce cours seront mobilisés dans les matières météo-climatiques connexes : système climatique, dynamique de l'océan, dynamique des moyennes latitudes, météorologie tropicale, dynamique des fluides numériques, chimie atmosphérique.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Présenter les différents scénarios climatiques à échelle globale et/ou régionale en expliquant le fonctionnement de la machine climatique, en expliquant les sources de variation, en différenciant les causes naturelles et anthropiques de variation

Mots clés :

Pré-requis : bases de thermodynamique, de dynamique, d'ondes et de rayonnement atmosphériques

Acquisition : bilan radiatif et transports méridiens, cellules de Hadley, modèle de Held & Hou, perturbations transitoires et stationnaires, ondes de Rossby planétaires et synoptiques, modèle barotrope forcé, tracé de rayons, énergétique atmosphérique.

Programme du cours :

I. Circulation en moyenne zonale

1. Du bilan radiatif vers le mouvement
2. Latitudes intertropicales : Circulation de Hadley
3. Moyennes latitudes

II. Aspects tridimensionnels de la circulation

1. Ondes de Rossby stationnaires planétaires
2. Ondes de Rossby transitoires synoptiques

III. Conversions énergétiques (COURS INVERSE)

1. Energies globales
2. Energies cinétiques et potentielles
3. Contributions zonales et tourbillonnaires

IV. TP : modèle de circulation générale (en collaboration avec CNRM)

1. Etude d'un modèle méridien-vertical de circulation générale : cellule de Hadley, jet, conservation du moment cinétique...

Modalités d'évaluation :

- sur TP et sur l'analyse / restitution d'articles scientifiques (travail en groupe sur la partie III du cours)

Bibliographie

Principales références :

- Holton, J. R., & Hakim, G. J., 2013 : Introduction to dynamic meteorology. (5th ed.). Amsterdam : Academic Press.
- James, I. N., 1994 : Introduction to Circulating Atmospheres. Cambridge University press.
- Malardel S., 2005 : Fondamentaux de Météorologie : à l'école du temps, Ed. Cepaduès.

Autres références :

- Vallis G. K., 2006. Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Fundamentals and Large-Scale Circulation. Cambridge University Press.
- Gill, A. E., 1982. Atmosphere-Ocean Dynamics. Academic press
- Pedlosky, J., 1987. Geophysical Fluid Dynamics. 2nd edition. Springer-Verlag.

Dynamique des moyennes latitudes

Date de la dernière révision : juillet 2020

Total d'heures : 30

Compétences attendues en fin d'enseignement :

L'objectif de ce cours est de mettre en place quelques modèles théoriques et conceptuels importants permettant de comprendre l'évolution de l'atmosphère des latitudes moyennes à l'échelle synoptique.

A l'issue de ce cours, l'élève doit être capable de mobiliser ses connaissances théoriques dans le domaine pour étudier les données d'analyse et de prévision du temps dans les zones tempérées et identifier les processus dynamiques en œuvre. Il doit aussi être capable d'appliquer les concepts vus dans ce cours pour la compréhension du système d'analyse et de prévision numérique du temps aux moyennes latitudes et pour mener des analyses d'articles scientifiques dans le domaine.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Analyser une situation météo en tout point du globe
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)
- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

Mots clés :

Pré-requis : cours de physique de l'atmosphère en semestre 5 (grands équilibres atmosphériques, système quasi-géostrophique, tourbillon potentiel), linéarisation.

Acquisition : modes de variabilité aux moyennes latitudes, modèle d'instabilité barocline d'Eady, modèle idéalisé de troposphère à tourbillon potentiel uniforme, cyclogénèse barocline, forçage géostrophique, diagnostic de Hoskins de la vitesse verticale, interaction barocline, frontogénèse, déformation, semi-géostrophisme, principe de l'inversion du tourbillon potentiel, sources d'anomalies de tourbillon potentiel dans l'atmosphère, modèle lagrangien des bandes transporteuses, énergies potentielles et cinétiques des perturbations, cycle énergétique barocline.

Programme du cours :

1. Présentation des moyennes latitudes

1. Climatologie
2. Variabilité interannuelle : oscillation Nord Atlantique (NAO)
3. Variabilité intrasaisonnière : régimes de temps
4. Variabilité synoptique : ondes de Rossby
5. Variabilité synoptique : rails des dépressions, perturbations baroclines
6. Transports méridiens d'énergie aux moyennes latitudes

2. Théorie linéaire de l'instabilité barocline (autonomie)

3. Cyclogenèse barocline : mécanismes QG

1. Cyclogenèse : introduction et définition
2. Modèle idéalisé de troposphère à tourbillon potentiel uniforme
3. Mécanismes baroclines : le forçage géostrophique
4. Cyclogenèse par interaction barocline

4. Frontogenèse : cinématique et dynamique

1. Pré-requis : notion de déformation
2. Cinématique de la frontogenèse
3. Dynamique de la frontogenèse

5. TP : cyclogenèses idéalisées dans un modèle à tourbillon potentiel uniforme

6. Tourbillon potentiel, outil pour comprendre le creusement des dépressions

1. Notion d'inversion du tourbillon potentiel
2. Anomalies de tourbillon potentiel dans l'atmosphère
3. Approche en tourbillon potentiel des cyclogenèses baroclines
4. Exemples d'utilisation de l'inversion du tourbillon potentiel

7. Scénarios de cyclogenèses réelles

1. Scénarios de cyclogenèses
2. Etude de tempêtes remarquables (site era5storms)

8. Aspects lagrangiens dans les perturbations baroclines

1. Modèle lagrangien des bandes transporteuses
2. TP : étude d'une bande transporteuse chaude

9. Aspects énergétiques (2h)

1. Notion d'énergie potentielle utilisable
2. Evolution des énergies potentielle et cinétique
3. Cycle énergétique barocline

Modalités d'évaluation :

- Epreuve écrite : 2h et TPs évalués

Bibliographie

- Malardel S., 2005 : Fondamentaux de Météorologie : à l'école du temps, Ed. Cepaduès.
- Holton, J. R., & Hakim, G. J., 2013 : Introduction to dynamic meteorology. (5th ed.). Amsterdam : Academic Press.
- Lackman G., 2011 : Midlatitude Synoptic Meteorology : Dynamics, Analysis, and Forecasting, American Meteorological Society.
- Martin J. E., 2006 : Mid-Latitude Atmospheric Dynamics: A First Course. ISBN: 978-0-470-86465-4. 336 pages.
- De Moor, G. et Veyre, P., 1991 : Les bases de la météorologie dynamique. Cours et manuels. Météo-France.

Semestre 6 / UE Sciences météo-climatiques

Dynamique de la convection

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 16

Compétences attendues en fin d'enseignement :

- Comprendre l'importance et le rôle crucial de la convection sur le globe.
- Classer les phénomènes convectifs en fonction de leurs échelles spatio-temporelles, identifier les principales structures et phénomènes associés.
- Analyser la structure de l'atmosphère conduisant à des phénomènes convectifs violents.
- Établir les lois physiques qui gouvernent la convection. Appliquer diverses approximations selon les phénomènes à étudier ou le contexte d'étude.
- Savoir distinguer les processus qui relèvent de la dynamique et ceux qui relèvent de la physique dans un modèle de prévision numérique du temps.
- Maîtriser les bases physiques permettant d'analyser les différents processus associés à la convection.
- Utiliser les lois de la thermodynamique atmosphérique afin d'étudier le mouvement vertical d'une particule d'air sec, humide ou saturée et les processus d'instabilité verticale à l'origine de la formation des nuages convectifs.
- Distinguer les différents stades de la convection.
- Décrire comment les processus convectifs sont pris en compte dans les modèles.
- Analyser l'impact de la convection sur les variables thermodynamiques de l'atmosphère.
- Appliquer les concepts de circulation, de tourbillon et d'entraînement pour la compréhension de la dynamique des cellules convectives.
- Maîtriser l'influence du cisaillement sur l'organisation de la convection.
- Mettre en place le système d'équations (cadre Boussinesq), particulièrement adapté à l'étude de la dynamique convective.
- Maîtriser les outils qui permettent de quantifier les effets de la convection sur la grande échelle.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Analyser une situation météo en tout point du globe
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)
- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat

- Évaluer la qualité d'un modèle
- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

Mots clés :

Pré-requis : Cours de physique de l'atmosphère, introduction au climat, mécanique des fluides. (newtonnienne). Outils mathématiques : champs scalaires, champs de vecteurs, opérations vectorielles, dérivée eulérienne, dérivée lagrangienne, développement limité, opérateurs gradient, divergence, rotationnel et laplacien.

Acquisition : flottabilité, CAPE, CIN, analyse en ordre de grandeur, équilibre hydrostatique, circulation, tourbillon, orage multicellulaire, super cellulaire, hélicité, Q1/Q2/Q3, courant de densité, entraînement, paramétrisation, updraft, downdraft, ligne de grain, C3M, MCC, système en V, divergence, interaction échelle.

Programme du cours :

1. Généralités — éléments descriptifs de la convection

- Introduction — Observation de la convection
- Convection tropicale
- Convection aux moyennes latitudes
- Cycle diurne de la convection

2. Dynamique et thermodynamique des écoulements de petite échelle

- La flottabilité et la théorie de la particule
- Le système de Boussinesq
- Le tourbillon
- Le cisaillement
- L'entraînement

3. Convection peu profonde et thermique

- Théorie
- Illustration

4. Déclenchement de la convection

- L'orographie
- Le rôle la grande échelle
- La CIN
- Convergence d'humidité
- CAPE

5. Organisation de la convection

- Le rôle du cisaillement
- Cellules isolées
- Organisations multicellulaire
- Super cellules

6. Les systèmes convectifs de meso-échelle

- Caractéristiques générales
- Lignes de grain
- Rear inflow — bow echoes

- MCC

7. Les effets de la convection sur la grande échelle

- Théorie : Q1-Q2, flux de masse
- Exemple d'étude de Q1/Q2 sur le cas AMMA de juillet 2006

Modalités d'évaluation : Test écrit de 1h

Bibliographie

- Malardel S., 2005 : Fondamentaux de Météorologie : à l'école du temps, Ed. Cepaduès.
- Houze, 2004 : clouds dynamics, Ed. Academic press
- Bechtold, 2011, Atmospheric Moist convect, Ed. ECMWF, 2011
- Markowski et al : Mesoscale Meteorology in midlatitude, 2011, Ed Wiley-lackwell

Semestre 6 / UE Sciences météo-climatiques

Dynamique de l'Océan

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 15

Compétences attendues en fin d'enseignement :

- Connaître les propriétés de base de l'océan : sa composition, ses propriétés, ses mouvements,
- Connaître les mécanismes de base des interactions océan-atmosphère, et leur rôle à différentes échelles de temps,
- Savoir décrire et interpréter la circulation océanique dans quelques bassins ciblés (Pacifique/Atlantique équatorial, Atlantique nord, hautes latitudes),
- Savoir décrire un état de la mer,
- Connaître l'organisation des services océaniques en France et en Europe,
- Connaître les moyens d'observation satellitaire et in-situ, et leur utilisation dans la prévision opérationnelle et l'étude du climat.

A l'issue du cours, l'élève doit être capable :

- D'utiliser les notions acquises pour traiter un problème d'océanographie (courants, masses d'eau, vagues, marées) faisant intervenir notamment la modélisation du milieu marin,
- De s'adapter à la prévision des états de la mer.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Analyser une situation météo en tout point du globe
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)
- Conseiller l'usager en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle

Programme détaillé :

1. Description physique de l'océan

- Influences atmosphériques
- Bilan de chaleur de l'océan

- Température, salinité et densité
- Mesures in-situ

2. Circulation générale de l'océan

- Equations du mouvement
- Modèle d'eau peu profonde
- Courant géostrophique
- Circulation de surface liée aux vents (théorie d'Ekman)
- Modèles des gyres océaniques

3. Circulation équatoriale

- Courants équatoriaux
- Guide d'onde équatoriale
- ENSO

4. Processus des hautes latitudes et circulation thermohaline

- Glace de mer
- Formation d'eau profonde
- Notion de masses d'eau
- Circulation thermohaline

5. Les vagues

- Théorie linéaire des vagues
- Etat statistique de la mer
- Prévision des vagues

6. Niveau marins

- Processus côtiers
- Théorie et prévision des marées
- Modélisation et prévision des surcôtes

7. Services de météorologie marine et d'océanographie

- Missions, organisation, production, outils et R&D à Météo France
- Organisation de l'océanographie opérationnelle en France et en Europe

8. L'observation de l'océan par satellite

- Introduction
- Les capteurs passifs
 - La radiométrie infra rouge
 - La radiométrie micro-ondes
- Les capteurs actifs
 - Le radar diffusiomètre
 - Le radar altimètre

Modalités d'évaluation : Test écrit de 1h

Semestre 6 / UE Sciences météo-climatiques

Couche limite atmosphérique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 27

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Analyser une situation météo en tout point du globe
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)
- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle

Programme détaillé :

Séance 1 (Introduction) : Présentation générale : introduction à la turbulence. Motivations d'étude de la CLA. Définition de la CLA et de ses états

Séance 2 (Turbulence) : Définition et origine de la turbulence et nombre de Richardson ; approche spectrale (Éléments de dynamique spectrale à 3 dimensions : représentation spectrale ; nombre d'ondes caractéristiques (énergétique, dissipatif...) ; loi de Kolmogorov à 3 dimensions en turbulence homogène isotrope, incompressible ; pertinence de cette loi pour la turbulence dans la CLA)

Séance 3 (Outils) : Analyse dimensionnelle et théorie de similitude
TD (1h): Analyse dimensionnelle

Séance 4 (Équations) :

Notations d'Einstein

Échelle du continuum et équations de Navier Stokes

Équations de mécanique des fluides à l'échelle du Laboratoire

De Navier-Stokes à Boussinesq : hypothèses simplificatrices et termes de flottabilité

Séance 5 (Équations) :

Moyenne d'ensemble et moyennes spatio-temporelles ; choix "optimum" d'un opérateur de moyenne

Équations de Reynolds et interprétation physique des termes de Reynolds

Modèle homogène horizontalement de la CLA ; simplification dans ce cadre des équations de Reynolds

Problème de fermeture

Séance 6 (TD des séances 4 et 5) :

TD (1h) : Introduction de l'humidité dans le système de Boussinesq pour la CLA

TD (1h) : Tension de Reynolds dans la CLP ; Établissement de l'équation pronostique de la TKE

Séance 7 (Outils) : Moyens d'étude et technique de mesure.

Séance 8 (TP1) : Visite du parc à instruments ; préparation et lâché de RS

Séance 9 (Équations) :

Équations aux moments d'ordre supérieur et TKE

Énergétique de la turbulence : productions dynamique, thermique ; dissipation ; diffusion

Séance 10 (TP 2) : Exploitation des stations de flux et du lâché de RS (une semaine maximum après TP 1)

Séance 11 (Modélisation) :

Principe des théories semi-empiriques et des théories d'ordre supérieur

Modèles conceptuels de la couche limite : théorie semi-empirique, couche d'Ekman, paramétrisation de la couche limite (AROME et ARPEGE)

Séance 12 (CLS) : Description des phénomènes proches de la surface : couche limite de surface, théorie des similitudes de Monin-Obukhov, flux de surface

Séance 13 (CLA) : Description des différentes structures de couches limites : énumérations des propriétés des couches limites convective, stable, nuageuse et structures de méso-échelle

Modalités d'évaluation : TD (à la maison) et 1 test écrit de 1h.



Semestre 6 / UE Sciences météo-climatiques

Rayonnement

Date de la dernière révision : mars 2020
Total d'heures : 15 dont 10h de cours et 4h TP

Compétences attendues en fin d'enseignement :

En fin de cours, l'élève doit être capable de :

- Situer les lois physiques régissant les mécanismes d'interaction du rayonnement avec la matière et en particulier l'atmosphère,
- Comprendre et manipuler les principales grandeurs, équations et modélisations décrivant les effets du rayonnement en météorologie,
- Intégrer les effets du rayonnement dans l'analyse des situations météorologiques et de leur évolution.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

Programme du cours :

1. Introduction générale au rayonnement

- Définitions : rayonnement, grandeurs énergétiques, corps noir
- Notions de base : séparation spectrale, processus et agents radiatifs
- Généralités sur le bilan radiatif du système terre / atmosphère

2. Equation du transfert radiatif

- Bilan radiatif dans un élément de volume
- Intégration verticale de l'équation du transfert radiatif
- Conditions aux limites et méthodes de résolution de l'équation

3. Absorption par les gaz atmosphériques

- Spectroscopie des raies d'absorption et d'émission
- Application : chauffage et refroidissement radiatifs

4. Diffusion par les gaz et les particules

- Diffusions Rayleigh, Mie et optique géométrique
- Application : diffusion multiple dans un nuage

5. Télédétection de l'atmosphère

- Principe de l'inversion de l'équation du transfert radiatif
- Méthodologie et illustrations suivant le domaine spectral

6. Le rayonnement dans les modèles et sa paramétrisation

- Principales caractéristiques des codes de rayonnement utilisés à Météo-France (Arpège...)

Evaluation : Epreuve écrite de 1h.

