



La Prépa des INP

Syllabus de la formation

Architecture de la formation

Tronc Commun – 1A	5
Tronc commun – 2A	7

Mathématiques

Volumes horaires	8 - 10
Contenu de formation – 1A	11 - 19
Contenu de formation – 2A	20 - 23

Informatique

Tronc Commun - Volumes horaires	25 - 26
Tronc Commun - Contenu de formation	27 - 31

Physique

Tronc Commun – Volume horaires	32
Tronc Commun – Contenu de formation	33 - 84
PO1 : Optique Géométrique	33
PO2 : Optique Ondulatoire	36
PO3 : Propagation des ondes mécaniques	42
EC1 et EC2 : Electrocinétique	47
EM1 : Champs Electrostatiques et Magnétostatiques	54
TH1 et TH2 : Thermodynamique	59
TH3 : Systèmes ouverts – Diffusion de particules et diffusion thermique	66
M1 et M2 : Mécanique du point et du solide	71
M3 : Mécanique des fluides	79

TABLE DES MATIERES

Chimie

Tronc Commun – Volumes horaires

87

Tronc Commun – Contenu de formation

88 - 97

Biologie

Tronc Commun – Volumes horaires

99

Tronc Commun – Contenu de formation

100-101

Langues

102

Economie

104

Projet 2A

105

ARCHITECTURE DE LA FORMATION



Première année



1ère année TC	Présentiel (H)	ECTS Semestre 1	ECTS Semestre 2	
Math	305	9	9	
Physique	220+15*	7	7	
Informatique	55	2	2	HN 1A
Chimie	120+15*	4	4	HN 2A
Biologie	50+15*	2	2	
Total Sciences 1A	750 + 45*			

EPS	45	3	3	
LV1	48	3	7	HN 1A
LV2	48	3	3	HN 2A
PPP	30	3	3	
AUTRES SHS	30	3	3	
TOTAL SHS 1A	201			
TOTAL 1A - TC	951 + 45*	30	30	

ARCHITECTURE DE LA FORMATION



Deuxième année



2ème Année TC	Présentiel (H)	ECTS Semestre 3	ECTS Semestre 4	
Maths	130	4	4	
Physique	100	3	3	
Informatique	40	1	1	
Devoirs Communs	9	-	-	HN 2A
Chimie	30	2	-	HN 3A
Projet	40	-	4	
LV1 et LV2	74	3	1	
EPS	36	1	1	
PPP	20	2	-	
Autres SHS	30	2	-	
Total 2A - TC	509	16	14	

- Les autres SHS peuvent contenir : économie, culture générale, communication ; en fonction des sites.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Mathématiques

1 ^{ère} Année	Semestre	CM	TD	TP	Travail personnel étudiant
Logique	S1	4	6	10	10
Calculs Algébriques	S1	4	8	12	12
Nombres complexes 1	S1	5	7	12	12
Fonctions de la variable réelle	S1	4	8	12	12
Nombres complexes 2	S1	3	6	9	9
Equations différentielles linéaires d'ordre 1	S1	3	4	7	7
Algèbre générale	S1	4	8	12	12
Structure de groupe	S1	4,5	7,5	12	12
Suites numériques	S1	10,5	13,5	24	24
Continuités	S1 OU S2	9	12	21	21
Polynômes	S1	5	7	12	12
Espaces vectoriels	S1 OU S2	9	13	22	22

SUITE 1 ^{ère} Année	Semestre	CM	TD	TP	Travail personnel étudiant
Déterminants	S1	4	8	12	12
Séries thématiques à termes positifs	S1	4,5	7,5	12	12
Intégration	S2	7,5	10,5	18	18
Relation de comparaison	S2	3,5	2,5	6	6
Calcul différentiel	S2	8	8	16	16
DL	S2	6	9	15	15
Matrices	S2	9	12	21	21
Applications linéaires	S2	6	9	15	15
Fractions rationnelles	S2	0	3	3	3
Probabilités	S2	4	6	10	10

2 ^{ème} Année	Semestre	CM	TD	TP	Travail personnel étudiant
Réduction des endomorphisme	S3	-	-	15	15
Intégrales généralisées	S3	-	-	10	10
Calcul différentiel 1	S3	-	-	15	15
Séries numériques	S3	4	8	12	12
Suites de fonction	S3	3	6	9	9
Espaces vectoriels euclidiens	S4	6	9	15	15
Calcul différentiel 2	S4	6	6	12	12
Probabilités	S4	9	11	20	20
Statistiques	S4	3	3	6	6

TRONC COMMUN

1ERE ANNEE :

Logique

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Définition des connecteurs logiques (et, ou, implication, équivalence, négation), apprendre à nier une phrase quantifiée, démonstration par récurrence, récurrence faible et forte, par l'absurde et par contraposition, raisonnement par analyse -synthèse, Ensembles (définition, intersection, union, complémentaire)

PRE-REQUIS :

Aucun.

Calculs algébriques

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Systèmes linéaires par méthode du pivot de Gauss , calcul de sommes et produits, binôme de Newton et coefficients binomiaux, simplification littérale, résolution d'inégalités (en incluant la valeur absolue), équations et inéquations (avec factorisation de polynômes, valeurs absolues, recherche de signes).

PRÉ-REQUIS :

Programme de Terminale -> Les systèmes 2×2 ; les équations du premier et du second degré, & les inéquations.

Nombres complexes 1

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Introduction aux nombres complexes, Forme algébrique, partie réelle, imaginaire, module, conjugué, inégalité triangulaire, Somme, produit et inverse, Calculs, Equation du 2nd degré à coefficients complexes, Représentation dans le plan, affixe d'un point. Travail avec la multiplication par le conjugué en cas de fraction de deux polynômes pour avoir la forme algébrique du quotient, Forme exponentielle, lien avec la géométrie (module, argument).

PRÉ-REQUIS :

Aucun prérequis particulier outre la notion d'"Angle" et de "Distance", la fonction exponentielle, les racines carrées, & les équations du second degré à coefficients réels.

Fonctions de la variable réelle

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Fonctions usuelles et propriétés (puissances entières ou non, valeur absolue, Exp et Ln), Bijection réciproque, Formule de la dérivée de la bijection réciproque, Fonctions trigo, Fonctions trigo réciproques, Fonctions hyperboliques.

Pas de trigo hyperbolique : seule formule sur $\text{ch}^2 - \text{sh}^2$ calculs sur la trigonométrie, parité, les limites, le domaine de définition, IPP à revoir en exercices, exemple de la partie entière à aborder.

PRÉ-REQUIS :

Programme de Terminale : Les fonctions usuelles, notion de continuité et de dérivabilité, & module calculs algébriques.

Nombres complexes 2

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Euler et Moivre, utilisation des complexes pour linéariser $\cos^n(x)$, $\sin^n(x)$ et pour l'expression de $\cos(px)$, $\sin(px)$ à l'aide de puissances, racines n-ième avec cas particulier des racines carrées.

PRÉ-REQUIS :

Modules "Nombres complexes 1", "Calculs algébriques", "Fonction de la variable réelle".

Equations différentielles à coefficients constants

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Equations différentielles du premier ordre à coefficients constants et avec second membre. Forme exponentielle ou trigo pour le second membre, Théorème de structure des solutions, théorème sur la forme de solution particulière et présenter en exemple l'utilisation des complexes pour un second membre en λe^{ix} comme traité en physique.