Semestre 6 / UE Traitement de données géophysiques

Outils du calcul scientifique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 33

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Ce cours a pour objectif d'assurer les pré-requis pour la modélisation et la recherche (et commencer à identifier les étudiants motivés par un parcours « calcul ») :

- utiliser des outils de calcul et de visualisation scientifiques
- traduire un algorithme dans un langage compilé
- corriger et optimiser un programme informatique

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Utiliser les outils de visualisation de données géo-référencées

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle
- Manipuler et analyser de gros volume de données

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Mettre en œuvre et configurer les outils de simulation numérique pertinents

Mots clés :

Calcul scientifique, visualisation scientifique, scipy, numpy, matplotlib, Fortran, langage compilé, calcul intensif, traitement par lot, parallélisation de code

Programme du cours :

- **Visualisation scientifique** : les bibliothèques Python numpy et matplotlib (6h en 1/2 groupe)
- **Fortran** : notion de langage compilé, typage statique, contrôle de flux, sous-programmes, types dérivés, tableaux, interface Python/Fortran (24h en 1/2 groupe)
- **Introduction au calcul intensif** : notion de supercalculateur, principe du traitement par lot, définition de la parallélisation de code (3h en classe entière)

Evaluation : individuelle (TP Fortran ou Python/Fortran de 3h), niveau attendu à déterminer avec C3M (validation d'un niveau A ?)

Génie logiciel 1

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 51

Compétences attendues en fin d'enseignement :

L'objectif est d'amener les étudiants à saisir la nécessité d'organiser les développements informatiques et respecter les bonnes pratiques, essentiellement en tirant partie de leurs réussites/échecs lors du projet logiciel :

- respecter les différentes étapes de réalisation d'un projet logiciel
- coder de façon modulaire, lisible, efficace et factorisée
- développer ses capacités d'organisation, d'autonomie et de travail collaboratif
- présenter son travail de façon concise et pertinente, en s'adaptant à l'interlocuteur

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- S'intégrer efficacement dans une équipe de production opérationnelle en continu

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Mettre à disposition les données sous un format standard et en gérant les droits d'accès
- Construire une chaîne de traitement logiciel comme un ensemble de composant réutilisables et inter-opérables
- Utiliser les outils de visualisation de données géo-référencées
- Maintenir la chaîne de production en conditions opérationnelles

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Organiser son travail efficacement en autonomie

Mots clés :

Génie logiciel, projet logiciel, spécifications, conception, codage informatique, intégration logicielle, recette, maintenance logicielle

Programme du cours :

- Introduction au génie logiciel : définition, intérêt, cycles de vie (3h en classe entière) [Franck Ayrault]
- Projet « logiciel » — 1ère partie (48h, en trinôme) [encadrement Franck Ayrault]

Evaluation :

- validation du niveau A (mise en application avec guidage) des capacités «*Réaliser des composants logiciels facilement maintenables en appliquant les bonnes pratiques de génie logiciel*» et «*Construire une chaîne de traitement logiciel comme un ensemble de composants réutilisables et interopérables*», basée sur l'évaluation du projet logiciel.

Semestre 6 / UE Production d'information météo-climatique

Situations météorologiques types et modèles conceptuels associés

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 47 face à face (dont 3h de tests) + 7 en autonomie

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le cours d'analyse et prévision du temps s'étend sur 4 semestres. Il s'agit d'aborder les concepts et les méthodes les plus novateurs permettant de réaliser une analyse puis une prévision météorologique. L'objectif est également de sensibiliser les élèves à la valeur ajoutée du prévisionniste dans la chaîne opérationnelle de prévision du temps. Cet enseignement prend essentiellement la forme de cours/TD, faisant appel aux outils utilisés par les prévisionnistes de Météo-France, mais également à d'autres outils externes à l'établissement. L'accent est également mis sur des séances de travail en autonomie, sur des activités de prévision grandeur nature et temps réel, notamment dans le domaine du conseil météorologique, et sur des activités transversales inter-départements thématiques (développement d'utilitaires pour des applications météorologiques, activités en langue anglaise, etc.).

A l'issue de cet enseignement, les élèves disposeront des compétences requises pour formuler et produire leur expertise dans tous les domaines de la prévision météorologique, et à différentes échéances, allant de la prévision immédiate jusqu'aux échéances des prévisions mensuelle et saisonnière.

Après un 1^{er} semestre consacré à la prise en main des outils, données, et concepts de base de l'analyse météorologique, le 2^e semestre est orienté « schémas conceptuels » à différentes échelles spatiales. Ce semestre alterne des cours de présentation de phénomènes et des TD d'études de situations météorologiques associées aux principales problématiques que doit traiter le prévisionniste opérationnel : perturbation barocline, situation à neige ou verglas, situation à brouillard, situation à convection profonde. Ces études sont effectuées d'abord en autonomie, avec mise à disposition de supports pédagogiques, puis sont encadrées par les intervenants PAM. Elles sont menées depuis l'échelle supra-synoptique jusqu'aux enjeux locaux en temps sensible. Le but ultime étant de produire des cartes de type nébuls techniques, des bulletins techniques et/ou des anasyg. Ces productions sont effectuées à l'aide des données de PNT mais aussi d'observation (en mode analyse), ou bien en mode prévision « modèle parfait ».

Concrètement, le semestre débute par la poursuite de l'apprentissage des schémas conceptuels de l'échelle synoptique via une approche pratique de l'interaction barocline (en s'appuyant sur les cours théoriques donnés par C3M) : cyclogénèse et frontogénèse. Ce cours est l'occasion de présenter les outils d'analyse technique synoptique que sont les ANASYG et les PRESYG qui seront tracés. Par la suite, une étude de situation archivée de perturbation barocline est proposée.

Après des notions de types de temps, de circulations, avec focus sur la France, et liens avec la variabilité basse fréquence de l'atmosphère (régimes de temps), des supports pédagogiques enrichis seront proposés aux élèves (nébuls-types, phénomènes extrêmes par saison, records, etc.) avec des activités en présentiel sous forme de quiz.

Ensuite, un panorama (non exhaustif !) des phénomènes de couche limite sera proposé, puis les élèves enchaîneront avec l'étude en profondeur des 3 situations météorologiques restantes : neige-verglas, brouillard et convection.

En fin d'enseignement, l'élève doit être capable d'étudier n'importe quelle situation météorologique des moyennes latitudes, depuis l'échelle synoptique jusqu'à l'échelle locale en analyse et avec des notions de prévision en mode « modèle parfait ». Il doit être capable d'identifier les différents modèles conceptuels liés aux phénomènes météorologiques de ces latitudes, que ce soit au niveau des données observées que des données issues des modèles de PNT, qu'ils soient globaux et hydrostatiques (ARPEGE) ou bien à aire limitée et simulant la convection profonde (AROME). Cette expertise doit pouvoir se traduire par la production en temps contraint de nébuls techniques, anasygs, et presygs, et des commentaires associés (cadrage type Centre National de Prévisions).

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Analyser une situation météo en tout point du globe

Mots clés :

Pré-requis : Fluides géophysiques vus en semestre 1 ; Régimes de temps (C3M), semestre 1 d'analyse – prévision ; Pour la thématique convection profonde, cours théorique de C3M.

Acquisition : Situations météorologiques, échelle synoptique, cyclogénèses/tempêtes, frontogénèse, fine échelle, modèles conceptuels, neige-verglas, brouillard, convection, interaction barocline, régimes de temps, types de temps, nébuls-types, extrêmes, records.

Programme du cours :

1) Rappels sur l'interaction barocline (8h)

- Bases théoriques (approche qualitative) : co-animation C3M
- Données observées (signatures vapeur d'eau / ISP / ozone) et champs modèles utiles (Z1.5 PVU, Vitesses Verticales, Tourbillon absolu, divergence/convergence, diffluence/confluence).
- Compléments frontologiques (dont front froid dédoublé, amas convectif).
- Illustrations sur situation du jour (Synopsis) et/ou récentes (tempête Egon) en collégial. Mise à disposition de supports illustrés sur situation fil rouge.

2) Synthèse interaction barocline (4h) : production d'un anasyg - TP synopsis

- Méthodologie de tracé et d'analyse (ressources en ligne sur la méthodo de tracé).
- Production anasyg : TD Synopsis sur situation du jour.

3) TD cyclogénèse et frontogénèse (6h + autonomie 2h)

Etude synoptique générale (mode analyse) : dépôt préalable de contenu sur Ecole numérique et Synopsis. Préparation d'une restitution orale. Description technique de la situation, phénomènes probables/possibles. Etude technique synoptique et étude temps sensible (mode analyse) + aspect prévision en mode modèle parfait en fin de TD (jusqu'à 24h par exemple). Production d'un PRESYG et d'une nébul technique.

4) Evaluation sur Synopses ou un support numérique (2h)

5) Circulations-types sur l'Europe occidentale et variabilité basse fréquence de l'atmosphère ; climatologie dynamique (3h)

- Climats de France : phénomènes typiques par saison, phénomènes extrêmes (historiques), répartition géographique : ressources pédagogiques en ligne + **validation par quiz...auto-formation**. Mise à disposition de supports pédagogiques enrichis avec nébul-types, phénomènes associés (synoptique et locaux), cartographie des phénomènes significatifs typiques par saison (France).
- Lien avec la variabilité basse fréquence de l'atmosphère (régimes de temps, modes de variabilité).

6) Phénomènes de couche limite (3h)

- a. Phénomènes forcés par flux synoptique rapide (orographie, vents locaux, foehn), effet sur les paramètres temps sensible.
- b. Phénomènes par flux synoptique faible : brises, inversions, effets de cuvettes ou de plateaux, îlots urbains, brouillards, nuages bas, entrées maritimes. Effet sur les paramètres temps sensible. Notion de représentativité d'un site de mesures.

Mise à disposition de ressources en ligne : fiches du portail prévision.

7) Suite des études de situations par phénomènes/modèles conceptuels, en mode entonnoir (du supra-synoptique vers les enjeux locaux en temps sensible) : perturbations baroclines (déjà fait !), neige-verglas, brouillard, convection profonde, (3*6 = 18h + autonomie)

- **3 études synoptiques en autonomie** (mode analyse) : avec dépôt préalable de contenu sur Ecole numérique et Synopses. Préparation d'une restitution orale. Description technique de la situation, phénomènes probables/possibles.
- **3 CTD** face à face pour restitution étude synoptique et étude temps sensible (mode analyse) + aspect prévision en mode modèle parfait en fin de TD (jusqu'à 24h par exemple). Production de nébul techniques (observée ou prévue), zonages de phénomènes, ou anasyg/presyg. Situations archivées portant chacune sur un paramètre/type de temps différent. Utilisation du modèle AROME pour les paramètres spécifiques à chaque phénomène (convection et brouillards notamment).
- *1 CTD conjoint C3M inversion PV / interaction barocline (CTPini) ? Cyclogénèse, frontogénèse....*

Mise à disposition de supports pédagogiques enrichis : paramètres modèles pertinents par phénomène.

- Neige-verglas
- Nuages bas / brouillards
- Convection Profonde

8) Évaluations (3h) sur outil informatique

- QCM sur école numérique (1h)
- Etudes de situations sur les phénomènes étudiés (descriptif/qualitatif + correspondances avec champs modèles) (2h)

Modalités d'évaluation :

- Atelier Synopsis frontologie / Perturbations baroclines puis QCM pour les autres chapitres du semestre.

Bibliographie :

- «Concepts et méthodes pour le météorologiste – Tome 1» - Christophe Calas. Cours et Manuel n°21. Météo-France. 2013
- Forum autour de la prévision (Moodle)
- Portail Formation du Prévisionniste <https://pfp.enm-toulouse.fr/>

Semestre 6 / UE Ingénieur premier de cordée

Anglais

Date de la dernière révision : juin 2020

Total d'heures : 36

Objectifs :

- Renforcement des connaissances et compétences en anglais général.
- Etude de documents scientifiques généraux et de spécialité et acquisition de vocabulaire afférent.
- Entraînement au TOEFL.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Adopter la posture de chercheur

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- S'informer et communiquer

Programme détaillé :

Anglais général et préparation au TOEFL

- Pratique des compétences essentielles de communication :
Travaux de compréhension de l'oral et de l'écrit à partir de documents vidéo et audio (extraits d'émissions télévisées, de sites internet...), d'articles de presse généralistes et scientifiques associés à des activités d'expression (présentations, discussions, débats...)
- Révisions grammaticales
- Renforcement du lexique de l'anglais général, professionnel et scientifique
- Entraînement au TOEFL

Anglais scientifique et de spécialité

- Activités de compréhension et d'expression à partir de supports variés (écrits, vidéos) ayant trait à la science, à la météorologie et à la climatologie
- Entraînement à la compréhension/restitution et traduction de bulletins météorologiques
- Exploitation d'émissions TV, de vidéos et de sites internet météorologiques
- Lecture, compréhension, analyse et traduction de documents météorologiques
- Entraînement à la présentation de bulletins météorologiques en anglais
- Acquisition du vocabulaire de spécialité : anglais de la météorologie, de la climatologie, de la science en général

Evaluation :

- Exposé scientifique associé à un court exercice de traduction spécialisée.

Semestre 6 / UE Ingénieur premier de cordée

Techniques de communication orale

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 10

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le cours de « techniques d'expression » avait commencé au 1^{er} semestre en traitant de l'étude de la dynamique des groupes restreints, la prise de décision en groupe et les techniques de réunion. Il se poursuit ici en traitant de la communication orale et des relations humaines interindividuelles au travail.

Les objectifs de formation sont de :

- Comprendre les techniques de prise de parole en public
- Appréhender les techniques de communication verbale et non verbale
- Appréhender les relations interpersonnelles en milieu professionnel

A l'issue de cet enseignement, l'élève doit être capable de :

- Prendre la parole en public plus facilement qu'avant
- Structurer un exposé scientifique
- Être clair dans son exposé, savoir faire passer un message
- Appliquer les notions acquises lors des relations interpersonnelles en milieu professionnel

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Communiquer sur l'actualité météo-climatique récente ou prévue

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Communiquer en contexte de crise ou de polémique, à l'oral et à l'écrit en s'assurant de l'unicité du message transmis vers l'externe

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Mettre en œuvre une stratégie de communication de l'information climatique et de son incertitude

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Présenter et valoriser les résultats auprès du client, mesurer sa satisfaction tout au long de l'étude

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- S'informer et communiquer

Programme du cours :

La communication verbale et non verbale

- Introduction au thème général de la communication et des relations interpersonnelles
- Mise en situation de la prise de parole en public
- Le BA-ba de la communication
- La prise de parole en public

Le MBTI, outil de connaissance de soi

- Présentation et application de l'outil
- Les différentes façons de s'exprimer

La prise de parole en public

- Mise en scène individuelle de prise de parole en public et commentaires

Les relations interpersonnelles

- Les techniques d'écoute active : le langage, le questionnement, la reformulation
- Les comportements types face à autrui

Evaluation :

Le mode d'évaluation sera précisé par l'intervenant en début de formation.

Pédagogie :

Alternance de théorie et d'activités pratiques, travail en groupe et en individuel
Nombreuses mises en situation - Enregistrement et analyse vidéo
Remise de documents sur les notions enseignées.

Concepts économiques fondamentaux

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 15

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le monde économique actuel est caractérisé par une logique de libéralisation des marchés et de globalisation. Ce processus concerne aussi bien les marchés qui ont tendance à se mondialiser, que les stratégies d'acteurs qui, elles aussi, deviennent planétaires. Pour pouvoir appréhender ces changements, il est nécessaire de maîtriser les principaux concepts de l'analyse économique. L'objectif de ce cours est de donner aux élèves ingénieurs ces outils afin de comprendre l'évolution de l'économie aujourd'hui.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Étudier le marché, élaborer une offre commerciale

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe

Programme du cours :

Introduction : la place de l'économie dans les sciences sociales

· Méthodes, conceptualisation, formalisation, grands courants de pensée. L'économie est-elle une science ?

1. Qu'est-ce qu'une économie de marché ?

· Marché parfait et concurrence pure et parfaite
homo economicus, retour à l'équilibre, optimum de Pareto

· Défauts de marché
externalités, monopoles naturels, différents types de biens, intervention publique

2. La monnaie et le fonctionnement de marché

· Économie monétaire, formes et fonctions de la monnaie, système bancaire, création monétaire

· Union économique et monétaire en Europe

3. Mondialisation et globalisation économique et financière

· Mondialisation, globalisation, marché financier
L'utilité de la finance, les outils, le fonctionnement de la finance

· Les crises financières

Evaluation : sans

Bibliographie :

J. GÉNEREUX, Les vraies lois de l'économie, 2 tomes, Seuil, 2002

B. GUERRIEN Dictionnaire d'analyse économique, La Découverte, plusieurs rééditions

ORLEAN, « La sociologie économique et la question de l'unité des sciences sociales », dans L'Année Sociologique, n° spécial : « Histoire et méthode de la sociologie économique », 2005

F. MORIN, Le nouveau mur de l'argent, essai sur la finance globalisée, Seuil, septembre 2006.

SEN, Un nouveau modèle économique. Développement justice, liberté, Odile Jacob, 2000

Des documents de références (articles, extraits d'ouvrage) seront par ailleurs distribués aux élèves.

Semestre 6 / UE Ingénieur premier de cordée

Ecoute client – module 1

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 9

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le but du cours est de faire comprendre aux étudiants l'importance à identifier les besoins des clients, à mettre en place des méthodologies d'études et des techniques d'écoute permettant d'identifier la météo-sensibilité de leurs activités, et d'en comprendre les enjeux. Ce cours est poursuivi en seconde année pour aboutir à une formulation d'offre.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Estimer la météo-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Estimer la climato-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Identifier et spécifier le besoin, comprendre la problématique du client, identifier les enjeux
- Présenter et valoriser les résultats auprès du client, mesurer sa satisfaction tout au long de l'étude

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- S'informer et communiquer

Programme du cours :

- Le cadre de l'écoute-client
- L'étude multi-clients : méthodes d'études documentaires, qualitatives et quantitatives en Marketing
- L'écoute mono-client :
 - les modèles comportementaux du consommateur
 - les différentes phases d'une situation classique de vente
- Cas pratique d'études multi-clients : météo-sensibilité des campings ou du secteur éolien : quelle méthodologie adopter ?
- Cas pratique d'écoute mono-client : mise en pratique d'une situation de «vente ajustée»

Modalités d'évaluation : sur TP

Semestre 6

Stage de 1^{ère} année

L'objectif de ce stage est de permettre aux élèves découvrir le monde de l'entreprise. D'une durée de 6 semaines minimum, il a pour objectif de ;

- Connaître l'entreprise, son fonctionnement, ses rouages et les métiers exercés.
- Comprendre l'environnement des différents services, les outils et méthodes utilisés, l'organisation du travail, les règles administratives et collectives.
- Savoir exécuter des tâches opérationnelles au sein d'une équipe ou d'un service.