PRÉ-REQUIS :

Equations différentielles d'ordre 1 étudiées au lycée.

Equations différentielles linéaires d'ordre 1

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Définition, Structure des solutions, Plan d'étude, Solution de l'équation homogène, Recherche d'une solution particulière (solution évidente, cas déjà étudiés, méthode de la variation de la constante), Principe de superposition, Pb de Cauchy.

PRÉ-REQUIS :

Module "Equations différentielles à coefficients constants".

Algèbre générale

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Relation d'un ensemble dans un ensemble: définition, propriétés (donner en exemple la relation d'équivalence), classes d'équivalence. Relation d'un ensemble dans un autre: application, fonction, injectivité, surjectivité, bijectivité, image et image réciproque d'un ensemble. Composition.

PRÉ-REQUIS :

Module "Logique et ensembles".

Structure de groupes

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Lois interne, propriétés, définition d'un groupe, th des sous groupes. Morphismes de groupes, noyau et image. Image directe d'un sous groupe par un morphisme.

PRÉ-REQUIS :

Modules "Algèbre générale", "Logique" & "Nombres complexes"

Suites numériques

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Relation d'ordre des réels, borne supérieure, densité des rationnels et des irrationnels. Définition des suites, opérations (+, \times , \cdot), structure, suites réelles majorées, minorées, bornée, monotones. Comportement asymptotique, définition quantifiée de la limite, unicité, toute suite convergente est bornée, opération sur les limites, liens entre limites et inégalités (théorème des gendarmes...), suites extraites, suites réelles monotones et adjacentes, les suites récurrentes linéaires doubles., suites récurrentes avec plan d'étude (autonomie sur f croissante, f décroissante à voir en exercices).

PRÉ-REQUIS :

Programme de Terminale -> "Les suites", le module "Logique", "Fonctions de la variable réelle".

Continuité

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Topologie de \mathbb{R} : adhérence, intérieur, voisinage d'un point, Limites : définition quantifiée, unicité, opérations, caractérisation séquentielle, limites et encadrement. Continuité : définition, prolongement par continuité, continuité sur une partie, discontinuités de première et deuxième espèce, théorème des valeurs intermédiaires et ses conséquences pour les fonctions continues sur segments (théorème de la bijection, bornes atteintes sur un segment, image d'un intervalle, d'un segment par une fonction continue, théorème d'homéomorphisme, injectif + continue \Rightarrow strictement monotone). Quelques limites usuelles pour faire du calcul de limite "simple" à ce stade (dont les croissances comparées). Ne pas chercher des limites trop techniques, fonction partie entière.

PRÉ-REQUIS :

Modules "Fonction de la variable réelle" et "Suites" (écriture epsilonlesque des limites et notamment caractérisation séquentielle) requis.

Polynômes

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Définition, opérations, structure, degré, lien avec les opérations, Composition, Dérivation, formule de Taylor, Division euclidienne, relation "divise", notion de diviseurs d'un polynôme, Racines d'un polynôme, multiplicité, Factorisation en produit de polynômes irréductibles à coefficients dans \mathbb{R} ou \mathbb{C} , PGCD, polynômes premiers entre eux, Relations entre coefficients et racines : terme de plus bas degré et celui de degré $n-1$ et le cas particulier où $n=2$.

PRÉ-REQUIS :

Module d'"Algèbre générale", suites, calculs algébriques, nombres complexes 2.

Espaces vectoriels

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Espaces vectoriels sur K , règles de calcul, Sous-espaces vectoriels, caractérisation, intersection, somme, somme directe, supplémentaires, Familles et combinaisons linéaires de vecteurs, sev engendrés, familles génératrices, Dépendance et indépendance linéaires, Base d'un ev, dimension finie et théorème fondamental, Théorème de la base incomplète, théorème de la base extraite, Caractérisation des ev supplémentaires en dimension finie, Rang d'une famille de vecteurs.

PRÉ-REQUIS :

Module d'"Algèbre générale", connaissances vectorielles du lycée, calculs algébriques, structures de groupes.

Applications linéaires

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Définition et vocabulaire, règles de calcul, opérations, Images directes et réciproques d'un sev, cas particuliers fondamentaux : ensemble image et noyau, ce sont des sev, lien avec surjectivité injectivité, Image de familles de vecteur : famille génératrice de $\text{Im}(f)$, lien avec la liberté. f surjective ssi l'image d'une famille génératrice est génératrice (et énoncés analogues avec injectivité et bijectivité). Applications linéaires en dimension finie : rang d'une application linéaire, lien avec injective/surjective/bijective, construction d'al, 2 ev isomorphes, th. du rang, cas des endomorphismes ($\text{inf} \Leftrightarrow \text{surjectif}$), homothéties, symétries et projections.

PRÉ-REQUIS :

Module "EV", algèbre générale, calculs algébriques.

Fractions rationnelles

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Méthodes de DES : sous forme de fiche. Mise en application sur des cas relativement simples et pratiques (pas de paramètre n , privilégier décomposition dans $R(X)$: évaluations, parité, limite). A ne pas séparer du module "Intégration", même à intégrer aux calculs pratiques de primitives.

PRÉ-REQUIS :

Module "Polynôme", nombres complexes, calculs algébriques.

Intégration

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Pour culture générale, non exigible : Construction de l'intégrale. Propriétés de l'intégrale, fonctions continues par morceaux, sommes de Riemann, inégalité et égalité de la moyenne, théorème fondamental de l'analyse, primitive, lien entre intégrale et primitive. Intégration par parties, changements de variable. Calcul pratique de primitives (IPP, changement de variables, fractions rationnelles, polynômes exponentielles).

PRÉ-REQUIS :

IPP vue en terminale, module "Suites numériques" pour les sommes de Riemann, calculs algébriques, fractions rationnelles et continuité.

Relations de comparaison

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Définition relations $O, o \sim$ pour les fonctions et pour les suites, propriétés et opérations pour la relation o (ce qui marche, ce qui ne marche pas), croissances comparées, propriétés et opérations pour les équivalentes (transitivité, produit, quotient, composition à droite et puissance, valeur absolue) et ce qui ne marche pas. Pas de théorème de composition avec \ln ou \exp (revenir à la def si besoin). Liens entre équivalents et limites.

PRÉ-REQUIS :

Module "Fonctions et continuité" requis.

Calcul différentiel

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Dérivabilité en un point : Définitions, lien avec la continuité, opérations (+,.,x,/) et formules, dérivée d'une composée et d'une application réciproque, Dérivabilité sur un intervalle, Dérivées successives, formule de Leibniz, fonctions de classe C_n et opérations, Théorème de Rolle, Théorème des Accroissements Finis, applications : lien dérivée / sens de variation d'une fonction, Inégalités des AF, Formule de Taylor Young, formule de Taylor-Lagrange.

PRÉ-REQUIS :

Module "Fonctions", intégration, polynômes, continuité, relation de comparaison.

DL

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Développements limités en 0, en a réel quelconque et en l'infini, développement généralisé, (selon l'échelle des (x^k) avec k dans \mathbb{Z}) en 0, en a réel quelconque et en l'infini, Formulaires, Calcul de limites, Tangentes et branches asymptotiques, positions relatives.

PRÉ-REQUIS :

Maîtrises du module "Calcul différentiel", fonctions usuelles et relations de comparaison.

Matrices

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Définitions, opérations : addition, multiplication externe, multiplication interne, propriétés, rang d'une matrice, détermination pratique du rang, matrice inversible, groupe linéaire, calcul pratique de l'inverse d'une matrice, changement de bases, matrice de passage, formules de changement de bases pour les vecteurs et les applications linéaires.

PRÉ-REQUIS :

Modules "EV" et "Applications linéaires", & calcul algébriques (système).

Déterminants

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Formes n -linéaires, symétriques, antisymétriques, alternées, Déterminant d'une famille de n vecteurs relativement à une base, Déterminant d'un endomorphisme, Déterminant d'une matrice carrée, Calcul pratique d'un déterminant, techniques de calcul et développement selon une ligne ou une

colonne, notion de mineur, cofacteur, comatrice, applications des déterminants : caractérisation de la bijectivité, calcul de l'inverse d'une matrice.

PRÉ-REQUIS :

Modules "Matrices", "Applications linéaires", "EV", & "Structure de groupes".

Séries numériques à termes positifs

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Def série, somme partielle, série convergente, somme de série. Condition nécessaire de convergence : le terme général doit tendre vers 0. Structure d'ev de l'ensemble des séries convergentes.

SERIES A TERMES POSITIFS : une série à termes positifs converge ssi la suite des sommes partielles est majorée- Critère de majoration, minoration, équivalence- séries de Riemann, séries géométriques à termes positifs- Règles de Riemann- .

PRÉ-REQUIS :

Maîtrise du module "Suites" + bonne maîtrise des sigmas et de la réindexation.

Probabilités

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Probabilités sur un univers dénombrable définition espace probabilisé, événements, suites d'évènements, indépendances d'évènements, probabilités conditionnelles, Formule des probabilités composées, Formule des probabilités totales, Formules de Bayes.

PRÉ-REQUIS :

Aucuns

TRONC COMMUN

2EME ANNEE :

Réduction des endomorphismes : diagonalisation et éléments propres

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Valeur propre et vecteur propre, spectre, sep en somme directe, sev stables par un endomorphisme et représentation matricielle, polynôme caractéristique, lien avec les valeurs propres, multiplicité d'une valeur propre, diagonalisation, th. fondamental donnant une CNS de diagonalisation, cas particuliers importants (polynôme caractéristique scindé à racines simples, polynôme caractéristique non scindé et cas du spectre réduit à un seul élément), application : calcul des puissances de A, résolution d'un système linéaire d'équations différentielles, résolution d'un système linéaire de suites récurrentes, commutant d'une matrice diagonalisable.

PRÉ-REQUIS :

Modules "Calculs algébriques", "Algèbre générale", "Structures de groupes", "EV", "Applications linéaires", "Déterminant", & "Equations différentielles".

Intégrales généralisées

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Définition de la convergence d'une intégrale généralisée, intégrales faussement impropres, intégrales de Riemann, critères de comparaison, fonctions intégrales, intégrales semi-convergentes.

PRÉ-REQUIS :

Modules "Relations de comparaison", "Intégration", "Calcul différentiel", "DL", "Séries".

Calcul différentiel 1 (fonction de deux, trois variables)

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Topologie de \mathbb{R}^2 et \mathbb{R}^3 : norme, normes 1, 2 et ∞ , normes équivalentes, distance, boules ouverte et fermée, sphère, voisinage, partie ouverte, partie fermée. Applications de \mathbb{R}^2 (ou \mathbb{R}^3) dans \mathbb{R} : limite, techniques de calcul de limites, application partielle, continuité, dérivée partielle première selon un vecteur ou selon la base canonique, fonction de classe C^1 .

PRÉ-REQUIS :

Modules "Continuité", "Calcul différentiel 1", "EV".

Séries numériques

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Révisions 1A. Séries de signe non constant : séries absolument convergentes, critère spéciale des séries alternées, ou développements asymptotiques, comparaison série à termes positifs et intégrales, produit de deux séries absolument convergentes (propriétés de l'exponentielle).

PRÉ-REQUIS :

Modules "Suites", "Séries positives", & "Calculs algébriques".

Suites de fonctions

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Convergence simple et uniforme pour les suites de fonctions. Continuité de la limite en cas de convergence uniforme, interversion de la limite et de l'intégrale sur un segment, dérivabilité de la limite en cas de convergence uniforme de la suite des dérivées. Théorème de convergence dominée.

PRÉ-REQUIS :

Modules "Suites", "Calcul différentiel 1", & "Intégration".

Espaces vectoriels euclidiens

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Produit scalaire, expression matricielle, norme euclidienne, inégalité de Cauchy Schwarz, identités de polarisation et du parallélogramme, vecteurs orthogonaux, famille orthogonale et orthonormée, th. De Pythagore, expression du produit scalaire dans une base, coordonnées d'un vecteur dans une base, procédé d'orthonormalisation de Schmidt, sous-ensemble orthogonal, orthogonal d'un ensemble, supplémentaire orthogonal, projection orthogonale et formule du projeté, distance d'un vecteur à un sev.

PRÉ-REQUIS :

Modules d'"Algèbre linéaire" & "Polynômes".

Calcul différentiel 2

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Dérivées partielles secondes, théorème de Schwarz application différentiable, opérations sur les différentielles, C^1 -difféomorphismes, jacobien, changement de variables, résolution d'EDP avec changement de variable. Plan tangent.

PRÉ-REQUIS :

Module "Calcul différentiel 1".

Probabilités

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES :

Variables aléatoires discrètes, loi d'une variable aléatoire, espérance, théorème de transfert, moments d'ordre n , variance, fonctions de répartition, on traite directement le cas dénombrable.

Lois discrètes usuelles : loi uniforme discrète (loi équadistribuée), loi binomiale dont la loi de Bernoulli (en rappels), loi de Poisson et loi géométrique.

Probabilités sur un univers continu : variable aléatoire, fonction de répartition, densité, moments (espérance, variance), indépendance de deux variables aléatoires, inégalités de Markov et Bienaymé-Chebychev, Lois usuelles continues : uniforme sur un segment, exponentielle, normale, gaussienne, convergence en loi, th central limite, approximation de loi (Binomiale par Normale, Poisson par Normale), correction de continuité à utiliser dans les cas d'approximation de lois discrètes par des lois continues (sauf mention explicite du contraire).

PRÉ-REQUIS :

Modules "Séries", "Intégrales généralisées" + Dénombrement, combinatoire et probabilités de Terminale.

Statistiques

PROGRAMME AVEC LES ÉLIGIBLES POUR TOUS LES SITES : AU CHOIX TRAITER UNE DES PARTIES

- Statistiques descriptives à deux variables (voire rappels sur les statistiques à une variable vues au lycée) : Méthode de régression linéaire par les moindres carrés avec utilisation d'un langage (R ou Python)
- Échantillonnage et Estimation (estimateurs sans biais et asymptotiquement sans biais, convergent, estimation ponctuelle et par intervalle de confiance) On traitera un exemple d'estimation par intervalle de confiance d'une moyenne ou d'une proportion (la formule d'un intervalle de confiance ne doit pas être donnée mais retrouvée par le calcul).
- Initiation aux tests statistiques (notions d'hypothèses, risque de première espèce, p valeur) : un exemple sera traité sur une proportion mais cette partie du cours ne doit pas être approfondie. Il n'est pas demandé de traiter d'autres tests comme celui du Khi deux, cette partie sera abordée en école d'ingénieur.