Le rendu pour l'ENM est constitué d'une note de synthèse et d'une présentation orale.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- Organiser son travail efficacement en autonomie
- S'informer et communiquer
- Adopter l'esprit d'entreprise

Evaluation des acquis de l'apprentissage :

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- Organiser son travail efficacement en autonomie
- Adopter l'esprit d'entreprise

Evaluation par l'entreprise d'accueil sur la base d'une fiche d'évaluation fournie par l'ENM.

Niveau visé : Notion

- S'informer et communiquer

Evaluation de la note de synthèse et de la présentation orale.

Niveau visé : Notion

Semestre 7 / UE Sciences de l'ingénieur

Statistiques II

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 35 (21h de cours, 12h de TP, 2h de test)

(un module de 4h en initiation langage R est prévu pour les élèves issus du concours Master, avant de suivre le programme ci-dessous)

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le cours de statistique est réparti sur les semestres 6 et 7.

En fin d'enseignement, l'élève doit être capable de choisir et d'utiliser les outils de traitements de données multidimensionnelles sur un problème concret lié à la météorologie.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Produire et expertiser des prévisions à long terme (mensuelles ou saisonnières) ou climatiques

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information probabiliste quantifiant l'incertitude de la prévision et en faisant preuve de pédagogie
- Améliorer la protection de son interlocuteur contre les aléas météo-climatiques futurs en exploitant les données climatologiques passées, en utilisant les outils statistiques et informatiques adaptés
- Qualifier une situation météorologique en termes de durée de retour, d'écart à la moyenne, de percentile, de record en exploitant les outils statistiques et climatologiques

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information climatique, quantifiant l'incertitude et en faisant preuve de pédagogie
- Améliorer la protection de son interlocuteur contre les aléas climatiques futurs en exploitant les données climatologiques passées, en utilisant les outils statistiques et informatiques et les résultats des méthodes de régionalisation

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Évaluer la qualité d'un modèle
- Manipuler et analyser de gros volume de données

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Rechercher, choisir, voire élaborer les différentes données nécessaires à l'étude (y compris données clients ou externe)
- Qualifier et pré-traiter les données si besoin (homogénéisation, données manquantes, valeurs aberrantes)
- Sélectionner les outils statistiques pertinents
- Assurer une veille scientifique et technique dans le domaine des statistiques et de la modélisation
- Analyser, critiquer, visualiser, mettre en forme les résultats et estimer l'incertitude

Mots clés:

Pré-requis : cours Probabilités et Statistique I

Acquisition : Langage R, outils statistiques concernant les données multidimensionnelles, ACP, modèle linéaire gaussien, régression logistique, analyse discriminante, classification automatique, séries chronologiques.

Programme du cours :

1. Modèle linéaire gaussien

- Loi normale multidimensionnelle - Projecteurs
- Estimation dans le modèle linéaire
- Tests dans le modèle linéaire, sélection des prédicteurs
- Analyse de variance, analyse de covariance
- Diagnostics et compléments – mise en oeuvre
- Evaluation de modèles - validation croisée

2. Analyse discriminante et régression logistique

- Introduction à la théorie du modèle linéaire généralisé
- Cas particulier de la Régression logistique
- Analyse discriminante paramétrique (cas gaussien)
- Cas général : analyse discriminante quadratique
- Analyse discriminante linéaire
- Qualité de l'analyse discriminante : distance de Mahalanobis

3. Séries chronologiques

- Tendances, saisonnalité, résidus
- Bruit blanc, fonction d'autocorrélation, stationnarité
- Modèles autorégressifs

4. Analyse en Composantes Principales (ACP)

- Détermination des composantes principales
- Propriétés des composantes principales
- Etude du comportement des observations et des variables
- Exemples d'utilisation des composantes principales

5. Classification automatique

- Distances
- Choix de départ
- Méthodes hiérarchiques
- Les méthodes à partition

- Formes fortes
- Projection de la matrice d'interdistances

Modalités d'évaluation : Une épreuve écrite de 2h

Bibliographie

- Support de cours donnés aux élèves et remis à jour annuellement
- Statistique, la théorie et ses applications, M.Lejeune, Springer
- Probabilité et statistiques, analyse des données, G.Saporta, Technip
- Régression sous R, PA Cornillon & al, Springer
- Séries temporelles avec R, Y.Aragon, Springer
- Le logiciel R, P.Lafaye de Micheaux & al, Springer
- www.wikistat.fr

Analyse Numérique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 32 (20h de cours et 12h de TP)

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle
- Manipuler et analyser de gros volume de données

Programme détaillé :

1. Introduction

- Présentation de l'analyse numérique
- Rappels brefs sur le modèle IEEE d'arithmétique des ordinateurs
- Rappels d'algèbre linéaire et de calcul matriciel

2. Systèmes linéaires et moindres carrés linéaires

- Analyse mathématique de la sensibilité d'un système linéaire, analyse de la qualité d'une solution calculée
- Méthode directe de solution d'un système linéaire. Cas des systèmes triangulaires puis des systèmes généraux. Fiabilité optimale de l'élimination de Gauss avec pivotage partiel
- Quelques méthodes itératives de résolution de systèmes linéaires :
 - Description de méthodes pour systèmes symétriques définis positifs (Gradient-conjugué) puis de méthodes pour systèmes non-symétriques (GMRES)
 - Etude de la convergence en arithmétique exacte de ses méthodes. Rôle de la précision finie des calculateurs
 - Quelques techniques de reconditionnement
 - Critère d'arrêts de méthodes itératives
 - Principales idées des méthodes multi-grilles
- Extension des méthodes pour systèmes linéaires aux moindres carrés linéaires

3. Problème d'optimisation sans contrainte

- Introduction générale (MS)
 - Position du problème, exemples, prise en compte des contraintes par pénalisation
 - Outils mathématiques de base : gradient, hessienne, développement de Taylor
- Méthodes de recherche linéaire (MS)
 - Principe de la recherche linéaire, condition de descente
 - Exemples : plus grande descente, Newton, quasi-Newton, BFGS

- Cas des moindres carrés non-linéaires (SG)
 - Présentation des fonctionnelles 3DVAR, 4DVAR
 - Discussion des algorithmes de résolution variantes de la méthode de Newton
 - Convergence des algorithmes de Newton/Gauss-Newton inexact et tronqué
 - Présentation de l'algorithme 4DVAR incrémental
 - Techniques de préconditionnement du problème quadratique (spectral, BFGS, déflation)
 - Discussion de critères d'arrêts

4. Équations aux dérivées partielles

- Généralités : exemples, classification, conditions initiales et conditions aux limites
- Etude sur un exemple : équation de transport ou d'advection (cas linéaire)
 - Résolution analytique, caractéristiques
 - Concepts fondamentaux : consistance, stabilité et convergence
 - Etude sur plusieurs schémas de résolution, condition de Courant-Friedrich-Levy
- Résolution par différences finies de l'équation de la chaleur : schémas d'Euler explicite, Euler implicite et Crank-Nicholson
- Introduction aux équations non linéaires

Modalités d'évaluation : sur TP



Dynamique des fluides numérique – Partie A

Date de la dernière révision : juillet 2020

Total d'heures : 13

Compétences attendues en fin d'enseignement :

- Faire appel à une approche ondulatoire linéaire et à des cadres d'étude simplifiés afin d'étudier les mouvements de l'atmosphère et à la surface de l'océan.
- Savoir mettre en évidence les propriétés de propagation des ondes de gravité à l'interface de deux milieux homogènes (ondes externes).
- Savoir mettre en évidence les propriétés de propagation des ondes de gravité au sein d'un milieu stratifié (ondes internes). Application à l'étude des ondes de gravité orographiques.
- Etudier les solutions ondulatoires d'un modèle simplifié de fluide (modèle en eau peu profonde - « shallow-water ») et l'ajustement au géostrophisme du fluide dans ce modèle.
- Mettre en œuvre le cadre « shallow-water » pour étudier les mouvements ondulatoires en zone équatoriale et leur impact sur la variabilité tropicale (ondes équatoriales couplées à la convection).

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique
- Modéliser les milieux en interaction avec l'atmosphère
- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

Mots clés :

Pré-requis : notions sur les ondes (vitesse de phase, vitesse de groupe, dispersion, méthode de linéarisation, relation de dispersion). Remarque : les caractéristiques de propagation des ondes de Rossby des moyennes latitudes ont été étudiées au semestre 5.

Acquisition : ondes de gravité externes, ondes de gravité internes, ondes de relief, modèle en eau peu profonde, processus d'ajustement au géostrophisme, rayon de déformation, ondes équatoriales, ondes équatoriales couplées à la convection.

Programme du cours

1. Introduction
2. Ondes de gravité
3. Modèle en eau peu profonde
4. Ondes équatoriales

Modalités d'évaluation

Autonomie / TP

Bibliographie

- Vallis, G.K. (2018). Essentials of Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vallis G.K., 2017 : Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics: Fundamentals and Large-Scale Circulation 2nd Edition
- Holton, J. R., & Hakim, G. J., 2013 : Introduction to dynamic meteorology. (5th ed.). Amsterdam: Academic Press.
- De Moor, G. et Veyre, P., 1991 : Les bases de la météorologie dynamique. Cours et manuels. Météo-France.

Dynamique des fluides numérique – Partie B

Date de la dernière révision : juillet 2020

Total d'heures : 15

Compétences attendues en fin d'enseignement :

L'étudiant doit être capable d'analyser les différents processus intervenant dans un système d'équations en leur associant une échelle de temps et d'espace. L'étudiant doit être capable de proposer un schéma temporel et spatial adapté à un contexte d'utilisation, et d'analyser le comportement de ce schéma. L'étudiant doit savoir implémenter efficacement les méthodes de calculs en vue de leur utilisation présente et future.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique
- Modéliser les milieux en interaction avec l'atmosphère
- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

Mot clés : Méthodes numériques, architecture logicielle, expériences numériques.

Pré-requis :

- Physique : Cours de mécanique des fluides et cours de fluides géophysiques
- Mathématique : Formule de Taylor, théorème de Cauchy-Lipschitz nonlinéaire, série de Fourier, algèbre linéaire
- Informatique :
 - langage python (>=3.6):
 - * maîtriser les types mutable/non mutable (tuple, liste, dictionnaire, ...) et les différences de comportement dans leur utilisation (copie de non mutable/référence de mutable),
 - * savoir manipuler des tableaux / matrices avec numpy,
 - * savoir construire des figures avec pyplot en exploitant l'aide en ligne,
 - * maîtriser la programmation impérative sous python.

Programme du cours :

Le cours se déroulera sous la forme de travaux en groupe de 4 étudiants, sur machine personnelle, en exploitant les calepins Jupyter. Il n'est pas nécessaire d'être familier de Jupyter. En revanche il sera nécessaire qu'Anaconda soit installé sur la machine personnelle (<https://www.anaconda.com/download/>). Le cours sera présenté sous le système d'exploitation Linux (il n'y aura aucun support pour le système Windows).

I – Équations différentielles ordinaires en petite et en grande dimensions

- Méthodes de discrétisation temporelle (pas séparées/liées),
- Représentation géométrique des solutions.

II – Structuration d'un code de calcul

- Analyse,
- Conception.

III – Équations aux dérivées partielles

- Méthodes de discrétisation spatiale (différence finie, Galerkin,...),
- Séparation et analyse des processus,
- Équation équivalente.

Evaluation : Compte rendu d'expérience et soutenance orale.



Semestre 7 / UE Sciences météo-climatiques

Micro-physique nuageuse

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 16 (12h de cours, 3h de TD et 1h de test)

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Compréhension des processus de formation des nuages et des précipitations, en phase liquide, glace ou mixte.

Position dans l'architecture de la scolarité :

Ce cours concerne des phénomènes de petite échelle, représentés explicitement ou de façon paramétrée dans les modèles numériques de prévision du temps, mesurés directement ou indirectement par différents moyens d'observation. Les précipitations sont un produit important de l'observation et de la prévision météorologique.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales ;
- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

Pré requis :

Thermodynamique de l'air humide, processus dynamique au sein des nuages et des perturbations pluvio-nuageuses.

Programme détaillé :

1. RAPPELS : EAU, NUAGES, HYDROMÉTÉORES (1h30)

- 1.1. L'EAU ATMOSPHERIQUE
- 1.2. NUAGES BAS, MOYENS, HAUTS
- 1.3. REFROIDISSEMENT ISOBARE, POINT DE ROSÉE
- 1.4. REFROIDISSEMENT ADIABATIQUE SEC ET PSEUDO-ADIABATIQUE HUMIDE
- 1.5. NIVEAUX DE CONDENSATION, DE CONVECTION LIBRE, D'ÉQUILIBRE THERMIQUE
- 1.6. HYDROMÉTÉORES LIQUIDES ET GLACÉS

2. NUCLEATION HOMOGENE (1h30)

- 2.1. RAPPELS DE THERMODYNAMIQUE
- 2.2. SATURATION
- 2.3. FORMATION SPONTANÉE D'EMBRYONS EN PHASES LIQUIDE ET GLACE

- 2.4. TAUX DE NUCLÉATION EN PHASES LIQUIDE ET GLACE

3. NUCLÉATION HÉTÉROGÈNE (1h30)

- 3.1. PARTICULES D'AÉROSOL ATMOSPHÉRIQUE
- 3.2. NOYAUX DE CONDENSATION NUAGEUSE (CCNs)
- 3.3. NUCLÉATION SUR LES CCNs SOLUBLES
- 3.4. NUCLÉATION SUR LES CCNs NON SOLUBLES
- 3.5. NOYAUX GLAÇOGENES
- 3.6. NUCLÉATION EN PHASE GLACE

4. CROISSANCE / ÉVAPORATION PAR DIFFUSION DE VAPEUR (1h30)

- 4.1. LOI DE DIFFUSION
- 4.2. CROISSANCE DE GOUTTELETTES IMMOBILES
- 4.3. GOUTTELETTES TOMBANT DANS L'AIR NON SATURÉ
- 4.4. CROISSANCE DE CRISTAUX IMMOBILES
- 4.5. CROISSANCE DE CRISTAUX PRÉCIPITANTS
- 4.6. CHANGEMENTS DE FORME
- 4.7. PROCESSUS « BERGERON »

5. INTERACTIONS ENTRE HYDROMÉTÉORES, CROISSANCE PAR COLLISION-COALESCENCE (1h30)

- 5.1. VITESSE DE CHUTE DES GOUTTES D'EAU
- 5.2. COLLISIONS ET COALESCENCE DES GOUTTES D'EAU
- 5.3. VITESSE DE CHUTE DES HYDROMÉTÉORES GLACÉS
- 5.4. COLLISIONS ENTRE HYDROMÉTÉORES GLACÉS
- 5.5. CROISSANCE PAR COLLISION-COALESCENCE
- 5.6. ÉCLATEMENT DES GOUTTES

6. ACCRÉTION, AGREGATION, FONTE (1h30)

- 6.1. ACCRÉTION D'EAU SURFONDUE : GIVRAGE, CONGÉLATION
- 6.2. CROISSANCE DU GRÉSIL / GRELE
- 6.3. AGRÉGATION DES CRISTAUX DE GLACE
- 6.4. FONTE DES PARTICULES DE GLACE

7. OBSERVATIONS MICROPHYSIQUES (1h30)

- 7.1. MESURES IN-SITU SOL ET AÉROPORTÉES
- 7.2. TÉLÉDÉTECTION PASSIVE (RADIOMETRIE VISIBLE, INFRAROUGE, MICRO-ONDES)
- 7.3. TÉLÉDÉTECTION ACTIVE (LIDARS, RADARS)

8. REPRÉSENTATION NUMÉRIQUE (1h30)

- 8.1. CLASSES D'HYDROMÉTÉORES
- 8.2. DISTRIBUTIONS DIMENSIONNELLES
- 8.3. PROCESSUS EN PHASES LIQUIDE, GLACE ET MIXTE
- 8.4. SCHÉMAS MULTI-MOMENTS

9. TRAVAUX PRATIQUES AVEC MÉSO-NH (3h)

- 9.1. SIMULATION 2D D'UNE LIGNE DE GRAINS DE L'AFRIQUE DE L'OUEST
- 9.2. SENSIBILITÉ AU SCHÉMA MICROPHYSIQUE
- 9.3. SENSIBILITÉ AUX PROCESSUS DU SCHÉMA MICROPHYSIQUE ICE3
- 9.4. SENSIBILITÉ AUX PARAMÈTRES DU SCHÉMA MICROPHYSIQUE ICE3

Evaluation : Epreuve écrite de 1h

Semestre 7 / UE Sciences météo-climatiques

Météorologie Tropicale

Date de la dernière révision : mars 2020
Total d'heures : 15 (10h de cours et 5h de TP)

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Ce cours enseigne la circulation moyenne de l'atmosphère tropicale et les différents modèles conceptuels des phénomènes tropicaux d'échelle synoptique et planétaire.

A l'issue de cet enseignement, l'élève doit être capable de reconnaître les schémas conceptuels abordés dans une situation météorologique sur les tropiques : circulation moyenne méridienne et zonale, variabilité du climat tropical à l'échelle intrasaisonnière et saisonnière, connaître la phénoménologie des ondes tropicales, d'une mousson et d'un cyclone tropical.