PRÉ-REQUIS :

Modules d'"Algèbre linéaire" & "Polynômes".

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Informatique

PRE-REQUIS :

Ne sont signalés que les pré-requis extérieurs à l'informatique, étant entendu qu'un enseignement en informatique dans un semestre donné nécessite les semestres précédents.

COMPETENCES VISEES :

- Analyser et Modéliser un problème ou une situation.
- Imaginer, Concevoir et Mettre en Œuvre une solution.
- Travailler en mode projet.
- Travailler en groupe.
- Organiser le travail à effectuer pour répondre à un besoin ou à une demande.
- Interpréter les résultats produits par un programme.
- Communiquer.

SEMESTRE 1 : ALGORITHMIQUE ET PROGRAMMATION

	CM/TD/TP	DS	TOTAL	TRAVAIL PERSONNEL ETUDIANT
Algorithmique et programmation	23	2	25	15

SEMESTRE 2 : BASE DE DONNEES et INGENIERIE NUMERIQUE

	CM/TD/TP	DS	TOTAL	TRAVAIL PERSONNEL ETUDIANT
Base de données	9	1	30	35 (15H + 20H pour le projet)
Ingénierie numérique	14	1		
Projet	5	-		

SEMESTRE 3 :

	CM/TD/TP	DS	TOTAL	TRAVAIL PERSONNEL ETUDIANT
Algorithmique avancée	18,5	1,5	20	15

SEMESTRE 4 :

		CM/TD/TP	DS	TOTAL	TRAVAIL PERSONNEL ETUDIANT
SYSTEMES FORMELS	TAD (piles, files, modules)	14	1	30	20 (15H + 20H pour le projet)
	Langages et Automates	-	-		
PROJET	-	5	-		

TRONC COMMUN - SEMESTRE 1 : ALGORITHMIQUE ET PROGRAMMATION

Note : Les étudiant ayant suivi la spécialité ISN pourront être dispensés de ce module. L'évaluation sera alors faite à l'aide d'un projet à rendre.

CONTENU :	COMMENTAIRES :
Types élémentaire et opérations	-
Représentation des données (réels et entiers)	-
Nombres en base B	-
Structures de contrôle	-
Fonctions	-
Listes / Tableaux / Opérations standard	Implémentation de fonctions existantes : pop / appartenance (recherche naive) / count / ...
Utilisation des bibliothèques	-
Tris	Tris « simples » : Tri par insertion, Tri par sélection, Tri à bulles
Méthode de la dichotomie	En lien avec les sciences

TRONC COMMUN - SEMESTRE 2 : BASE DE DONNEE et INGENIERIE NUMERIQUE.

PREREQUIS :

- Chapitre "Intégration" (Maths) pour les Méthodes d'intégration numériques.
- Chapitre "Calcul différentiel" (Maths) pour la Méthode de Newton pour la résolution d'équations.

BASE DE DONNEES :

CONTENU :	COMMENTAIRES :
Algèbre relationnelle	-
Implémentation requête SQL	-

INGENIERIE NUMERIQUE :

CONTENU :	COMMENTAIRES :
Illustration de la complexité sur des exemples	Illustration avec les suites récurrentes par exemple. Décompte simple du nombre d'itérations. La complexité est vue plus en profondeur au S3. En lien avec les sciences.
Illustration de la récursivité sur des exemples	Définition de la notion de récursivité. Exemple : factorielle (algo récursif & itératif).
Encodage des flottants	-
Méthodes d'intégration numérique	En lien avec les sciences. Méthodes : rectangles, trapèzes, simpson.

Méthode de Newton pour la résolution d'équation	En lien avec les sciences.
Méthode du pivot de Gauss	En lien avec les sciences. Présentation en liste de listes avec ses limites et introduction de <code>numpy.array</code>
Utilisation de Matplotlib	-

PROJET :

CONTENU	COMMENTAIRES
Projet	-

TRONC COMMUN - SEMESTRE 3 : ALGORITHMIQUE AVANCEE

CONTENU	COMMENTAIRES
Complexite	[Partie transversale] Définition de la complexité. Opérations élémentaires. Temps constant, linéaire, quadratique... Pire/Meilleur/Moyenne des cas. Analyse asymptotique. Illustration dans les algorithmes utilisés dans le semestre.
Terminaison / correction des boucles	-
Recurivite	Récurivité « avancée », avec par exemple utilisation dans un tri fusion
Tris	Tri fusion, Tri rapide. La connaissance de l'ensemble des tris n'est pas un objectif
Tests	Utilisation de tests pour valider des programmes en « TP » [montrer les bonnes pratiques de programmation]. Couverture (coverage). Gestion des exceptions. Pas de cours «théorique»
Types ensembles et dictionnaires	Utilisation des objets Python

TRONC COMMUN - SEMESTRE 4 : SYSTEMES FORMELS :

CONTENU	COMMENTAIRES
Tad (piles, files, modules)	-
Langages et automates	Initiation

PROJETS :

CONTENU	COMMENTAIRES
Projet	On pourra introduire des algorithmes non vus avant (algorithmes gloutons...). Conception de modules. Possibilité d'illustrer les Langages et Automates.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : PHYSIQUE

VOLUME HORAIRE

1ERE ANNEE	SEMESTRE	CM + TD	TP	NUMERIQUE	EVAL
PO1 : Optique géométrique	S1	19	18	2	1,5
EC1 et EC2 : Circuits électriques 1 et 2	S1 ET S2	31		7	3
M1 ET M2 : Mécanique 1 et 2	S1 ET S2	57		5	3
TH1 ET TH2 : Thermodynamique 1 et 2	S1 ET S2	40		1	3
EM1 : Champs électrostatiques et magnétostatiques	S2	26		2	1,5
2EME ANNEE	SEMESTRE	CCM + TD	TP	NUMERIQUE	EVAL
PO3 : Ondes mécaniques	S3	25			
M3 : Mécanique des fluides	S3	25			
TH3 : Systèmes ouverts et diffusion	S4	25			
PO2 : Optique ondulatoire	S4	25			

TRONC COMMUN - SEMESTRE 1, PO1 : OPTIQUE GEOMETRIQUE

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Repères historiques en Optique Les différents modèles et leurs limitations		
Indice optique d'un milieu transparent. Milieu transparent homogène et isotrope. Notion de dispersion.	<ul style="list-style-type: none"> • Relier la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu. • Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur 	La loi de Cauchy n'est pas exigible
Sources lumineuses. Sources primaires / secondaires. Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	<ul style="list-style-type: none"> • Spectre du visible. • Caractériser une source lumineuse par son spectre 	
Approximation de l'optique géométrique. Notion de rayon lumineux.	<ul style="list-style-type: none"> • Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites. 	
Réflexion - réfraction. Lois de Descartes.	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter la loi de la réfraction à l'aide du modèle ondulatoire. • Établir la condition de réflexion totale 	La propagation dans un milieu d'indice variable (mirage, fibre optique) peut être abordée en le traitant en strate d'indice constant
Notion de système optique, objet/image, réel/virtuel.	<ul style="list-style-type: none"> • Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle. Cas du miroir plan 	
Conditions de gauss.	<ul style="list-style-type: none"> • Énoncer les conditions permettant un stigmatisme et un aplanétisme approchés et les relier aux caractéristiques d'un 	<ul style="list-style-type: none"> • Le cas du prisme ne sera plus abordé en cours mais possible en TD ou TP. • Les formules relatives au prisme

	<p>détecteur.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cas du dioptre blanc 	ne sont pas exigibles mais peuvent faire l'objet d'un exercice guidé
Lentilles minces.	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence. • Lentille convergente et divergente. • Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux. • Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes, Newton). • Choisir de façon pertinente dans un contexte donné la formulation (Descartes ou Newton) la plus adaptée. • Établir et connaître la condition $D \geq 4f$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente. • Modéliser expérimentalement à l'aide de plusieurs lentilles un dispositif optique d'utilisation courante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le miroir et dioptre sphérique ne sont plus abordés comme élément à faces sphériques qui permettraient ensuite d'introduire la lentille. • Les méthodes de focométrie seront abordées en TP La notion d'aberration pourra être introduite en TP. Les instruments optiques (loupe, microscope, lunette) seront abordés en TD. <p>Aucun résultat n'est à connaître par cœur.</p>
Système optique - éléments cardinaux (foyers et plans principaux)	<ul style="list-style-type: none"> • Cas du doublet de lentilles minces. • Un doublet sera vu comme une succession de conjugaison par chaque lentille. 	<ul style="list-style-type: none"> • Introduire la notion de boîte noire comme modélisation d'un système optique complexe. • La notion de plan principal n'est pas au programme. • On n'exigera aucune formule par cœur pour les doublets <ul style="list-style-type: none"> • L'étudiant doit connaître la définition d'un système afocal.
L'œil	<ul style="list-style-type: none"> • Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe. • Connaître les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation. 	<p><u>Valeurs à retenir :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Le pouvoir de résolution de l'œil est d'environ une minute d'arc ($1' = 1/60^\circ = 0,017^\circ$). • Le punctum remotum (PR) est situé à l'infini, et le punctum proximum (PP) est situé à 25 cm du cristallin pour un œil emmétrope.

TRONC COMMUN - SEMESTRE 4, PO2 : OPTIQUE ONDULATOIRE

PREREQUIS EN PHYSIQUE :

Electromagnétisme au S2, Ondes mécaniques au S3, Mineure ou majeure de physique du S3 conseillée.

1. RAPPELS SUR LA PROPAGATION D'UNE ONDE ELECTROMAGNETIQUE DANS LE VIDE

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Ondes électromagnétiques. Structure de l'onde plane dans le vide. Polarisation rectiligne. Vecteur de poynting. Onde quasi-plane	On admet : <ul style="list-style-type: none">L'existence d'ondes électromagnétiques dans le vide.La structure d'une OPPH dans le vide	Ces notions n'auront été vues que par les étudiants ayant choisi la mineure ou la majeure de physique
Lumière naturelle	<ul style="list-style-type: none">Modèle des trains d'onde.	

2. MODELE SCALAIRE DE LA LUMIERE

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Propagation d'une vibration scalaire le long d'un rayon lumineux : chemin optique.	<ul style="list-style-type: none">Lien entre rayon lumineux et vecteur de Poynting.Associer la grandeur scalaire de l'optique à une composante du champ électrique.Relation fondamentale entre le chemin optique et le déphasage lié à la propagation.	Dans le cas où un déphasage supplémentaire est introduit (par exemple réflexion métallique...) sa valeur sera indiquée
Surfaces d'ondes ; onde plane, onde sphérique. Théorème de malus	<ul style="list-style-type: none">On définit les surfaces d'ondes relatives une source ponctuelle S par l'ensemble des points M présentant le même retard soit tels que $(SM) = \text{constante}$.Savoir que les surfaces d'onde sont orthogonales aux rayons lumineux.Exprimer la différence de marche entre rayons lumineux.Associer les adjectifs "plane"	-

	et "sphérique" à la forme des surfaces d'ondes.	
Effet d'une lentille mince dans l'approximation de gauss	Utiliser l'égalité des chemins optiques entre le point objet et son image.	-
Intensité lumineuse. Détecteur	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir que les détecteurs sont sensibles à l'intensité reçue. • Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique sur le temps de réponse du détecteur. • Comparer la période des ondes dans le domaine de l'optique aux temps de réponses des détecteurs 	-

3. INTERFERENCE

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
<p>Superposition de 2 ondes. Sources cohérentes : monochromatique et synchrones. Interférences non localisées entre deux ondes totalement cohérentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Établir et connaître la formule de Fresnel en précisant ses conditions de validité : $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$ • Justifier par le modèle de trains d'ondes et l'ordre de grandeur des fréquences de l'optique les conditions d'obtention du terme d'interférences. En déduire les conditions d'obtention d'une figure d'interférences en optique. 	<p>Dans le cas où un déphasage supplémentaire est introduit (par exemple réflexion métallique...) sa valeur sera indiquée.</p>
		<ul style="list-style-type: none"> • Identifier une situation où les 2 sources sont cohérentes ou incohérentes et en déduire l'expression de l'intensité résultante (avec ou sans terme d'interférences).

Ordre d'interférence p	Définir l'ordre d'interférence : $p = \frac{\delta}{\delta_0} = \frac{\varphi}{2\pi}$	
Contraste	Exprimer le contraste d'une figure d'interférences : $C = \frac{l_{max} - l_{min}}{l_{max} + l_{min}}$	

4. DISPOSITIF PAR DIVISION DU FRONT D'ONDE

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Dispositif des trous d'young avec la source à grande distance (ou dans le pfo d'une lentille convergente) et l'observation à grande distance (ou dans le pfi d'une lentille convergente).	<ul style="list-style-type: none"> Exprimer la différence de marche puis l'intensité lumineuse pour ce dispositif. Savoir que les franges ne sont pas localisées. <ul style="list-style-type: none"> Interpréter la forme des franges observées sur un écran éloigné parallèle au plan contenant les trous. Exprimer l'interfrange i. 	Savoir exprimer la différence de marche par les coordonnées et rapidement à partir d'un schéma.
Variation de p par ajout d'une lame à face parallèle sur un des trajets.	<ul style="list-style-type: none"> Interpréter la modification du système de franges. 	-
Des trous d'young aux fentes d'young.	<ul style="list-style-type: none"> Décrire l'impact du déplacement de la source ponctuelle sur la figure d'interférences. Justifier qu'un élargissement spatial de source perpendiculairement à l'axe des trous laisse le contraste inchangé. 	-

5. DISPOSITIF PAR DIVISION D'AMPLITUDE :

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Interféromètre de michelson avec miroirs réglés en lames à faces parallèles éclairé par une source ponctuelle ou étendue.	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir exprimer la différence de marche puis l'intensité lumineuse pour ce dispositif. <ul style="list-style-type: none"> • Analyser la figure d'interférences (nature des franges, rayons des anneaux...) 	Le Michelson en configuration coin d'air est hors programme.