Les TP permettent d'appréhender le fonctionnement de la mousson africaine. Le deuxième TP donne une vision pratique du fonctionnement d'un cyclone tropical. La fin du cours coïncide avec le TP de dynamique des fluides numériques sur les ondes équatoriales. Le TP de dynamique des fluides numériques sur le modèle shallow water permettra également d'illustrer la notion de rayon de déformation de Rossby.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Analyser une situation météo en tout point du globe
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)
- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle

Mots clés:

Pré-requis : bases de thermodynamique, de dynamique, d'ondes et de rayonnement atmosphériques (bilan radiatif principalement au sommet et au bas de l'atmosphère)

Acquisition : zone de convergence intertropicale, mousson, ondes équatoriales, oscillation de Madden-Julian, rôle du chauffage diabatique sous les tropiques, cyclone tropical

Programme du cours :

Définition et introduction sur la météorologie tropicale

Propriétés caractéristiques de l'atmosphère tropicale

Bilan d'énergie sous les tropiques

Le climat tropical

Climatologie de l'atmosphère tropicale
Equation d'équilibre sous les tropiques, rôle du chauffage diabatique
Zone de convergence intertropicale (ZCIT) : variabilité saisonnière et régionale
La mousson d'Afrique de l'Ouest (MAO)

Sources d'énergie nécessaires à la formation des ondes équatoriales et des perturbations tropicales

Sources d'énergie nécessaires à la formation de perturbations tropicales
Notion de rayon de déformation de Rossby
Chauffage diabatique, instabilité barotrope, barocline

Cyclones tropicaux

Définition et classification
Variabilité de l'activité cyclonique (bassin, période, lien avec le climat tropical)
Structure d'un cyclone tropical

Ondes équatoriales et leur rôle dans la variabilité du climat tropical

Modèle shallow water barotrope
Caractéristiques des ondes de Kelvin, équatorial Rossby, Mixe Rossby-Gravité
Identification des ondes et filtrage

Deux exemples d'ondes hors théories : ondes d'est Africaines et Oscillation de Madden Julian

Modulation de la convection profonde par les ondes d'est
Impact de la MJO sur le climat tropical et la formation de dépression tropicale

TD1 : modèle numérique simple de la ZCIT, des moussons africaine et indienne et leur représentation dans les modèles de climats

- utilisation d'un modèle atmosphérique sec méridien-vertical
- comparaison des moussons indiennes et africaines selon le chauffage diabatique prescrit
- analyse du chauffage diabatique des modèles de climat participant au GIEC (CMIP) et leur réponse avec le modèle 2D sec

TD2 : modèle numérique simple d'un cyclone tropical

- utilisation d'un modèle idéalisé de cyclone axisymétrique
- analyse des conditions de développement d'un cyclone tropical (latitude, tourbillon, température de mer, couche de mélange océanique)

Modalités d'évaluation : sur TP

Bibliographie :

- Manuel de météorologie tropicale: Beucher, Cours et manuel n° 19, tome 1 et 2
- Introduction to tropical meteorology, Online Textbook, A. Laing, JL Evans :
http://www.met.ed.ucar.edu/tropical/textbook_2nd_edition/
- Cours en ligne sur l'école numérique de l'ENM

Semestre 7 / UE Sciences météo-climatiques

Chimie atmosphérique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 10

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat

Programme détaillé :

Introduction

- Conscience environnementale
- Cycle des espèces chimiques

Processus physico-chimiques

- Réactions thermochimiques en phase gazeuse
- Photochimie
- Cycles catalytiques
- Temps de vie des espèces et échelles de temps/espace
- Chimie en phase aqueuse

Chimie troposphérique

- Composition chimique et variabilité
- Formation de l'ozone
- Réactivité et capacité oxydante de la troposphère
- Bilan et tendances de l'ozone dans la troposphère

La qualité de l'air et ses tendances

- La couche limite polluée
- La pollution gazeuse primaire
- La pollution gazeuse secondaire
- La pollution particulaire

Le système chimique stratosphérique

- Introduction sur la couche d'ozone
- Chimie de l'ozone stratosphérique
- Processus dynamiques
- Le trou d'ozone dans les régions polaires
- Tendances passées et futures de l'ozone stratosphérique

La modélisation numérique

- Pourquoi et comment construire des modèles numériques
- Les différentes composantes des modèles
- Le modèle opérationnel de chimie-transport de Météo-France : MOCAGE
- Applications des modèles numériques
- La prévision de la couche d'ozone et des UV à Météo-France

Le rôle de la chimie atmosphérique dans les changements globaux

- Rappel sur le bilan énergétique de l'atmosphère et ses perturbations
- Rôle de la chimie atmosphérique dans le système climatique
- Effets des aérosols atmosphériques sur le climat
- La modélisation de la chimie dans les modèles de climat
- Projections futures

Evaluation : Epreuve écrite de 30min à 1h.

Bibliographie : Physique et chimie de l'atmosphère, Robert Delmas. Ed. Belin 2005

Semestre 7 / UE Sciences météo-climatiques

Surfaces continentales

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 12

Compétences attendues en fin d'enseignement

En fin de cours, l'élève doit être capable de :

- comprendre les interactions entre le bilan d'énergie en surface et les différents cycles biogéochimiques
- comprendre les enjeux de l'évolution des surfaces continentales dans le contexte actuel de changement climatique
- mobiliser ultérieurement l'ensemble de ces acquis dans les matières météo-climatiques connexes

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat

Mots clés:

Pré-requis : théorie du transfert radiatif, rayonnement

Acquisition : composition des surfaces continentales, fonctionnement des différentes cycles (énergie, eau, biogéochimique), interaction avec le climat, apport de la télédétection pour le suivi des surfaces, leurs modélisations

Programme détaillé

I. Introduction

- Définitions
- Perspectives historiques et mise en place des cycles
- Organisation du vivant

I. Surfaces continentales dans le système terre

- Composantes et évolutions
- Sol
- Végétation

III. Cycles globaux

- Bilan d'énergie
- Cycle de l'eau
- Cycles biogéochimiques

IV. Surfaces continentales et changement climatique

- Climat et surfaces continentales
- Enjeux et leviers d'atténuation

V. Observation et modélisation des surfaces continentales

- Apport du spatial pour leur suivi
- Représentation dans les modèles météorologiques, climatiques et hydrologiques

Evaluation : Sans



Semestre 7 / UE Sciences météo-climatiques

Météorologie urbaine

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 10

Compétences attendues en fin d'enseignement

En fin de cours, l'élève doit être capable de :

- comprendre les rôles des villes dans les interactions surface / atmosphère et les effets sur la météorologie locale
- comprendre les enjeux de l'évolution des villes et des sociétés dans le contexte actuel de changement climatique

Mots clés :

Pré-requis : interactions surface / atmosphère, bilan radiatif, bilan d'énergie

Acquisition : spécificités des surfaces urbaines dans les interactions surface/atmosphère, approches expérimentales, approches de modélisation numérique, enjeux et problématiques des études d'impacts en ville

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

Programme détaillé

I. Météorologie urbaine : Introduction, historique

II. Modification du climat local par les zones urbaines

- Ecoulement, bilan radiatif, bilan d'énergie, bilan en eau
- Microclimat de la canopée urbaine, îlot de chaleur urbain
- Couche limite urbaine

III. Observations en milieu urbain et bases de données urbaines

- Contraintes et protocoles liés aux spécificités de l'environnement urbain
- Problématique des échelles spatiales d'observation
- Systèmes de mesure in situ (réseaux, mesures locales, systèmes mobiles...)
- Données de télédétection
- Bases de données urbaines : occupation du sol, typo-morphologie, données socio-éco ...

IV. Modélisation du climat urbain

- Historique, approche simplifiée dans modèles météo/climat

- Modèles de canopée urbaines, les différentes approches
- Zoom sur les interactions bâti / végétation
- Couplage avec le modèle atmosphérique
- TEB et AROME

V. Ville et changement climatique

- Etat des lieux et enjeux / Interaction entre climat urbain et changement climatique
- Quelles stratégies d'adaptation / mitigation ?
- Approche méthodologique sur les études d'impact
- Méthodes de descente d'échelle pour les projections climatiques
- Scénarios d'évolution des villes et des usages
- Indicateurs d'impacts et de vulnérabilité

Evaluation : Sans

Semestre 7 / UE Sciences météo-climatiques

Climat et changement climatique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 27 (14h cours, 12h TD et 1h de test)

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1: Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- Communiquer sur l'actualité météo-climatique récente ou prévue

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Estimer la climato-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin
- Présenter les différents scénarios climatiques à échelle globale et/ou régionale en expliquant le fonctionnement de la machine climatique, en expliquant les sources de variation, en différenciant les causes naturelles et anthropiques de variation
- Identifier les impacts du Changement climatique sur le domaine d'activité de son interlocuteur,
- Expliciter son analyse en argumentant ses choix et en prenant en compte les enjeux sociétaux et géopolitiques
- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information climatique, quantifiant l'incertitude et en faisant preuve de pédagogie
- Produire de la documentation destinée aux acteurs et décideurs économiques
- Mettre en œuvre une stratégie de communication de l'information climatique et de son incertitude
- Améliorer la protection de son interlocuteur contre les aléas climatiques futurs en exploitant les données climatologiques passées, en utilisant les outils statistiques et informatiques et les résultats des méthodes de régionalisation

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat

Programme détaillé :

1 – Modélisation du système climatique

- a) retour sur les notions de système climatique, d'état moyen et de variabilité interne de 1A
- b) histoire de la modélisation, hiérarchie des modèles (modèles 1D de bilan d'énergie, modèles 3D de complexité intermédiaire, GCMs), description des composantes des GCMs, notion de couplage
- c) philosophie générale de chaque composante, notion de maillage sur lequel sont résolues numériquement les équations, et de paramétrisation sous-maille

- d) démarche d'évaluation vs. observations (état moyen + variabilité), programme international CMIP contrasté aux programmes internationaux de prévision climatique (EUROSIP, decadal initiative etc.).

2 – Réponse «directe» du système climatique à une perturbation

- a) retour sur les notions de bilan énergétique de 1A
- b) notion de forçage radiatif, mécanismes des principaux forçages (solaire, GES, aérosols naturels et anthropiques en détaillant les différents effets aérosols), importance des échelles de temps.

3 – Rétroactions du système climatique

- a) notion de rétroaction, description des principales rétroactions (vapeur d'eau, cryosphère, nuages)
- b) notions de sensibilité climatique à l'équilibre et de réponse transitoire avec les simulations 1% CO₂.

4 – Changements climatiques passés

- a) description des climats anciens (du précambrien au cénozoïque), importance de la géographie des continents, exemple de la «terre boule de neige»
- b) dernier million d'années : alternance glaciaire-interglaciaire, théorie de Milankovitch et importance du forçage solaire via les cycles des paramètres orbitaux, relation température-CO₂, différence des mécanismes (et de l'échelle de temps) entre glaciation et déglaciation
- c) dernier millénaire : optimum médiéval, petit âge glaciaire et introduction aux changements observés depuis l'ère industrielle (ne pas trop spoiler le cours suivant !)
- d) *fil rouge* : bien insister sur les données disponibles (proxies) et leurs incertitudes.

5 – Changement climatique actuel : observations et détection-attribution

- a) un mot sur le contexte international : GIEC, COP...
- b) évolution des principaux forçages depuis l'ère industrielle, traduction dans les principales variables climatiques (température, cycle de l'eau incluant hydrologie, circulation atmosphérique, cryosphère, niveau marin, etc.), avec moyenne globale + structures horizontale et verticale (e.g. refroidissement strato et amplification polaire) ;
- c) détection-attribution des changements observés au 20^e siècle (résultats principaux sans beaucoup détailler la méthode stat).

6 – Changement climatique actuel : projections futures et incertitudes

- a) scénarii socio-économiques futurs de forçages et leur «faisabilité» (incl. qq notions de géoingénierie), traduction dans les principales variables climatiques (i.e. projections climatiques) pour le 21^e siècle, moyenne globale + structures horizontale et verticale (e.g. refroidissement strato et amplification polaire)
- b) notion de pattern scaling (au moins température et précips) et d'homothétie entre deux scénarii
- c) sources d'incertitude (scénario, modèle, var interne) et illustrations sur qq variables
- d) changements globaux projetés à plus long terme, notion «d'irréversibilité».

7 – Changement climatique actuel : quelles conséquences pour notre météo ?

- a) au-delà du global : raffinement spatial et temporel des changements moyens observés et projetés (notions de régionalisation et prévision décennale). Illustrations principalement en Europe / France
- b) au-delà de l'état moyen : conséquences du réchauffement global sur la variabilité météo et ses événements extrêmes (canicules, vagues de froid, précipitations intenses, sécheresses, cyclones tropicaux, tempêtes atlantiques) : qu'attend-t-on ? qu'observe-t-on déjà ?

TP sur (2h chaque) :

- - sensibilité climatique et rétroactions
- - forçages XXe siècle et cycle du carbone
- - modes de variabilité et téléconnexions
- - introduction à la D&A, tests statistiques avec dépendance temporelle
- - projections climatiques futures
- - régionalisation du changement climatique

Modalités d'évaluation : test écrit de 1h.

Génie logiciel 2

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 85

Objectif :

Approfondir la maîtrise des concepts du génie logiciel, intégrer les étudiants issus du concours spécial (et détecter leurs éventuelles difficultés).

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- S'intégrer efficacement dans une équipe de production opérationnelle en continu

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Mettre à disposition les données sous un format standard et en gérant les droits d'accès
- Construire une chaîne de traitement logiciel comme un ensemble de composant réutilisables et inter-opérables
- Utiliser les outils de visualisation de données géo-référencées
- Maintenir la chaîne de production en conditions opérationnelles

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Organiser son travail efficacement en autonomie

Programme :

- **Concepts Objet Java** (20h en groupe)
- **Génie logiciel**, UML, et design pattern (6h + 6h en groupe)
- **Maintien en condition opérationnelle** (5h)
- **Projet «logiciel» - 2ème partie** (48h sur 6 semaines, en quadrinôme)

Evaluation :

Validation du niveau M (maîtrise et autonomie) des capacités « Réaliser des composants logiciels facilement maintenables en appliquant les bonnes pratiques de génie logiciel » et « Construire une chaîne de traitement logiciel comme un ensemble de composants réutilisables et interopérables », basée sur l'évaluation du projet logiciel d'une part, et sur un TP Java d'autre part

Semestre 7 / UE Traitement de données géo-physiques

Mise à disposition de données météo-climatiques

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 16

Objectif :

Manipuler les données météo-climatiques (formats, échanges), se rapprocher de contextes réels.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Mettre à disposition les données sous un format standard et en gérant les droits d'accès
- Utiliser les outils de visualisation de données géo-référencées
- Maintenir la chaîne de production en conditions opérationnelles

Programme :

- **Technologies réseaux** en météorologie (2h)
- **Formats de données**, standards (xml, json) et météo (grib, bufr) (4h)
- **Bases de données** (6h par groupe)
- **Sécurité informatique** (5h en classe entière)

Evaluation :

Validation du niveau A (mise en application avec guidage) de la capacité «Mettre à disposition les données sous un format standard et en gérant les droits d'accès».

Semestre 7 / UE Traitement de données géo-physiques

Réseau de mesure

Date de la dernière révision: mars 2020

Total d'heures : 11

(un module de 11h en Observation – exploitation de données, un autre de 7h en Mesure et capteurs sont prévus pour les élèves issus du concours Master, avant de suivre le programme ci dessous)

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le but de ce cours est d'expliquer l'organisation et les principales méthodes d'automatisation des réseaux de mesures.

En fin d'enseignement, l'élève doit être capable de :

- Concevoir un réseau de mesure (dimensionnement, implantation, choix et achat de matériel, déploiement...).
- Concentrer et diffuser les données et méta-données géo-physiques.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Concevoir un réseau de mesures (dimensionnement, implantation, choix et achat du matériel déploiement...) Concentrer et diffuser les données et métadonnées géophysiques
- Définir le niveau d'intervention humaine (expertise, contrôle, validation, insertion de données qualitatives)

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques

Mots clés:

Pré-requis : Bases de données, télécom, connaissance des paramètres météorologiques.

Acquisition : Capteur, stations automatiques, concentrateur, installation, classification site de mesure, maintenance.

Programme :

- Y est dispensée la connaissance « application opérationnelle » en réseau de mesure météorologique. Les élèves acquièrent des notions élémentaires d'automatisation et de circulation des données.
- Le cours est bâti sur l'exemple de l'architecture du réseau d'observation météorologique français. Une application pratique sur du matériel utilisé en opérationnel ainsi qu'une étude de site conclura cette partie.
- Une étude sera finalement proposée sur un cas concret de réseau de mesure pour application particulière (besoin client, recherche ...).

Modalités d'évaluation : Évaluation du dossier d'étude de cas.

Semestre 7 / UE Production d'information météo-climatique

Prévision météorologique expertisée à toutes les échelles spatiales et temporelles : outils et méthodes

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 58

(un module de près de 40h est prévu pour les élèves issus du concours Master, avant de suivre le programme ci dessous)

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Lors des 2 semestres précédents, les élèves ont acquis les bases de l'analyse et de la prévision du temps en manipulant des modèles déterministes, considérés comme « parfaits » a priori. Diverses situations météo (circulations-type, approche par phénomènes, ...) ont permis d'illustrer un certain nombre de schémas conceptuels théoriques de base.