6. NOTION DE COHERENCE :

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Source monochromatique étendue. Notion de cohérence spatiale.	<ul style="list-style-type: none"> • Montrer que l'élargissement spatial de source conduit à une perte de visibilité des franges sauf éventuellement sur certaine surface de localisation (pour les dispositifs à division d'amplitude). Exprimer la perte de contraste. 	Exemple : extension selon l'axe des trous pour les trous d'Young.
Source polychromatique ponctuelle. Notion de cohérence temporelle.	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter la modification du système de franges. 	-
Source polychromatique ponctuelle. Notion de cohérence temporelle.	<p>Montrer que l'élargissement spectral de source conduit à une perte de visibilité des franges. Exprimer la perte de contraste.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Définir la longueur de cohérence temporelle. • Analyser la situation en termes de trains d'onde et associer la longueur de cohérence temporelle à l'étendue spatiale d'un train d'onde. • Relier l'étendue spectrale $\Delta\nu$ à la durée d'un train d'onde $\tau : \Delta\nu \cdot \tau = 1$ 	-

7. DIFFRACTION A L'INFINI

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
<p>Principe de Huygens-Fresnel. Diffraction à l'infini d'une onde plane par une pupille rectangulaire ; cas de la pupille fente.</p> <p>Limite de l'optique géométrique. Diffraction à l'infini par les fentes d'Young éclairées par une source ponctuelle à l'infini, par une fente-source parallèle : influence de la largeur de la fente-source sur la visibilité des franges.</p>	<p>Le principe de Huygens – Fresnel est énoncé de façon qualitative.</p> <p>Lors de sa mise en œuvre mathématique pour la diffraction à l'infini, on s'attache uniquement aux différences de phase entre les ondes secondaires, sans se préoccuper des facteurs d'amplitude.</p>	<p>On peut présenter l'allure de la figure de diffraction à l'infini par une pupille circulaire (la démonstration de la formule correspondante est hors programme).</p> <p>On pourra souligner sans démonstration, le rôle de la diffraction à l'infini dans la formation des images.</p>
Pouvoir de résolution des instruments.	Critère de Rayleigh.	-

8. SUGGESTIONS DE PROLONGEMENTS :

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Interférences à n ondes	<ul style="list-style-type: none"> • Réseau en transmission/réflexion. • Fabry-Pérot 	
<p>Polarisation : loi de Malus. Polarisation elliptique/circulaire. Hélicité. Lames à retard de phase : demi-onde, quart d'onde.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Établir la loi de Malus. • Utiliser une lame quart d'onde ou demi-onde pour modifier ou analyser un état de polarisation, avec de la lumière totalement polarisée. • Interpréter des résultats d'expériences d'interférences en lumière polarisée. 	

* Ces prolongements possibles ne constituent pas des compétences exigibles des étudiants au moment de l'écriture du syllabus. Leur traitement relève à ce stade de la liberté pédagogique. Ces derniers doivent être testés pour être affinés, modifiés, consolidés avec le temps.

TRONC COMMUN - SEMESTRE 3, PO3 : PROPAGATION DES ONDES MECANIQUES

Remarques : Plusieurs notions mathématiques enseignées en première année, que ce soit en physique ou en mathématiques, sont nécessaires à la compréhension technique de ce module : petites variations, développement de Taylor au 2^{ème} ordre d'une fonction, fonctions à plusieurs variables, utilisation de la notation complexe... Toutefois, certaines notions devront être présentées par l'enseignant, en couplage avec d'autres modules de cette deuxième année (électromagnétisme, transport...) : dérivées partielles dans le cas de fonctions composées, équation aux dérivées partielles... Enfin, la notion d'analyse de Fourier ne sera vue que trop tard en mathématiques. Un exemple numérique de sommation d'ondes sinusoïdales pourra être une bonne introduction aux séries de Fourier.

PRÉREQUIS EN PHYSIQUE :

Électromagnétisme au S2, Ondes mécaniques au S3, Mineure ou majeure de physique du S3 conseillée.

PRÉREQUIS EN MATHS :

Calcul différentiel, notamment les développements limités, les dérivées partielles. Si possible : analyse de Fourier. En algèbre linéaire : valeurs propres, vecteurs propres, diagonalisation d'une matrice.

1. PROPAGATION D'UN SIGNAL – NOTION D'ONDE

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Propagation du son dans un solide : chaîne infinie de ressorts – passage à un milieu continu.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des ondes mécaniques.	Donner des exemples
Équation de d'Alembert unidimensionnelle dans plusieurs domaines de la physique.	On retrouve la célérité en fonction des paramètres physiques de la situation : tension et masse linéique pour la corde, constante de raideur des ressorts, distance et masse pour la chaîne d'oscillateurs, module d'Young et masse volumique pour le milieu continu. • Fonction d'onde associée	On établira l'équation de d'Alembert au moins dans les cas de la corde sans raideur, de la chaîne d'oscillateurs (dans la limite du milieu continu), et du son dans un fluide (dans l'approximation acoustique). Plus généralement l'étudiant doit pouvoir retrouver cette équation dans tous

à un phénomène de propagation ; couplage des variables spatiales et temporelles.

les cas simples de milieux linéaires. Dans le cas de la corde, on se limite aux petits mouvements d'une corde sans raideur dans un plan fixe.

2. ONDE PROGRESSIVE – SUPERPOSITION D'ONDES :

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Solution générale de l'équation de d'Alembert unidimensionnelle (admise, pas de démonstration). Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	Écrire les signaux sous la forme $f(x - ct)$ et $g(x + ct)$ <ul style="list-style-type: none"> • Vérifier que $f(x - ct)$ et $g(x + ct)$ sont solutions de l'équation de d'Alembert. • Prévoir dans le cas d'une onde progressive pure l'évolution temporelle à position fixée, et prévoir la forme à différents instants. 	
Onde progressive sinusoïdale : déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques.	Fréquences audibles 50Hz-20kHz.
Variables couplées. Impédance. Coefficients de réflexion et de transmission sur une discontinuité	Savoir identifier des variables couplées et vérifier leur proportionnalité pour des ondes progressives. <ul style="list-style-type: none"> • Savoir calculer des coefficients de réflexion et de transmission à partir de relations de continuité. 	Aucune expression d'impédance n'est à connaître par cœur.
Interférences entre deux ondes mécaniques de même fréquence.	Utilisation de la notation complexe. <ul style="list-style-type: none"> • Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives. • Réflexion totale - Ondes stationnaires (nœuds ventres). 	

<p>Notion de modes propres : situation où tous les degrés de liberté ont une évolution temporelle sinusoïdale de même fréquence.</p> <p>Exemple du mouvement horizontal de deux masses accrochées par des ressorts linéaires sans masse.</p> <p>Généralisation à plusieurs degrés de liberté (n degrés de liberté = n modes propres). Modes propres d'une corde fixée à ses deux extrémités ou d'un tuyau sonore.</p>	<p>Savoir que N degrés de liberté = N modes propres.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Savoir rechercher un mode propre à l'aide de la notation complexe. • Savoir exprimer la solution générale d'un régime libre comme combinaison linéaire de modes propres. <ul style="list-style-type: none"> • Savoir trouver les coefficients de la combinaison linéaire à l'aide des conditions initiales. • Savoir qu'une excitation sinusoïdale avec une fréquence égale à celle d'un mode propre génère un phénomène de résonance. • Recherche des modes propres en notation complexe. 	
<p>Analyse spectrale.</p>	<p>Savoir, par exemple, qu'une vibration quelconque d'une corde accrochée entre deux extrémités fixes se décompose en modes propres.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spectre d'un signal. • Instruments de musique et sons. 	<p>Un calcul des coefficients de Fourier sera largement guidé pour calculer les coefficients des harmoniques.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aucune connaissance musicale n'est exigible. L'étudiant doit comprendre ce qui détermine la hauteur d'une note et le timbre d'un instrument.