Lors de ce semestre, une approche par échéances est adoptée, en considérant désormais les modèles de prévision comme « non parfaits » et critiquables. L'accent est donc mis sur l'apport de l'expertise humaine. Dans ce cadre, les étudiants découvrent l'approche ensembliste de la prévision, qui permet de visualiser ou fournir une donnée prévue, non pas sous forme d'une valeur unique, mais via un intervalle de valeurs possibles ou bien une probabilité. Le but de la prévision d'ensemble est en effet à la fois d'estimer au mieux l'incertitude intrinsèque à toute prévision numérique et d'en extraire quelques scénarii représentatifs parmi le panel de toutes les trajectoires de prévision possibles.

Via une approche par enjeu/paramètre/aléa/risque, l'élève apprend dans ce module à contrôler le calage d'un modèle de prévision, à déceler les défauts de simulation relatifs à ce modèle, à synthétiser l'information issue de plusieurs modèles, à effectuer et argumenter un choix de modèle de référence, à en extraire le scénario synoptique le plus probable et des scénarii alternatifs possibles, à rédiger des directives techniques, à travailler en équipe pour converger vers une décision commune, et à alerter un usager sur un dépassement de seuil prévu.

Des cartes (presygs, nébuls, vigilance...) et des bulletins (suivi vigilance, météoalerts, directives...), que ce soit à destination de l'interne ou de l'externe selon les produits, sont élaborés par les élèves au fil de divers TP, parfois animés par des prévisionnistes opérationnels, et portant sur plusieurs situations différentes, passées ou en temps réel.

La bonne connaissance des schémas conceptuels théoriques et des limites des modèles numériques sont des savoirs nécessaires non seulement pour de futurs prévisionnistes potentiels mais également pour de futurs développeurs ou commerciaux, lesquels devront élaborer des produits à façon et autres indicateurs les plus pertinents possibles par rapport à l'état de l'art. Cela passe donc par une capacité des étudiants à bien comprendre le contenu de ce qui figure dans les bases de données météo finales diffusées sur internet ou mobile, pour être ensuite capable de les critiquer/accompagner à bon escient (que ces données soient d'ailleurs expertisées ou automatisées) : en tenant compte de la complémentarité homme/machine dans la phase de prise de décision finale, les étudiants ainsi apprennent à prendre conscience de la plus-value humaine qu'ils peuvent apporter, en particulier dans certaines situations météo bien ciblées.

A ce titre, les élèves apprennent par exemple à expertiser des Adaptations Statistiques (de températures notamment), issues automatiquement d'un grand volume de données traitées via des techniques du type Big Data, Intelligence Artificielle ou machine learning. Ils apprennent donc quel est l'intérêt d'expertiser de telles données calibrées par apprentissage sur de grands échantillons, qui sont les

meilleures en moyenne, mais pas forcément sur certaines situations à enjeu, où l'apport humain reste encore fondamental pour fournir une prévision plus pertinente que l'automatisme seul.

Fils rouges pédagogiques :

PLus-Value de l'expertise humaine (Prévision Humaine du Temps), prise de décision, incertitude.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1: Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- S'intégrer efficacement dans une équipe de production opérationnelle en continu
- Analyser une situation météo en tout point du globe
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Prendre une décision en interne en recherchant l'information de manière pro-active (y compris en provenance du terrain) et en synthétisant de multiples sources d'informations
- Communiquer en contexte de crise ou de polémique, à l'oral et à l'écrit en s'assurant de l'unicité du message transmis vers l'externe
- Prendre une décision en interne en recherchant l'information de manière pro-active (y compris en provenance du terrain) et en synthétisant de multiples sources d'informations
- Communiquer en contexte de crise ou de polémique, à l'oral et à l'écrit en s'assurant de l'unicité du message transmis vers l'externe
- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information probabiliste quantifiant l'incertitude de la prévision et en faisant preuve de pédagogie
- Expliciter sa décision en argumentant son choix auprès d'autres acteurs internes ou externes
- Qualifier une situation météorologique en terme de durée de retour, d'écart à la moyenne, de percentile, de record en exploitant les outils statistiques et climatologiques

Acquisition :

Pré-requis (S5 et S6) :

- département PAM : analyse, anasygs/presygs, cyclogénèse/frontgénèse, prévision de la convection et de la neige à l'échelle synoptique, géographie et climat pour le prévisionniste, effets locaux, paramètres de base des modèles de Prévision Numérique du Temps, outil Synopsis,
- département IMO : phénoménologie (dont physique des nuages), outils d'observation (y compris produits de fusion de données).
- département C3M : prévision numérique théorique (de la prévision immédiate à la prévision mensuelle), météo tropicale théorique, régimes de temps, météo dynamique, fluides géophysiques, ondes, convection.

Mots clés : prévision d'ensemble, prévision d'ensemble, prévision probabiliste, critique et expertise humaine

des modèles, calage modèle, choix de scénario modèle, nébuls techniques, vigilance, sécurité des personnes et des biens, prévision immédiate, prévision à (très) courte échéance, prévision à moyenne échéance, météo tropicale et hybride, production de cartes/bulletins expertisés.

TUTORAT entre élèves :

Un tutorat (en autonomie et en dehors des heures de cours) pourra être assuré par les élèves IENM2 non issus du concours spécial maîtrise (ex IENM1), sur la base du volontariat et en fonction des affinités. Ces élèves auront pour mission de prendre en charge les élèves recrutés directement en 2^{ème} année (dont les élèves issus du recrutement EHTP), afin de leur faire découvrir et manipuler Synopsis, notamment en début de semestre.

Programme détaillé :

1. Introduction (1h) : Programme de ce semestre en Prévision et guide de bonnes pratiques.

2. TD de reprise en main de Synopsis (3h) : Uniquement pour les élèves non issus du concours maîtrise. Check-list de fonctionnalités Synopsis à connaître ; panorama des paramètres modèles de base ; accès à des jeux de macros standards.

3. Méthodologie générale pour l'expertise humaine des modèles de PNT (9h) :

- **a) CM (1h) :** caractéristiques principales et limites des modèles numériques déterministes (IFS, ARPEGE, AROME, AROME-IFS + GFS et WRF). Listage des paramètres modèle utiles selon les enjeux/paramètres. Biais et limites connues. Scores moyens. Mise à disposition de supports (dont poster).
- **b) CTD (2h) :** notion de calage modèle déterministe aux échelles synoptique (illustration avec ARPEGE ou IFS) et fine (illustration avec AROME ou AROME-IFS) incluant révision sur les schémas conceptuels (dont effets locaux).
- **c) CTD (2h CM+2hTD) :** prévision probabiliste, prévision d'ensemble
 - Caractéristiques principales et limites des modèles numériques ensemblistes (PEAROME, PEARP, EPS, GEFS). Fourniture poster.
 - Notions statistiques de base pour le prévisionniste (fiabilité, résolution, dispersion, ...).
 - Panorama des produits disponibles via MF ou internet : quantiles, probabilités, EFI/SOT, spaghettis, confettis, panaches, boîtes à moustache type EPSgrammes, ... Estimation de l'incertitude (détermination d'un indice de confiance, ...)
- **d) CTD (2h) :** méthodologie de choix de scénario modèle (à échelle synoptique et à échelle régionale) via approche multi-modèles/multi-ensembles. Etude des divergences entre modèles. Scénario le plus probable (majoritaire parmi toutes les sources de données). Détermination de scénarii alternatifs possibles (à grande ou petite échelle). Notion de valeur locale privilégiée.

4. Prévision déterministe à très courte échéance (8h) :

Étude de situation archivée (perturbation barocline avec vents forts, prévision à J et J+1 à échelle nationale) :

a) 2h en autonomie : révision sur les schémas conceptuels de base en frontologie et dynamique d'altitude (PPTs pré-requis fournis + bibliographie), découverte de la situation, imprégnation de la méthodologie pour réaliser presygs et nébuls, tracé sommaire d'un anasyg sur la situation d'étude.

- b) 3h de TD : bilan séance autonomie (1h), puis étude calage modèle / choix de scénario synoptique / réalisation de presyg sommaire / rédaction chapeau technique argumenté.
- c) 3h de TD : ébauche de nébuls techniques temps sensible, vent et précipitations + débriefing avec les observations a posteriori et les productions officielles.

5. Outils d'aide à la décision pour le prévisionniste (2h en autonomie) :

Outils pour la qualification d'événement / de situation : accès aux normales, extrêmes, records, durées de retour, lames d'eau (dont produit AIGA/APIC) via notamment site interne « climascope ». Accès aux indices d'aide à la décision sur site interne. Fourniture d'une feuille de route à suivre.

6. Sécurité des Personnes et des Biens, Vigilance, Prise de Décision (7h) :

- 3h de CM : Présentation des dispositifs de vigilance (MF et autres exemples à l'international + présentation de la future vigilance infra-départementale).
- 4h de TD sur situation archivée (co-animation avec un prévisionniste opérationnel) : production vigilance J/J+1 (tempête hivernale). Approche par enjeu. Simulation de conférence. Utilisation du logiciel Vigilance Standalone pour la saisie des couleurs et créneaux horaires de vigilance par DIR. Rédaction de bulletin de suivi. Vérification a posteriori avec les observations et les productions officielles. Comparaison des productions entre groupes successifs.

7. TD cadrage national au choix avec prévisionniste opérationnel (4h)

CHOIX 1 Prévision J2/J3 CNP :

- Utilisation de Synopsis (et outils disponibles sur internet) sur la situation du jour (focus sur phénomènes de basses couches / glissants compte-tenu de la saison)
- Choix de scénario à échelle nationale avec approche multi-modèles (dont ensembles) : méthodologie et application
- Production nébuls complètes tous paramètres / ébauche carte phénomènes dangereux (approche par enjeux)
- Confrontation à la production officielle (interne et externe)

OU

CHOIX 2 Prévision à Moyenne Echéance CNP (J4/J9) :

- Utilisation de Synopsis (et outils internet) sur la situation du jour
- Expertise d'ensembles et de multi-ensembles
- Production de cadrages nébuls type média à échelle nationale
- Ebauche carte phénomènes dangereux (approche par enjeux)
- Confrontation à la production officielle (interne et externe) à l'échelle nationale et locale

8. Adaptations Statistiques (CTD 2h), dont prévision des températures.

9. TEST 1 : QCM moodle de 1h sur séances 1-8 dont en particulier les modèles, les outils de décision et la vigilance (note chiffrée). Coeff 1 sur 4.

10. CTD thématiques au choix (8h) :

CHOIX 1 Phénomènes convectifs (2h autonomie + 2*3h CTD)

- a) 2h auto + 3h CTD : Rappels et compléments sur la convection profonde (concepts avancés) : structuration à méso-échelle de la convection, présentation des « indices LABO » de convection sévère de type USA + TD Synopsis sur situation archivée. Focus

convection profonde avec étude synoptique préalable. Expertise AROME et suivi au fil des runs. Zonage du risque d'orage fort.

b) 3h CTD : Outils et méthodes de la prévision immédiate et de la prévision d'ensemble Non-Hydrostatique à très courte échéance dédiés à la convection.

- Prévision Immédiate :

généralités sur la PI, PI de la convection et des précipitations, approche par objets, modèle opérationnel AROME-PI, méthode d'advection lagrangienne 2PIR, produit alerte pluie à 1h, produit PIAF combinant modèle et radar.

- Prévisions d'ensemble à très courte échéance :

rappels prévision d'ensemble/prévision probabiliste. TD sur situation convective archivée ; complémentarité outils PI / outils PE (valorisation de la PEAROME et d'AROME-PI pour la prise de décision).

OU

CHOIX 2 Problématiques hivernales (2h autonomie +2*3h CTD)

a) 2h auto + 3h CTD : Phénomènes glissants (neige, pluie verglaçante) :

- Rappels et compléments sur schémas conceptuels, calcul de la Limite Pluie-Neige, diagnostics d'aide à la décision du Labo.

- Application sur cas d'études (éventuellement situation du jour si pertinente).

b) 3h CTD : Phénomènes de basses couches (brouillards, nuages bas, températures à 2m)

- Rappels et compléments sur schémas conceptuels (dont types de brouillards et entrées maritimes)

- Application sur cas d'études (éventuellement situation du jour si pertinente).

11. Activités thématiques au choix avec ouverture à l'échelle internationale - 6h (activité préparatoire réalisée sur 5 semaines entre novembre et décembre, en cours d'anglais et en trinômes). SANS EVALUATION. Dont : reconnaissance des schémas conceptuels, y compris ceux relatifs aux effets locaux.

1) CHOIX 1 Prévision Monde aux latitudes tropicales (2*3h de cours-TD)

a) 3h CTD météo tropicale : climats des zones tropicales, cycle diurne de la convection tropicale, acteurs synoptiques spécifiques des tropiques, modes de variabilité/forçages, MJO ; présentation de la méthodologie de prévision opérationnelle avec Synopsis et internet + TD de mise en application sur la situation du jour.

b) 3h CTD météo hybride (co-animation avec C3M) : schémas conceptuels du médicane, de la dépression subtropicale, et des transitions tropicales TT et extratropicales ET (avec « mélange » de processus baroclines et barotropes). Manipulation d'outils d'aide pour l'analyse et prévision de la structure de la dépression : le diagramme de phases de R.Hart, largement utilisé en opérationnel

Comprend une partie TD sur la situation du jour (sur synopsis).

OU

2) CHOIX 2 Prévision Monde aux latitudes tempérées (2*3h de TD)

a) Sur synopsis ou internet (outil libre), situation du jour. 3h en FRANCAIS

b) Sur synopsis ou internet (outil libre), situation du jour (suite). - 3h en FRANCAIS (PAM)

OU

- 3h en ANGLAIS (co-animation PAM + LET)

Séance a) (PAM) : Etude de la situation météo en temps réel sur le pays anglophone choisi précédemment comme fil rouge en cours d'anglais.

Séance b) avec langue au choix (PAM+LET) :

- avec PAM : approfondissement en français de la séance a) avec des minis-briefings d'élèves volontaires. Débriefing sur le fond et la communication.
- avec PAM+LET : approfondissement en anglais de la séance a) avec des minis-briefings d'élèves volontaires. Un enseignant en anglais sera présent pendant les 2 dernières heures de cette séance en cas de besoin des élèves concernant le vocabulaire ou la grammaire et pour les écouter s'exprimer en anglais. Débriefing sur la langue anglaise, le fond et la communication.

12. TD vacation CPR (J/J1) : 4h (animation par un Chef Prévisionniste Régional)

2 choix possibles, fléchés selon choix 1 ou 2 précédents :

1) thème convection/été

OU

2) thème neige/hiver

- prévision inter-régionale à J/J+1 avec approche par enjeu, via situation archivée sur Synopsis,
- rédaction de directives régionales,
- ébauche de carte de vigilance si enjeu intéressant (sinon rédaction de bulletin type météoflash),
- comparaison/vérification avec la production officielle diffusée sur internet / mobile, suivi temps réel et critique de la prévision automatisée si situation en temps réel.

13. TEST 2 Coeff 3 sur4.

Évaluation sur situation réelle (3h) : (schémas conceptuels, contrôle calage modèle, choix de scénario synoptique ARP ou CEP, étude fine avec AROME, estimation de l'incertitude avec les ensembles, commentaires de nébuls et presygs, tracé de zonage, mise en vigilance) ; notes chiffrées. Utilisation de Synopsis oper (temps réel) ou replay (temps différé) selon situation météo.

Prévision numérique du temps

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 28

Compétences attendues en fin d'enseignement :

L'élève doit maîtriser les connaissances théoriques de base en prévision numérique du temps afin d'utiliser efficacement les modèles de prévision pour l'analyse et la prévision du temps, pour des études de situations, et disposer des repères nécessaires aux approfondissements ultérieurs permettant de participer, au sein d'une équipe de recherche ou de développement, à la résolution d'un problème de prévision numérique, dans le domaine de l'atmosphère ou d'un milieu connexe.

Ce cours présente les aspects multiples de la modélisation de l'atmosphère. Il met en place la terminologie de base permettant un dialogue avec les modélisateurs ou l'accès à une documentation détaillée. Les limitations, dont la connaissance est nécessaire à l'interprétation des produits numériques, sont soulignées. L'exposé insiste davantage sur l'esprit dans lequel les problèmes sont abordés plutôt que sur les détails techniques des solutions. Ce cours montre la synthèse de nombreuses disciplines qui s'opèrent dans la modélisation.

Un Travail Dirigé de 6 heures permet aux élèves de mettre en place l'algorithme détaillé d'un petit modèle à l'image du modèle opérationnel et de traiter une question complémentaire, esquissée en cours, avec quelques détails.

Pré-requis :

Principes généraux et définitions de base de la modélisation, optimisation, schémas numériques, technologie informatique, traitement du signal (changement d'espace « spectral, physique », filtrage), processus atmosphériques (fluides géophysiques, familles d'ondes, CLA ...), chaîne de prévision.

Acquisitions :

Coordonnées verticales et hypothèses hydrostatique et non-hydrostatique, modèles non-linéaire, linéaire tangent, modèle adjoint, particularités de la méthode spectrale mise en œuvre en modélisation de l'atmosphère, schémas d'intégrations temporelles semi-implicite, semi-lagrangien, notions sur les paramétrisations physiques, vectorisation, parallélisation, systèmes dynamiques, espace des phases, prévisibilité, prévision d'ensemble et notion de prévision probabiliste.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat

- Évaluer la qualité d'un modèle
- Manipuler et analyser de gros volume de données

Programme détaillé :

1. Les activités que recouvre la prévision numérique

2. La dynamique de l'atmosphère : un résumé

- Notion de modèle
- Les hypothèses de base
- Les deux grandes parties d'un modèle
- Les interactions fondamentales et leurs effets quasi-linéaires
- La non-linéarité et ses principales conséquences (vocabulaire des systèmes dynamiques)
- Mise en équation : modèle global sur la sphère
- Introduction au modèle adjoint et au modèle linéaire tangent

3. Notions sur les méthodes numériques

- Les éléments de la méthode spectrale et l'algorithme en transformations
- Autres méthodes de calcul des dérivées spatiales
- Algorithmes de discrétisation temporelle (semi-implicite, semi-lagrangien)
- Programmation des modèles sur les grands ordinateurs (vectorisation, parallélisation)

4. Notions sur les paramétrisations physiques

- Nécessité des paramétrisations
- Approche quantitative du principe des paramétrisations
- Les précipitations stratiformes
- La traînée des ondes de gravités internes
- La diffusion turbulente verticale et l'interaction avec la surface
- Le rayonnement
- La convection profonde
- Interactions entre paramétrisations et diagnostics

5. Le contexte de la notion de cycle d'assimilation

- Rôle et place de l'analyse objective
- Nécessité et principe de l'initialisation dynamique
- Principe du cycle d'assimilation

6. La prévisibilité

- Concepts autour de la notion de système dynamique : espace des phases, attracteurs, notion de prévisibilité intrinsèque
- Prévision d'ensemble : principe, initialisation
- Evaluation d'une prévision d'ensemble

7. Post-traitements statistiques

- Les différentes techniques d'adaptation statistique (AS)
- Probabilisme et AS
- Scores déterministes et probabilistes - Apport des AS
- Exemples d'applications

8. Prévision numérique à méso-échelle

Y sont exposés les fondements théoriques spécifiques à cette forme de modélisation, afin de montrer les principes de base ainsi que les capacités et les limites.

- Introduction – généralités
- Partie Dynamique
- Partie physique
- Prospective

9. Conclusions

- Les différentes causes de mauvaises prévisions
- Fiches techniques des principaux modèles disponibles en France
- Présentation de la chaîne de prévision opérationnelle et de son horaire

10. Travaux Dirigés

- Mise en place d'un algorithme détaillé d'un modèle simple à l'image du modèle opérationnel
- Approfondissement d'une question de cours

Evaluation : 1 épreuve écrite de 1h.

Semestre 7 / UE Recherche et innovation

Assimilation de données

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 22

Compétences attendues en fin d'enseignement :

L'élève doit savoir choisir une méthode d'assimilation de données adaptée à un problème concret, puis il doit savoir implémenter numériquement cette méthode dans le cas où la dimension du problème est petite (maximum ~100 degrés de libertés).

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle
- Manipuler et analyser de gros volume de données

Mot clés : prévision numérique, assimilation de données, filtre de Kalman, méthode variationnelle, méthode hybride

Pré-requis : cours de probabilité et statistiques I, cours d'introduction à la prévision numérique

Programme du cours :

Le nombre d'heures associé à chaque section est donné à titre indicatif.

1 Introduction à l'assimilation de données (2h)

- 1.1 Principes généraux
- 1.2 Géosciences et grande dimension

2 Aspects théoriques (12h)

- 2.1 Approche variationnelle (6h)
 - 2.1.1 Formulation et fonction-coût
 - 2.1.2 Minimisation et algorithmes
 - 2.1.3 Modélisation des covariances
- 2.2 Méthodes ensemblistes (6h)
 - 2.2.1 Filtre de Kalman
 - 2.2.2 Assimilation d'ensemble

3 Compléments théoriques (4h)

- 3.1 Principes communs à d'autres domaines
Lien avec deux thèmes sur les trois proposés (en fonction du temps restant) :
 - 3.1.1 Régression linéaire et formule de Bayes
 - 3.1.2 Lissage par splines

- 3.1.3 Théorie du contrôle
- 3.2 Compromis pratiques et choix stratégiques
 - 3.2.1 Quelques chiffres
 - 3.2.2 Comparaison entre quelques centres
 - 3.2.3 Quel futur pour l'assimilation ?

4 Travaux dirigés (2h)

Au choix (un seul TD sur les deux) :

- 4.1 Design d'un algorithme d'assimilation
 - Choix d'un problème de prévision non lié à la météorologie. Discussion autour du modèle et des données.
 - Choix d'un algorithme en fonction des contraintes du problème (sans implémentation).
 - Modélisation graphique d'un modèle d'assimilation de données (sous forme d'un diagramme ou d'une séquence d'appels).
- 4.2 Utilisation en prévision du temps
 - En collaboration avec un professeur de prévision du temps.

Evaluation : Epreuve écrite de 1h

La distribution des points lors de l'évaluation sera proportionnelle au temps passé en cours.

Bibliographie :

- Kalnay, E. Atmospheric modeling, data assimilation and predictability Cambridge University Press, 2002, 364pp.
- Daley, R. Atmospheric Data Analysis Cambridge University Press, 1991, 472pp.
- Evensen, G. Data Assimilation: The Ensemble Kalman Filter Springer, 2009, 332pp.
- Rodgers, C.D., 2000: Inverse methods for Atmospheric sounding theory and practice. World Scientific Publishing, London, 256 pp.

Semestre 7 / UE Recherche et innovation

Modélisation des processus physiques (turbulence, convection)

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 15

Compétences attendues en fin d'enseignement :

L'étudiant doit être capable de décrire la modélisation d'une couche limite et d'implémenter une couche limite simple en s'appuyant sur les différents modèles de couche limites vu en cours de couche limite.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Modéliser les milieux en interaction avec l'atmosphère

Mot clés : modélisation de la couche limite, modélisation numérique

Pré-requis : cours de couche limite, cours d'introduction à la prévision numérique

Programme du cours :

Partie turbulence

I – Rappel sur la modélisation de la couche limite

- Équations de la couche limite et hypothèse de la couche limite planétaire
- Fermeture par coefficient d'échange turbulent
- Modélisation locale et non-locale
- Solution de similitude

II – Implémentation numérique d'une couche limite turbulente

Partie Convection

1) Les effets de la convection sur la grande échelle

- Théorie : Q1-Q2, flux de masse
- Représentation de la convection dans les modèle de Méso-échelle : exemple d'AROME
- Paramétrisation de la convection
- Évaluation des schémas de convection : exemple d'étude de Q1/Q2 sur le cas AMMA de 2006

Évaluation : sans

Semestre 7 / UE Ingénieur premier de cordée

Anglais

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 34

Compétences attendues :

Le contenu de ce module doit permettre à l'élève d'améliorer ses connaissances et compétences langagières générales et de spécialité, d'acquérir une meilleure fluidité dans la langue cible et d'améliorer son score TOEFL

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Adopter la posture de chercheur

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- S'informer et communiquer

Programme :

Pratique des compétences essentielles de communication et renforcement des connaissances lexicales et grammaticales

- compréhension de l'oral et de l'écrit à partir de documents vidéo et audio, d'articles de presse
- expression orale (présentations, discussions, débats,,)

Les enseignements couvriront des thématiques générales et plus ciblées : le monde anglophone dans ses aspects divers, les questions majeures des sociétés contemporaines, sujets en lien avec l'environnement, les sciences, la météorologie et le climat.

Entraînement spécifique à l'épreuve du TOEFL sous forme d'extraits de tests et de tests complets

Pratique de la langue de spécialité :

- Exploitation de supports et de documents variés ayant trait à l'environnement, la météorologie, le climat, l'innovation technologique et scientifique
- Renforcement du vocabulaire de spécialité : anglais scientifique, anglais des prévisions et anglais de météorologie générale et de climatologie
- Travaux de compréhension/restitution et traduction de bulletins météorologiques et présentations de bulletins météorologiques en anglais
- Travaux de compréhension, analyse et traduction de documents scientifiques

Supports :

Utilisation de plate formes d'apprentissage en ligne (Global Exam)

«English Resources» sur l'École Numérique de l'ENM

Évaluation :

- TOEFL interne
 - Exposés courts en groupe sur un pays anglophone pour en faire ressortir ses caractéristiques géo-climatiques et les enjeux socio-économiques afférents (en anticipation des activités « Production Monde Amont », « Prévision Conseil » dirigées par le département ENM/PAM)
-

Semestre 8 / UE Enjeux des sciences météo-climatiques

Enjeux des sciences météo-climatiques

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 15

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Conseiller l'utilisateur en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Prendre une décision en interne en recherchant l'information de manière pro-active (y compris en provenance du terrain) et en synthétisant de multiples sources d'informations
- Communiquer en contexte de crise ou de polémique, à l'oral et à l'écrit en s'assurant de l'unicité du message transmis vers l'externe
- Estimer la météo-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Estimer la climato-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin
- Présenter les différents scénarios climatiques à échelle globale et/ou régionale en expliquant le fonctionnement de la machine climatique, en expliquant les sources de variation, en différenciant les causes naturelles et anthropiques de variation
- Identifier les impacts du Changement climatique sur le domaine d'activité de son interlocuteur,
- Expliciter son analyse en argumentant ses choix et en prenant en compte les enjeux sociétaux et géopolitiques

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Identifier et spécifier le besoin, comprendre la problématique du client, identifier les enjeux

Programme :

Structure générale de l'UE : conférences données par des intervenants extérieurs sur les thématiques suivantes :

Sécurité (SPB) (3h)

Enjeux sociétaux et géopolitiques du changement climatique (9h)

Météo-sensibilité (2h)

- panorama des domaines météo-sensibles à différentes échéances de prévision (notion d'étude de besoins) ; mise à disposition de fiches par domaines d'assistances/conseil (cf. portail formation prévisionnistes).
- Notion de valeur économique ou décisionnelle d'une prévision (modèle coût/perte sous forme de jeu) ; apport de l'expertise humaine par rapport à une production automatique.

Semestre 8 / UE Prévision conseil en météorologie et sciences connexes

Prévision Conseil et Sciences connexes

Date de la dernière révision : février 2020

Total d'heures : 90

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Les semestres précédents étaient consacrés à l'apprentissage de l'analyse et de la prévision générale AMONT, à toutes échelles temporelles et spatiales, avec production de documents techniques (nébuls, présyg, et autres produits y compris non estampillés « Météo-France »). Un accent était également porté sur l'aspect conseil dans le cadre de la mission institutionnelle SPB (Sécurité des Personnes et des Biens), via la réalisation de cartes de vigilance sur des événements à enjeu (TP encadré par un chef-prévisionniste) et la découverte en autonomie d'outils complémentaires d'aide à la décision.

Ce semestre est quant à lui majoritairement orienté prévision CONSEIL pour divers types d'«utilisateurs» : aéronautique et marine notamment, avec en outre découverte de plusieurs domaines connexes à la météorologie proprement dite dont l'hydrologie et la pollution atmosphérique. Pour ces 2 thèmes, une partie est dispensée en tronc commun, puis les élèves peuvent ensuite se spécialiser dans l'une ou l'autre voie.

Des activités diverses de prévision météorologique « grandeur nature » (en conditions réelles) sont proposées aux élèves au bénéfice d'événements sportifs, culturels, scientifiques, etc ; alternativement, les élèves peuvent prendre part à des briefings (en français ou en anglais), ou même à la rédaction de synthèses pédagogiques du concours de prévision organisé au sein de l'ENM.

Des ateliers ou conférences (au choix des élèves parmi plusieurs thèmes proposés) sont en outre organisés sur plusieurs thématiques météo-sensibles, avec parcours «à la carte» : viabilité hivernale-routes, nivologie-avalanches, agrométéorologie, feux de forêt, problématiques énergétiques. Un focus est également mis sur la communication et la vulgarisation de l'information météo, en particulier au travers des réseaux sociaux (twitter, facebook, ...).

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 1 : Piloter et expertiser, en assurant la continuité de service, la production d'information météorologique, climatique ou pour des milieux en interaction avec l'atmosphère à différentes échelles spatiales et temporelles

- Maîtriser l'environnement de travail du spécialiste en Sciences météo-climatiques
- S'intégrer efficacement dans une équipe de production opérationnelle en continu
- Analyser une situation météo en tout point du globe
- Prévoir l'évolution de la situation météo en tout lieu du globe, en temps contraint, à partir de sources d'informations multiples (non exclusivement MF)
- Conseiller l'usager en adaptant la prévision à ses besoins et à sa météo-sensibilité
- Produire et expertiser des prévisions à long terme (mensuelles ou saisonnières) ou climatiques
- Communiquer sur l'actualité météo-climatique récente ou prévue

A.M. 3 : Décider, conseiller et communiquer en situation à fort enjeu pour la sécurité des personnes et des biens

- Estimer la météo-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin
- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information probabiliste quantifiant l'incertitude de la prévision et en faisant preuve de pédagogie
- Expliciter sa décision en argumentant son choix auprès d'autres acteurs internes ou externes

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Organiser son travail efficacement en autonomie
- S'informer et communiquer
- Faire preuve de créativité et d'adaptabilité dans un monde en mouvement

Pré-requis : S5 à S7 d'analyse-prévision, notamment le module de Prévision Météo Expertisée du S7 précédent.

Mots-clefs (acquisition) : prévision-conseil, météo-sensibilité, expertise humaine, incertitude, météorologie aéronautique, météorologie marine, hydrologie, pollution, énergie, agrométéorologie, feux de forêt, nivologie, routes, prévision saisonnière, communication via les réseaux sociaux.

Programme du cours:

1. Présentation générale du module, dont consignes et critères objectifs d'évaluation pour les activités conseil (assistances/briefings) (1h)

2. Météo-sensibilité et apport de l'expertise humaine (6h)

a) Cours 3h

- Introduction au semestre : panorama des domaines météo-sensibles à différentes échéances de prévision (notion d'étude de besoins) ; mise à disposition de fiches par domaines d'assistances/conseil (cf. portail formation prévisionnistes).
- Notion de valeur économique ou décisionnelle d'une prévision, approche probabiliste, modèle coût/perte : approche ludique via vidéos d'illustration et jeux de rôles.
- Produits/indices/indicateurs élaborés adaptés à la météo-sensibilité des clients/usagers : éolien, transport d'électricité, etc.

b) CTD 3h

- Plus-value de l'expertise humaine par rapport à une production automatique – dont expertise d'Adaptations Statistiques de températures, illustration d'incohérences des bulletins AGAT et de la production diffusée sur les sites meteo.fr et appli mobile, impact des réformes internes Météo-France sur l'expertise métier (accompagnement de l'information probabiliste et automatisée).

3. Météorologie aéronautique (30h)

Contenu suivant les recommandations de l'OACI, de l'EASA et de Météo-France/DSM/Aéro

a) Cours (CM 14h + CTD 4h)

- L'utilisateur et son environnement – **CM 2h** dont intro générale 10'
- Le cadre réglementaire de l'assistance aéronautique – **CM 2h**

- Les phénomènes pouvant impacter le vol – **CM 6h + CTD 2h** :
 - ✓ CTD 2h (3 groupes) Turbulence et cisaillement du vent (dont manipulations Synopsis et aéroweb par les élèves)
 - ✓ CM 2h Givrage (dont démo Synopsis et illustrations SIGMET et TEMSI MF)
 - ✓ CM 1h Orages et Cyclones
 - ✓ CM 2h Cendres volcaniques (dont démo Synopsis et illustrations SIGMET et TEMSI MF)
 - ✓ CM 1h Réductions de visibilité et plafonds bas (+ exercice d'application à l'issue du cours sur le (dé)codage de TAF avec problématique plafond/visi)

- L'assistance à l'Aviation Civile et service fourni par MF – **CM 4h + CDT 2h** :
 - Prévision locale en CRA
 - ✓ CM 2h Services standards ; Services spécifiques ; Niveaux de service ; Service de pointe ; Veille, contrôle et critique des observations automatiques en CRA
 - ✓ CTD 2h (3 groupes) codage et lecture de METAR et TAF
 - Prévision de zone en CVM : CM 2h
 - ✓ CVM et SIGMET
 - ✓ Soutien aux CRNA
 - ✓ Coordination SIGMET
 - ✓ TEMSI Basse Altitude et autres TEMSI
 - ✓ Service d'auto-briefing

b) Aviation légère - aérologie - vol à voile (3h)

c) Problématiques défense CISMF (2h)

- CM : Panorama des activités CISMF (30')
- TD : coupes terrain et/ou coupes trajet (1h30) : découverte du principe de ces produits et apprentissage de leur lecture.

d) TD TEMSI / SIGMET Synopsis (4h) – 3 groupes

- e) **Perspectives et évolutions** (projets SESAR, Space Weather et RHWAC) – **CM 2h** dont 15' d'explications sur le déroulé du test QCM et débriefing de l'ensemble des cours aéro.

f) Test (QCM + questions libres : 1h sur 20 pts)

A l'issue de ces cours et TD, les élèves seront capables de coder, interpréter et commenter toutes les productions locales réalisées en CRA (METAR, OBSMET, TEND, TAF, PREDEC et MAA) ainsi que les productions de zone du CVM (SIGMET, TEMSI) Ce cours aborde également les moyens de production, la supervision, la veille et l'accès aux données pour les usagers.

-

4. Prévision marine expertisée et océanographie opérationnelle (12h) :

Contenu suivant les recommandations du référentiel de l'OMM 2015 : "WMO Marine Weather Forecaster Competence Framework" et de Météo-France/DIROP/MAR

Pré-requis : cours de dynamique de l'océan et d'océanographie spatiale (18h dispensées au S6).