3. ONDES SONORES DANS LES FLUIDES :

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
<p>Mise en équations des ondes sonores dans l'approximation acoustique</p>	<p>-</p>	<p>Une linéarisation des équations d'Euler peut être présentée mais ne peut être exigible sans qu'elle soit largement guidée.</p> <p>Une approche de type "Lagrangienne" est à privilégier.</p>

Aspects énergétiques : densité volumique d'énergie sonore, vecteur densité de courant d'énergie.	-	-
Réflexion et transmission d'une onde sonore plane progressive sous incidence normale sur une interface plane infinie entre deux fluides : coefficient de réflexion et de transmission des vitesses, des surpressions et des puissances sonores.	-	La mémorisation des coefficients de passage n'est pas exigible.

4. DISPERSION – ABSORPTION :

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Cette partie introduit les notions de dispersion et d'absorption		
Exemples de situation où la vitesse de propagation dépend de la pulsation de l'onde. Vitesse de phase. Étalement d'un paquet d'ondes – vitesse de groupe	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguer les phénomènes de dispersion des phénomènes d'absorption. • On insiste sur l'intérêt de la décomposition en ondes planes $A \exp(j(\omega)t - kx)$ avec ω réel et k a priori complexe pour le traitement des phénomènes de propagation linéaires. 	

TRONC COMMUN - SEMESTRE 1 & 2, EC1 et EC2 : ELECTROCINETIQUE

Le programme d'électrocinétique se découpe en 3 grandes parties :

- Étude du régime continu ;
- Étude des régimes transitoires du 1er et du 2nd ordre ;
- Étude du régime permanent sinusoïdal.
- Notion de filtrage.

PRÉREQUIS EN MATHS :

Résoudre un système d'équations linéaires (partie 1), équations différentielles du 1er ordre et du 2nd ordre à coefficients constants et second membre constant (parties 2 et 3), nombres complexes (partie 4 et 5).

1. ETUDE DES CIRCUITS LINEAIRES EN REGIME CONTINU ET DANS L'ARQS

CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Charge électrique. Courant électrique, intensité du courant.	<ul style="list-style-type: none">• Savoir que la charge électrique est algébrique et quantifiée.• Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge.• Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence.• Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge.• Citer les ordres de grandeur des intensités dans différents domaines d'application.	
Potentiel, différence de potentiel, tension. Potentiel de référence, masse.	Utiliser la loi d'additivité des tensions et la loi des mailles. <ul style="list-style-type: none">• Citer les ordres de grandeur des tensions dans différents domaines d'application.• Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.	
Puissance électrique reçue et puissance électrique	Savoir calculer la puissance reçue et la puissance fournie par un dipôle.	

fournie. Classification des dipôles.	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir la différence entre un dipôle récepteur et un dipôle générateur. 	
Résistances. Association de résistances	<ul style="list-style-type: none"> • Loi d'Ohm • Citer des ordres de grandeurs de R. • Exprimer la puissance dissipée par effet Joule par une résistance. • Remplacer une association série ou parallèle de résistances par une résistance équivalente. 	
Ponts diviseurs de tension et de courant.	<ul style="list-style-type: none"> • Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant. 	
Sources.	<ul style="list-style-type: none"> • Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin ou de Norton. • Savoir associer des générateurs MET en série et des générateurs MEN en dérivation. 	
Résistance de sortie. Résistance d'entrée.	<ul style="list-style-type: none"> • Étudier l'influence de ces résistances sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre. • Évaluer les grandeurs à l'aide d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit. 	A faire en TP, aucune connaissance n'est exigible sur ce sujet.
Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Étudier la caractéristique d'un dipôle pouvant être éventuellement non-linéaire. • Mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental. 	A faire en TP, aucune connaissance n'est exigible sur ce sujet.
Méthode générale de calcul : utilisation des lois de kirchhoff. Autres théorèmes et techniques de calcul	<p>Savoir déterminer le nombre minimal d'inconnues et savoir établir les relations nécessaires pour les trouver.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Savoir appliquer les théorèmes de Thévenin, Norton, Millman, superposition, loi de Pouillet. 	La méthode de résolution ne pourra pas être imposée pour la recherche d'un courant ou d'une tension. L'utilisation du théorème de Thévenin (et Norton) devra être guidée pour calculer les éléments de réduction du générateur équivalent. La méthode

Savoir simplifier un circuit en utilisant l'association des dipôles et la transfiguration du circuit.

pour calculer E_{th} et R_{th} sera laissée libre. L'utilisation du théorème de Kennelly n'est pas exigible.

2. CIRCUIT LINEAIRE DU 1ER ORDRE EN REGIME TRANSITOIRE :

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITE EXIGIBLE	REMARQUES
Bobine et condensateur.	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser les relations entre l'intensité et tension. • Citer des ordres de grandeurs des composants C et L. • Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine. • Connaître les grandeurs qui sont des fonctions continues du temps (courant d'une bobine et tension d'un condensateur). • Connaître le comportement d'une bobine, d'un condensateur en régime permanent continu. 	
Circuit rc série en régime transitoire, réponse à un échelon	<p>Distinguer, sur un relevé expérimental, régime transitoire et régime permanent au cours de l'évolution d'un système du premier ordre soumis à un échelon.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interpréter et utiliser les continuités de tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité traversant une bobine. • Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par une grandeur électrique dans un circuit comportant une ou deux mailles. <ul style="list-style-type: none"> • Déterminer analytiquement la réponse temporelle dans le cas d'un régime libre ou d'un échelon. • Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire. <ul style="list-style-type: none"> • Mettre en œuvre une démarche expérimentale autour des régimes transitoires du premier ordre. <p>Confronter les résultats expérimentaux aux expressions théoriques. (TP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Équations différentielles du premier ordre à coefficients constants avec second membre constant. <ul style="list-style-type: none"> • Forme normalisée, constante de temps. • Solution générale de l'équation homogène, constante d'intégration. Solution particulière. Calcul de la constante d'intégration à partir des conditions initiales.

Différents régimes d'un circuit linéaire dans l'arqs.	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître un circuit linéaire. Connaître les différents régimes : libre et forcé, transitoire et permanent, permanent continu et sinusoïdal. • Savoir reconnaître le nombre de variables nécessaires pour résoudre le problème • Savoir établir les relations nécessaires pour les calculer. 	
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser des bilans énergétiques.	Intégrales simples.