- a) Introduction générale 1h (aspects institutionnels et sécurité + panorama produits et R&D)
- b) CTD Observations Marines, Modèles de vagues, vocabulaire, paramètres, unités, règles de rédaction des bulletins marines et des BMS - application à la tempête Xynthia (ébauche de bulletin large et de BMS large) : 3h
- c) CTD Synopsis 2h sur bulletin côte/BMS côte sur situation archivée + vérification a posteriori avec les observations et productions officielles.
- d) CTD Synopsis 2h sur problématique surcote/submersion à partir de la même situation archivée que c) + vérification a posteriori avec les observations et productions officielles.
- e) Présentation et utilisation de Mothy : modèle de dérive dédié à la pollution marine : 2h (dont manipulation sur situation archivée récente)
- f) Présentation des activités de Mercator-Océan International (1h) : L'océanographie opérationnelle, les modèles océaniques globaux et régionaux de Mercator (dont leurs biais et limites), le couplage océan/atmosphère, le site internet de Mercator, le service Marine du programme européen Copernicus.
- g) 1h de QCM sur 20 pts

Paragraphe 5 à 7 à suivre :

Les élèves ont 8h de tronc commun en hydrologie et en pollution atmosphérique respectivement.

Ils doivent choisir ensuite 8h de spécialisation en hydrologie (spécialité A) ou en pollution (spécialité B).

Ces 2 filières se terminent par un QCM commun d'une heure. Cela fait donc un total de 25h par élève.

5. Hydrologie (8h + 8h d'option de spécialisation au choix en quarts de classe)

- a) Tronc Commun : Hydrologie de crues (cours 5h)
- notion de bassin versant et d'hydrométrie, type de crues en France et dans le monde, exemples, dispositifs opérationnels et réglementaire de prévision des crues (réseau SCHAPI-SPC)
 - modélisation hydrologique : typologie des modèles (pluie-débit, débit-débit, distinction hydrologie/hydraulique), limites, hypothèses, sensibilité aux données météo, statuts opérationnels ; couplage avec l'atmosphère. Perspectives.

b) Tronc Commun : Ressource en eau et hydrologie urbaine (cours 3h) : suivi étiages et sécheresses, aspects réglementaires, modélisation, changement climatique et études d'impact. Assainissement pluvial, dispositifs opérationnels

c) Spécialité A : CTD hydrométéorologie : épisodes méditerranéens (4h), TP étude situation méditerranéenne et production d'un BP

d) Spécialité A : CTD hydrométéorologie (suite) : application aux crues sur la situation du TP précédent, (4h) : abaques pluie-débit et modèle hydrologique

6. Pollution atmosphérique (8h + 8h de spécialisation au choix en groupes)

Pré-requis : cours sur la chimie atmosphérique et la couche limite polluée (10h dispensées au S7).

a) Tronc Commun : 2h de cours sur la pollution chronique (cours théorique) : les principaux polluants anthropiques (Nox, CO, PM, O3 troposphérique) ; seuils d'information et d'alerte ; les grands épisodes de pollution et leurs impacts politico-médiatiques (circulation alternée, limitations de vitesse, vignettes critair) ; vocabulaire de base de la pollution dont notions de dépôt/lessivage ; les interlocuteurs ASQAA (dont ORAMIP et AIRPARIF) ; le programme européen Copernicus et le multi-modèle MACS ; les modèles MOCAGE-Chimie Transport (rappels) de Météo-France et CHIMERE de l'INERIS => caractéristiques techniques et limites ; problématique des pluies acides (lien avec agrométéo) ; ANNEXE : prévision des pollens (allergies).

b) Tronc Commun : 2h de cours sur la pollution accidentelle (cours théorique) :

- contexte réglementaire ; les différents types de plan d'urgence ; le risque nucléaire et chimique en France et dans le Monde ; l'organisation interne à Météo-France pour répondre à une crise de type urgence environnementale (non volcanique) ; les différents partenaires et interlocuteurs nationaux et internationaux de Météo-France dans le cadre de la pollution accidentelle anthropique.

- modélisation théorique de la dispersion de polluant ; caractéristiques/limites des modèles MOCAGE-Accident et PERLE ; exemples de simulations, dont cas de Fukushima et Tchernobyl pour le nucléaire, et AZF Toulouse et Notre-Dame Paris pour le non-nucléaire.

c) Tronc Commun : compléments pratiques séance a) : expertise des profils verticaux en contexte d'inversion de température ; expertise de hauteur de couche limite ; consultation des modèles de qualité de l'air via site interne lynx et la plate-forme externe PREVAIR ; contexte météo correspondant aux pics de pollution anthropique à l'ozone et aux particules fines ; exemples de bulletins pollution opérationnels diffusés par Météo-France au titre de l'assistance aux ASQAA ; problématique de la neige « de pollution » et sa prévisibilité ; modèles MOCAGE-Chimie et MOCAGE-Sable (suivi des aérosols) => consultation via Synopsis. Méthodologie d'assistance en prévision conseil.

d) Tronc Commun : compléments pratiques séance b) : méthodes d'expertise opérationnelle des modèles de dispersion de polluant, dont illustrations métier via plusieurs cas d'étude ; présentation du site de crise interne CMC ; architecture d'un bulletin de type plan d'urgence. Les observations SEMENCE et les Zones Sous le Vent sur les sites nucléaires.

e) Spécialité B : 4h : TP sur la pollution chronique « qualité de l'air » ; application sur situations réelles passées.

f) Spécialité B : 4h : TP sur la pollution accidentelle de type nucléaire : application sur un cas fictif en temps réel. Utilisation du site de crise interne CMC

7. TEST hydro / pollution : 1 heure de QCM (sur 20 pts)

sur les 16h de cours de tronc commun en hydrologie et en pollution atmo.

8. Activité exceptionnelle au choix, en immersion dans la sphère recherche /opérationnel en semaine 22 (fin mai), sur 3 jours consécutifs du mercredi 27 au vendredi 29 mai (soit environ 20h, hors volume du semestre) :

8a. Atelier OpenIFS co-animé par le CEPMMT et l'ENM.

Effectif max : de l'ordre de 24 élèves (groupe 1/3) sous réserve tenue effective.

OU

8b. Participation à la semaine de workshop HYMEX sur la météopole (CIC et ENM), dont journée spéciale dédiée au transfert recherche/opérationnel le jeudi 28 mai (avec briefing par des élèves au CIC et Jeu de rôle « table ronde cellule de crise décisionnelle avec plusieurs acteurs fictifs » organisé en collaboration avec l'université de Grenoble dans le cadre du Projet ANYWHERE/ANYCARE).

Remarque : Le créneau du jeudi matin de 11h à 13h ne pourra pas être libéré pour les élèves concernés (cours d'anglais), sauf éventuellement un petit groupe d'élèves qui s'organiserait pour rattraper la séance ratée (préparation poster EMI anglais).

Effectif max : de l'ordre de 24 élèves (groupe 2/3) sous réserve nombre de places disponibles.

OU

8c. Vacations opérationnelles au CNP (PG, MAR ou AERO). Rapport à rédiger.

Priorité pour les élèves fonctionnaires choisissant un stage de prévision à l'étranger en juillet – août. Sur sollicitation des élèves auprès de la DE et de PAM.

Effectif max : de l'ordre de 10 élèves (groupe 3/3) sous réserve disponibilité services accueil.

9. Introduction aux réseaux sociaux (dont charte de comportement) : 1h

Présentation co-animée par un.e prévisionniste et un.e communicant.e

10. TP thématiques en quarts de classe (6h), 1 seul choix par élève :

Chaque TP n'est dispensé qu'une seule fois.

a) **Journée thématique « ENERGIE »** : échéances courtes à saisonnières, dont problématiques liées aux énergies renouvelables (éolien, solaire, ...) - journée complète 2*3h. Participation EDF

OU

b) Problématiques hivernales : **Viabilité hivernale** (assistance routes) 3h + **Nivologie/montagne** (avalanches) 3h

OU

c) Problématiques continentales : **Agrométéorologie** 3h (dont outil Taméo) + **Feux de forêt** 3h.

OU

d) **Journée thématique « suivi de situation convective / communication via les réseaux sociaux »** - journée complète 2*3h (+ cours de 1h sur les réseaux sociaux en classe entière entre les 2 TP, cf. 9)

sur situation du jour si possible (sinon, situation archivée), avec focus convection profonde et suivi temps réel l'après-midi :

- révisions et compléments sur les concepts avancés de convection profonde (pré-requis nécessaires) : 3h

- suivi temps réel d'une situation convective (éventuellement hors de France) avec cadrage préalable et débriefing en fin de séance (3h). Utilisation des réseaux sociaux (facebook, twitter) et de l'obs participative, en tant que source d'informations, mais également comme vecteur de communication/production

11. Prévisions longue échéance (mensuelle et saisonnière, projet OMM S2S : Subseasonal to Seasonal) (6h)

Pré-requis : cours théorique de prévision mensuelle et saisonnière.

a) Régimes de temps/modes de variabilité, téléconnexions, et leur prévisibilité. Dispositifs opérationnels de prévision saisonnière. Opportunités d'emploi pour les civils. TD internet : suivi climatique en date du jour « J » + prévision « sans couture » (prévision mensuelle et saisonnière « amont » avec utilisation de modèles et de prédicteurs statistiques) : 3h

b) Météo-sensibilité et enjeux clients commerciaux à longue échéance : secteur agro-alimentaire, grande distribution dont TD d'application à la prévision conseil. Forecast-Based Financing. Expertise de multi-modèles calibrés : 3h

12. Activités « conseil » réparties tout au long de la période (1 choix obligatoire au minimum par élève) : 3h de créneau préparatoire en autonomie + volume variable avec heures hors planning

Activité au choix de l'élève :

12a. Briefing français conseil (3h de préparation en autonomie + passage à l'oral devant public ENM) (activité devant être obligatoirement pourvue)

Outil(s) au choix de l'élève. Briefing principalement axé prévi-conseil via appel à suggestions de prévisions auprès des personnels et des élèves de l'ENM en début de semaine (+ supervision enseignants pour le choix des requêtes).

OU

12b. Prévision conseil en langue anglaise (3h de préparation en autonomie + passage à l'oral devant enseignants) (activité devant être obligatoirement pourvue)

Le pays étudié sera préférentiellement le pays anglophone des latitudes tempérées ou tropicales préalablement déjà étudié en cours d'anglais au S7. Enseignant en anglais disponible pour aider les élèves pendant la préparation.

OU

12c. Assistance conseil en conditions réelles (3h en autonomie la première semaine + autres créneaux ultérieurs, non programmés au planning à l'avance, selon dates des activités à l'extérieur de Météo-France) : 1 choix obligatoire au minimum par élève.

- proposition libre à l'initiative des élèves.
- autres activités pérennes (**certaines devront être obligatoirement pourvues***) :
 - assistance marine (et terre) dans le cadre de la course-croisière EDHEC inter-étudiants. *3h d'initiation à la prévi marine sont ajoutées à l'emploi du temps pour les élèves concernés, avant l'assistance et pendant la période de projet EMI. Bulletins à produire dès la semaine précédant l'événement. Les élèves se rendent sur place pendant une dizaine de jours.*
 - *meeting aérien AIREXPO (Muret – organisation étudiants ENAC – ISAE). *Prévision générale principalement. Bulletins à produire par les élèves la semaine précédant l'événement, qui tombe généralement un samedi, les élèves se rendant sur place durant une journée.*
 - semaine de qualification du tournoi de tennis Roland Garros, en partenariat avec MF Sports. *Les élèves se rendent sur place pendant plusieurs jours, ils doivent contribuer aux prévisions et au suivi de la situation météo, et rédiger un rapport à leur retour.*
 - *assistance AYAV Allons-Y à vélo (2 semaines) : *prévision conseil sur la météopole ou pour les besoins d'autres entreprises toulousaines pour l'optimisation de son trajet en vélo dans le cadre du déplacement domicile/travail. Pas de déplacement des élèves en dehors de Toulouse.*
 - assistance pour la rando roller à Toulouse (les vendredis soirs) : *Création/animation d'un mini-site web avec widget Météo-France intégré et production de bulletins conseil en amont. Pas de déplacement des élèves en dehors de Toulouse.*

Pour toutes ces activités d'assistance, un travail de communication sera demandé aux élèves, via notamment le canal de diffusion par les réseaux sociaux (Facebook).

Modalités d'évaluation :

- 3 QCMs avec notes chiffrées à l'issue des cours en présentiel (marine, aéro, hydro / pollution).
- 1 évaluation à partir de critères de compétences pour les activités de prévision conseil (briefings ou assistances réelles).

Semestre 8 / UE Répondre à un besoin client

Etudes ** Modélisation ** Innovation

Date de la dernière révision : mars 2020

Durée : 8 semaines

Pour favoriser une prise d'autonomie et une professionnalisation croissantes et une ouverture renforcée vers l'extérieur, le projet EMI (Etudes-Modélisation-Innovation) est mis en place et sera effectué en groupes de 3-4 élèves qui travailleront sur des sujets émanant des services de Météo-France. L'objectif est de mobiliser les connaissances et compétences des IENM2 au plus près des besoins des services tout en développant leur capacité à travailler en équipe.

Les sujets pouvant être proposés aux élèves relèvent d'un des types suivants :

- Modélisation, numérique ou statistique, au coeur des activités de Météo-France,
- Bureau d'Etudes, en lien avec un besoin client identifié par le service proposant le sujet,
- Innovation, contribuant à l'émergence d'idées et/ou de techniques nouvelles

Le projet EMI est positionné de façon à ce que la quasi-totalité de la formation théorique commune à tous les IENM soit terminée. Le service qui propose un sujet doit s'assurer de sa capacité d'accueil du groupe d'élèves. L'encadrement est assuré, dans les services, par les personnes ayant proposé le sujet.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Identifier et spécifier le besoin, comprendre la problématique du client, identifier les enjeux
- Analyser les contraintes et la faisabilité (état de l'art, coûts, délais, ressources réglementation...)
- Rechercher, choisir, voire élaborer les différentes données nécessaires à l'étude (y compris données clients ou externe)
- Qualifier et pré-traiter les données si besoin (homogénéisation, données manquantes, valeurs aberrantes)
- Sélectionner les outils statistiques pertinents
- Mettre en œuvre et configurer les outils de simulation numérique pertinents
- Assurer une veille scientifique et technique dans le domaine des statistiques et de la modélisation
- Analyser, critiquer, visualiser, mettre en forme les résultats et estimer l'incertitude
- Présenter et valoriser les résultats auprès du client, mesurer sa satisfaction tout au long de l'étude

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- Organiser son travail efficacement en autonomie
- S'informer et communiquer
- Gérer un projet
- Faire preuve de créativité et d'adaptabilité dans un monde en mouvement

Évaluation :

- Production écrite : un «rapport» pour le «client» (service ayant proposé le sujet), qui pourra avoir, par exemple, la forme de spécifications accompagnées d'une documentation technique pour une activité type Bureau d'Etudes ou d'un rapport scientifique pour une activité de modélisation, numérique ou statistique. Pour l'ENM, une fiche «Gestion de projet» ayant pour objectif de faire réfléchir les élèves sur leur expérience et les compétences acquises.
- Production orale : une présentation orale sera aussi demandée, de même une production poster en anglais.

Semestre 8 / UE Ingénieur premier de cordée

Anglais

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 34

Compétences attendues :

Le contenu de ce module doit permettre à l'élève d'améliorer ses connaissances et compétences langagières générales et de spécialité, d'acquérir une meilleure fluidité dans la langue cible et d'améliorer son score TOEFL

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Adopter la posture de chercheur

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- S'informer et communiquer

Programme :

Poursuite de la pratique des compétences essentielles de communication et renforcement des connaissances lexicales et grammaticales

Les enseignements couvriront des thématiques générales et plus ciblées : le monde anglophone dans ses aspects divers, les questions majeures des sociétés contemporaines, sujets en lien avec l'environnement, les sciences, la météorologie et le climat.

Poursuite de l'entraînement à l'épreuve du TOEFL

L'accent sera mis sur la pratique de la langue de spécialité :

- Exploitation de supports et de documents variés ayant trait à l'environnement, la météorologie, le climat, l'innovation technologique et scientifique
- Renforcement du vocabulaire de spécialité : anglais scientifique, anglais des prévisions et anglais de météorologie générale et de climatologie
- Travaux de compréhension/restitution et traduction de bulletins météorologiques et présentations de bulletins météorologiques en anglais
- Travaux de compréhension, analyse et traduction de documents scientifiques
- Préparation à la prise de parole, à la rédaction et à la conception de posters scientifiques

Supports :

Utilisation de plate formes d'apprentissage en ligne (Global Exam)
«Scientific poster guide» sur l'École Numérique de l'ENM

Évaluation :

- TOEFL interne
- Elaboration de posters scientifiques en lien avec les projets EMI rédigés et présentés en anglais

Semestre 8 / UE Ingénieur premier de cordée

Droit public

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 10

Objectifs :

Le but de ce cours est de sensibiliser les élèves à l'existence et au rôle des différentes instances administratives afin de mieux saisir le fonctionnement et la gestion d'un service, au travers des contacts de ce service avec les institutions territoriales, nationales et internationales.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe

Programme :

1. Présentation du droit

2. Les institutions politiques - L'organisation constitutionnelle de la France

3. Le droit des communautés européennes

4. L'organisation juridictionnelle de la France

5. Les institutions administratives

6. Les personnels de l'administration

Evaluation : Sans.

Semestre 8 / UE Ingénieur premier de cordée

Management d'équipe

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 12

Objectifs :

Ce cours doit permettre aux élèves de comprendre le rôle, les fonctions et les qualités de l'animateur d'équipe.

A l'issue de cette formation, les élèves doivent être capables d'assurer le mieux possible l'encadrement, l'animation d'une équipe en tenant des notions acquises précédemment.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Manager une équipe

Programme détaillé :

1. Définitions du manager

- Le rôle, les compétences requises

2. Les rôles essentiels de l'animateur d'équipe

- La faculté d'analyse de la situation
- La délégation, la supervision des tâches
- La communication, la motivation

3. Les pièges du pouvoir

4. Les styles de management

- Directif, persuasif, participatif, délégatif

5. Travaux dirigés :

- Mises en situation
- Analyse en petits groupes de situations type de management d'équipe
- Commentaires

Evaluation :

Sur les TP.

Semestre 8 / UE Ingénieur premier de cordée

Ecoute client 2

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 6

Compétences attendues en fin d'enseignement :

Le but du cours est de faire comprendre aux étudiants la méthodologie utilisée lors de l'élaboration d'une offre à travers un cas pratique leur permettant de s'approprier les concepts abordés et d'en comprendre les grandes lignes.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Analyser les contraintes et la faisabilité (état de l'art, coûts, délais, ressources réglementation...)
- Élaborer une offre technique, avec toute la précision nécessaire et en respectant les délais
- Étudier le marché, élaborer une offre commerciale

Programme :

- Du diagnostic à l'offre: une démarche logique et pourtant pas toujours suivie dans les faits...
- Segmentation / Ciblage / Positionnement : un préalable nécessaire
- L'offre : quel «Marketing-Mix»
- Cas pratique : quelle méthodologie pour déterminer une offre météo pertinente à destination des campings ?

Modalités d'évaluation : sur TP

Semestre 8 / UE Ingénieur premier de cordée

Gestion comptable et financière

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 12

Objectifs :

Le système comptable et financier est un outil d'information et d'aide à la décision omniprésent dans les organisations, que ce soit à travers les comptes annuels ou le processus budgétaire et de reporting. Le but de cet enseignement est de donner aux participants les clés de lecture et d'analyse de cette information qui leur permettront de l'utiliser à bon escient dans le cadre de leurs futures responsabilités.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- Adopter l'esprit d'entreprise

Programme détaillé :

Initiation à la logique comptable et financière

- Utilité de la comptabilité financière,
- Principes d'enregistrement des événements (courants ou d'inventaire),
- Normalisation comptable,
- Documents de synthèse (bilan, compte de résultat, annexe),
- Éléments de réflexion sur les difficultés et les insuffisances de la comptabilité,
- Concepts d'analyse financière.

Evaluation : Sans.

Pédagogie et bibliographie :

- Michel SALVA. Initiation à la logique comptable VUIBERT
- Jacques MAGNET. Éléments de comptabilité publique L.G.D.J.

Semestre 8

Stage de 2^{ème} année

Ce stage est un stage d'ouverture (internationale, culturelle) d'une durée de 12 semaines. L'objectif est pour l'élève de réaliser une mission scientifique et/ou technique à l'international et/ou dans un domaine connexe aux sciences météo-climatiques.

Le rendu pour l'ENM est la production d'un poster qui est soutenu à l'oral

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
 - Organiser son travail efficacement en autonomie
 - S'informer et communiquer
 - Faire preuve de créativité et d'adaptabilité dans un monde en mouvement
- et selon le sujet (entreprise ou recherche)

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Adopter l'esprit d'entreprise

Ou

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Adopter la posture de chercheur

Evaluation des acquis de l'apprentissage :

1) Par l'entreprise d'accueil sur la base d'une fiche d'évaluation fournie par l'ENM.

Niveau visé : Acquis avec guidage

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- Organiser son travail efficacement en autonomie
- Faire preuve de créativité et d'adaptabilité dans un monde en mouvement

Niveau visé ; Notion

- Adopter l'esprit d'entreprise

Ou

- Adopter la posture de chercheur

2) Par l'ENM, évaluation du poster et de la présentation orale.

Niveau visé : Acquis avec guidage

Semestre 9

Nota Bene :
**n'est décrit ici que le semestre «services météo-climatiques»
piloté intégralement par l'ENM**

UE 1 : Produire les données d'observation météo-climatique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 60

Structure générale de l'UE : 3 conférences suivies de 2 campagnes de mesures pédagogiques qui sont :
Campagne de mesures drones (CRA Lannemezan)
Campagne de mesures aéroportées mutualisée avec le M2 SOAC (UPS)

Compétences attendues en fin d'enseignement :

- organiser des mesures de terrain (briefing de prévision, logistique, préparation des systèmes de mesures)
- acquérir des données de mesures avec des instruments de recherche et des moyens mobiles
- utiliser ou développer des outils pour visualiser les données brutes acquises lors d'une campagne de mesure
- mettre en forme des résultats d'observation pour communiquer avec des pairs
- archiver les résultats d'une étude pour les réutiliser ultérieurement (lors de l'UE2 PNT)
- travailler en autonomie et en groupe

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 2 : Concevoir et maîtriser une chaîne de production de données géo-physiques, depuis la mise en place du réseau de mesures jusqu'à la fourniture du produit

- Concevoir un réseau de mesures (dimensionnement, implantation, choix et achat du matériel déployement...) Concentrer et diffuser les données et métadonnées géophysiques
- Archiver les données et méta-données associées
- Mettre à disposition les données sous un format standard et en gérant les droits d'accès
- Utiliser les outils de visualisation de données géo-référencées

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Mettre en œuvre des moyens d'investigation et d'observation pour étudier et comprendre les phénomènes météorologiques
- Adopter la posture de chercheur

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Organiser son travail efficacement en autonomie
- S'informer et communiquer
- Gérer un projet

Programme et évaluation :

Conférences «Observation du climat» (3 conférences de 2h)

- Glaciers et climat (intervenant : Etienne Berthier, LEGOS)
- Tourbes et climat (intervenant : Roman Teisserenc, ENSAT)
- Nuages, aérosols et climat (intervenant : Cyrielle Denjean, CNRM)

Campagne de mesure drone pour l'étude des basses couches

Objectif : sensibiliser et impliquer les élèves dans la mise en place d'un procédé expérimental d'observation et d'exploitation des mesures.

- Présentation des objectifs du module (1 jour + autonomie)
- 1 journée de mesures au CRA (Lannemezan)
- 3 jours d'exploitation des données
- Restitution : présentations devant les encadrants pour évaluation (+ briefing du jeudi)

Atelier mutualisé avec module mesures aéroportées du M2 SOAC « campagne de mesure » SAFIRE (Collaboration ENM, SAFIRE, UPS, CNRM) :

- Réalisation d'un briefing spécifique par les IENM - Sensibilisation des autres étudiants (M2, autres écoles)
- Décision collective relative au choix d'une zone d'intérêt argumentée sur la base des briefings
- Acquisition des données
- Analyse des données
- Valorisation sous forme d'exposés scientifiques et de communications grand public

Semestre 9

UE 2 : Mettre en œuvre et configurer des outils de simulation numérique pour la prévision du temps et du climat

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 60

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 5 : Améliorer les connaissances, concepts et méthodes dans le domaine des sciences de l'atmosphère et du climat en conduisant des actions de recherche et d'innovation

- Modéliser l'atmosphère à grande échelle et à l'échelle climatique
- Modéliser les processus physiques de méso échelle et micro échelle dans les domaines de l'atmosphère et des surfaces continentales
- Modéliser les milieux en interaction avec l'atmosphère
- Construire un modèle de prévision numérique du temps et du climat
- Évaluer la qualité d'un modèle
- Adopter la posture de chercheur

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Rechercher, choisir, voire élaborer les différentes données nécessaires à l'étude (y compris données clients ou externe)
- Mettre en œuvre et configurer les outils de simulation numérique pertinents
- Analyser, critiquer, visualiser, mettre en forme les résultats et estimer l'incertitude
- Présenter et valoriser les résultats auprès du client, mesurer sa satisfaction tout au long de l'étude

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Organiser son travail efficacement en autonomie
- S'informer et communiquer
- Gérer un projet

Programme et évaluation :

UE Structurée en 2 options, les élèves choisissent une option :

- Prévision numérique du Temps (option PNT)
- Projection climatique (option Climat)

Option PNT : (les élèves qui choisissent cette option réalisent la campagne drone de l'UE1 afin de valoriser les données collectées lors de la mini-campagne drone)

Mini stage Méso-NH (modèle open source) puis travaux en autonomie autour de la représentation des résultats de la campagne drone par le modèle :

Configuration Méso-NH 1D sur campagne de mesures Lannemezan.

Comparaison 1D forcé par les radio-sondages/1D libres.

Tests de sensibilité à la résolution verticale et aux schémas de turbulence.

Evaluation : soutenance orale des travaux réalisés et résultats obtenus

Option Climat : (les élèves qui choisissent cette option participent à la campagne «SAFIRE» de l'UE1)

Réaliser une descente d'échelle de cyclones tropicaux dans l'Océan Indien à l'aide d'Aladin-Climat

Utilisation et maîtrise du logiciel de détection et de suivi (tracking) des cyclones tropicaux

Analyse de simulations numériques

Étude et caractérisation de l'apport de la régionalisation sur la simulation des cyclones

Réalisation et analyse de tests de sensibilité aux paramétrisations physiques (turbulence, convection, microphysique)

Valorisation des simulations produites à l'aide de post-traitements adaptés (tracés graphiques notamment)

Evaluation : soutenance orale des travaux réalisés et résultats obtenus

Semestre 9

UE 3 : Climate Change Issues

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 60

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Estimer la climato-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin
- Présenter les différents scénarios climatiques à échelle globale et/ou régionale en expliquant le fonctionnement de la machine climatique, en expliquant les sources de variation, en différenciant les causes naturelles et anthropiques de variation
- Identifier les impacts du Changement climatique sur le domaine d'activité de son interlocuteur,
- Expliciter son analyse en argumentant ses choix et en prenant en compte les enjeux sociétaux et géopolitiques
- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information climatique, quantifiant l'incertitude et en faisant preuve de pédagogie
- Produire de la documentation destinée aux acteurs et décideurs économiques
- Mettre en œuvre une stratégie de communication de l'information climatique et de son incertitude

Programme et évaluation :

Structure générale de l'UE :

1h de présentation de l'UE et du travail demandé par ENM/DE

Conférences-débats (1/2 journée) :

- Négociations internationales (ONERC)
- Scénarios d'émission en lien avec les accords internationaux (CIRED)

7 Conférence-débats (1/2 journée) : impact du changement climatique

- Ville
- Santé
- Agriculture
- Hydrologie
- Biodiversité
- Monde Numérique
- Taxe carbone

Restitution :

- production écrite collaborative (informations recueillies durant les conférences + apport personnel)
- formal debate en anglais à destination des 1A.

Semestre 9

UE 4 : Répondre à un besoin client dans un service météo-climatique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 60

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 4 : Conseiller les acteurs et décideurs économiques dans le domaine du changement climatique en prenant en compte les enjeux sociétaux, notamment ceux liés à l'environnement, aux transports et à la ville

- Estimer la climato-sensibilité de son interlocuteur en le faisant formuler explicitement son besoin
- Présenter les différents scénarios climatiques à échelle globale et/ou régionale en expliquant le fonctionnement de la machine climatique, en expliquant les sources de variation, en différenciant les causes naturelles et anthropiques de variation
- Identifier les impacts du Changement climatique sur le domaine d'activité de son interlocuteur,
- Aider son interlocuteur à prendre une décision en utilisant l'information climatique, quantifiant l'incertitude et en faisant preuve de pédagogie
- Produire de la documentation destinée aux acteurs et décideurs économiques

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Identifier et spécifier le besoin, comprendre la problématique du client, identifier les enjeux
- Analyser les contraintes et la faisabilité (état de l'art, coûts, délais, ressources réglementation...)
- Élaborer une offre technique, avec toute la précision nécessaire et en respectant les délais
- Rechercher, choisir, voire élaborer les différentes données nécessaires à l'étude (y compris données clients ou externe)
- Qualifier et pré-traiter les données si besoin (homogénéisation, données manquantes, valeurs aberrantes)
- Sélectionner les outils statistiques pertinents
- Analyser, critiquer, visualiser, mettre en forme les résultats et estimer l'incertitude
- Présenter et valoriser les résultats auprès du client, mesurer sa satisfaction tout au long de l'étude

Programme et évaluation :

Structure générale de l'UE : 12h de cours puis applications en autonomie avec tuteurs DCSC-DSM

Partie Cours :

- 1h00 - Services climatiques : le paysage mondial, européen et français et la complémentarité des différents niveaux
- 2h00 – Diagnostic de changement climatique : données disponibles (data rescue, observations, réanalyses) et élaboration de diagnostics (l'exemple de climat HD)
- 2h00 – Suivi climatique prévision saisonnière et prévision décennale
- 2h00 – Services climatiques, projections climatiques et études d'impact (DCSC / Direction)
- 1h30 - Services climatiques en ligne : quelques exemples
- 1h30 - Consultance et services climatiques : quelques exemples

- 2h00 - TP DRIAS (issu de CICCLADE)

Exemples d'applications pouvant être proposées :

- études de benchmarking de services climatiques existants au niveau européen et national en cherchant à faire ressortir les complémentarités ou les redondances
- analyses par secteur d'activité visant à mieux cerner les besoins et l'état de l'art scientifique afin de dégager des pistes pour la mise en place de services climatiques sectoriels. Le travail peut comporter une partie bibliographie et des contacts directs avec des acteurs des filières concernées
- mise en place de tutoriels et didacticiels permettant aux utilisateurs des services climatiques en ligne existants ou en développement afin de mieux appréhender les différentes notions scientifiques en jeu

Semestre 9

UE 5 : Valorisation économique de l'information météorologique et climatique

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 60



Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

A.M. 6 : Répondre à un besoin client lié à la météorologie, au climat ou à tout milieu en interaction avec l'atmosphère en assurant une prestation pertinente

- Identifier et spécifier le besoin, comprendre la problématique du client, identifier les enjeux
- Analyser les contraintes et la faisabilité (état de l'art, coûts, délais, ressources réglementation...)
- Rechercher, choisir, voire élaborer les différentes données nécessaires à l'étude (y compris données clients ou externe)
- Qualifier et pré-traiter les données si besoin (homogénéisation, données manquantes, valeurs aberrantes)
- Sélectionner les outils statistiques pertinents
- Mettre en œuvre et configurer les outils de simulation numérique pertinents
- Analyser, critiquer, visualiser, mettre en forme les résultats et estimer l'incertitude

Programme et évaluation :

Structure générale de l'UE : cours théorie de la décision (mutualisé avec parcours HPC-Bigdata) + TP applicatif Gestion de crise/conseil aide à la décision

applicatif industriel encadré par Météoprotec, applicatif industriel encadré par Axa

restitution/évaluation : CR TP et application industrielle



Semestre 9

UE 6 : Projet personnel tuteuré

Date de la dernière révision : mars 2020

Total d'heures : 86

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

Le sujet doit être en lien avec l'une des Activités-métiers 1 à 6,

le projet tuteuré est de plus lié à

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
- Organiser son travail efficacement en autonomie
- S'informer et communiquer
- Gérer un projet

Programme et évaluation :

Structure générale de l'UE : 6h de préparation à la vie professionnelle (CV, lettre de motivation, entretien d'embauche) + 80h de projet tuteuré

Fil rouge du semestre. Toujours placé sur le même créneau.

Le choix du thème du projet personnel est laissé à chaque élève selon son parcours antérieur et ses objectifs professionnels.

Certains projets tuteurés pourront faire l'objet de productions en langue anglaise (en partie ou en totalité).

Semestre 10

Projet de fin d'études

La scolarité à l'ENM des IENM s'achève par Projet de Fin d'Etude (PFE). Il permet à l'élève de synthétiser ses connaissances et de consolider son savoir-faire. De plus, travaillant dans une équipe, le stagiaire travaille la qualité de sa relation avec ses collègues. Enfin, l'obligation de résultat à l'issue du stage lui impose d'adopter une organisation du travail efficace. Sous la direction d'ingénieurs confirmés ou de chercheurs, les futurs ingénieurs doivent pouvoir utiliser la formation reçue à l'école, mais aussi rapidement acquérir des connaissances nouvelles ainsi que des outils et des méthodes pour résoudre le problème qui leur est posé.

Ressources développées chez l'élève

Le PFE vise à renforcer les compétences acquises à ce stade de la formation et à développer les suivantes :

- Intégration dans une équipe
 - Appropriation du contexte et des enjeux
 - Définition et mise en œuvre d'une méthodologie efficace pour traiter une question scientifique du domaine
 - Prise en main des outils pour produire des résultats
- Utilisation efficace des techniques de modélisation, d'informatique et de statistiques pour le traitement des données et l'interprétation des résultats, dans le cadre d'une étude sur le climat, l'atmosphère ou les domaines connexes.
- Eventuellement, participation au sein de l'équipe, à l'amélioration ou à la maintenance des codes opérationnels ou de recherche, en prévision numérique ou modélisation climatique
- Mobilisation d'un vaste champ de connaissances scientifiques pour interpréter les résultats
- Professionnalisme
 - Respect des horaires, de l'environnement de travail, des collègues, des délais et contraintes de travail
 - Bonne organisation de son temps et de son espace de travail
- Esprit d'entreprise
 - Esprit critique constructif, prise d'initiative adéquate, prise de décisions à bon escient
 - Travail en équipe (communiquer, tenir compte des avis de ses collègues)
- Communication, en anglais si nécessaire,
- Rédaction de documents clairs et synthétiques, présentation orale des résultats et argumentation sur les options techniques choisies

Aspect logistique :

durée : 6 mois – le sujet doit être validé par l'ENM -

ATTENTION : Pour les doubles diplômes, le sujet doit être validé par l'ENM et l'établissement qui gère l'autre diplôme.

Liens avec référentiel des Activités-Métiers et des Acquis de l'Apprentissage :

Le sujet doit être en lien avec l'une au moins des Activités-métiers 1 à 6.

il est de plus lié à

A.M. 7 : Exercer ses fonctions en adoptant la posture de « l'ingénieur premier de cordée »

- Intégrer ses activités dans un environnement professionnel complexe
 - Organiser son travail efficacement en autonomie
 - S'informer et communiquer
 - Gérer un projet
 - Faire preuve de créativité et d'adaptabilité dans un monde en mouvement
-