3. CIRCUIT LINEAIRE DU 2ND ORDRE EN REGIME TRANSITOIRE

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Circuit rlc série en régime transitoire, réponse à un échelon.	<p>Analyser, sur des relevés expérimentaux, l'évolution de la forme des régimes transitoires en fonction des paramètres caractéristiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prévoir l'évolution du système à partir de considérations énergétiques. • Lorsque la forme canonique est imposée, savoir identifier les paramètres de l'équation (pulsation propre, facteur de qualité, coefficient d'amortissement...). • Connaître la nature de la réponse en fonction de la valeur du facteur de qualité ou du discriminant. • Déterminer la réponse détaillée dans le cas d'un régime libre ou d'un système soumis à un échelon en recherchant les racines du polynôme caractéristique. • Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, selon la valeur du facteur de qualité. • Mettre en œuvre une démarche expérimentale autour des régimes transitoires du second ordre (TP). 	<ul style="list-style-type: none"> • Équations différentielles du second ordre à coefficients constants avec second membre constant. • Forme normalisée, facteur de qualité, pulsation propre, constante de temps. . . L'énoncé de l'exercice définira la forme normalisée souhaitée. • Solution générale de l'équation homogène, constantes d'intégration. • Solution particulière. • Calcul des constantes d'intégration à partir des conditions initiales. Régime apériodique, régime critique, régime pseudo-périodique. On pourra mettre en évidence la similitude des comportements des oscillateurs mécanique et électronique

Cas particulier limite : oscillateur harmonique non amorti, conservation de l'énergie.

Savoir interpréter la pulsation propre et les facteurs dont elle dépend. Savoir que l'énergie est conservée.

4. CIRCUIT LINEAIRE EN REGIME PERMANENT SINUSOIDAL

NOTIONS ET CONTENUS	CAPAITES EXIGIBLES	REMARQUES
<p>Oscillations forcées :</p> <p>Analogies mécaniques et Électriques.</p> <p>Régime sinusoïdal forcé, Impédances complexes.</p>	<p>Établir et connaître l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine en régime sinusoïdal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions sinusoïdales du temps. Amplitude, pulsation, phase initiale. Décalage horaire et déphasage. Somme de deux fonctions sinusoïdales de même pulsation
<p>Association d'impédances</p>	<p>Remplacer une association série ou parallèle d'impédances par une impédance équivalente.</p>	<p>Calculs avec des nombres complexes. Passage de la forme algébrique à la forme exponentielle.</p>
<p>Calculs dans un réseau linéaire en régime sinusoïdal</p>	<p>Savoir appliquer les lois des circuits en notation complexe (loi des nœuds, loi des mailles, loi d'Ohm, etc.)</p>	<p>-</p>
<p>Oscillateur électrique. Résonance</p>	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser la méthode des complexes pour étudier le régime forcé. À l'aide d'un outil de résolution rôle du numérique, mettre en évidence le facteur de qualité pour l'étude de la résonance. Relier l'acuité d'une résonance forte au facteur de qualité. Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase. 	<p>Un dispositif expérimental autour du phénomène de résonance pourra être présenté en TP.</p>
<p>Signaux périodiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> Savoir que l'on peut décomposer un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales sans calculer les coefficients. Définir la valeur moyenne et la valeur 	<p>-</p>

efficace.

- Établir par le calcul la valeur efficace d'un signal sinusoïdal

5. FILTRES

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
<p style="text-align: center;">Signaux périodiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir que l'on peut décomposer un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales sans calculer les coefficients. • Définir la valeur moyenne et la valeur efficace. • Établir par le calcul la valeur efficace d'un signal sinusoïdal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctions sinusoïdales du temps. Amplitude, pulsation, phase initiale. Décalage horaire et déphasage. • Somme de deux fonctions sinusoïdales de même pulsation.
<p style="text-align: center;">Fonction de transfert harmonique. Diagramme de bode.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir établir une fonction de transfert d'ordre 1. • Savoir définir le type de filtre et sa bande passante à -3dB et sa pulsation de coupure. • Utiliser une fonction de transfert donnée et ses représentations graphiques pour conduire l'étude de la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique. • Interpréter qualitativement un diagramme de Bode réel : bande passante – bande atténuée • Prédire la nature du filtre avec son schéma équivalent (étude haute et basse fréquence). 	<p style="text-align: center;">-</p>

TRONC COMMUN - SEMESTRE 2, EM1 : CHAMP ELECTROSTATIQUE ET MAGNETOSTATIQUE

La capacité labellisée « non exigibles » dans la colonne « Remarques » sont des options pédagogiques relevant de la liberté pédagogique de l'enseignant. Ces notions ne pourront pas tomber au devoir commun.

PREREQUIS EN PHYSIQUE :

Force, PFD, travail d'une force et théorèmes énergétiques (M1), systèmes de coordonnées cylindriques et sphériques.

PREREQUIS EN MATHEMATIQUES :

Eventuellement les intégrales multiples (mais on peut imaginer les introduire dans ce module).

1. CHAMP ELECTROSTATIQUE ET THEOREME DE GAUSS

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Charge ponctuelle. Loi de Coulomb. Distribution de Charges : linéique, Surfaique et volumique.	<ul style="list-style-type: none">• Connaître l'expression de la loi de Coulomb.• Calculer la charge totale d'une distribution.	<ul style="list-style-type: none">• Élément de volume/surface/longueur infinitésimal en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.• Intégrales curvilignes et multiples (on se limitera aux situations où l'intégrale multiple se réduit à un produit d'intégrales simples).
Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle. Cartographie du champ e créé par une charge ponctuelle. Lignes de champ.	<ul style="list-style-type: none">• Connaître et savoir retrouver l'expression du champ créé par une charge ponctuelle. Connaître ses caractéristiques (direction, sens, dépendance en $1/r^2$). <ul style="list-style-type: none">• S'avoir que le champ E diverge à partir d'une charge positive et converge vers une charge négative.• Connaître l'allure du spectre électrostatique d'une charge ponctuelle.	Notion de champ : fonction définie en un point de l'espace.

<p>Additivité.</p> <p>Principe de superposition.</p> <p>Symétrie / antisymétrie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calculer le champ créé par plusieurs charges ponctuelles. • Découverte (sur des cas simples) des règles de symétrie/antisymétrie qui lient les champs à leurs sources : <ul style="list-style-type: none"> → Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de charges. → Savoir que le champ électrique possède les mêmes plans de symétrie (d'antisymétrie) que la distribution. → Exploiter les invariances et les propriétés de symétrie des sources pour prévoir des propriétés du champ créé. 	<p>Non exigible :</p> <p>Notion de vrai vecteur (ou vecteur polaire).</p>
<p>Notion de potentiel électrostatique.</p> <p>Énergie électrostatique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître l'expression du potentiel créé par une charge ponctuelle. • Relier la différence de potentiel ΔV à la circulation de E (forme intégrale). • Connaître la relation $dV = -E \cdot d.C$ (forme locale). <ul style="list-style-type: none"> • Connaître l'expression de l'énergie potentielle électrostatique d'une charge soumise à la force électrique : $E = gV + Cte$ • Exploiter les invariances des sources pour prévoir des propriétés du potentiel créé. • Savoir que le potentiel électrique possède les mêmes plans de symétrie (d'antisymétrie) que la distribution. • Calculer le potentiel créé par une distribution de charges discrète. 	<p>Non exigible :</p> <p>→ Calculs du champ E par sommation vectorielle pour des distributions continues.</p> <p>→ Calculs du potentiel V par sommation pour des distributions continues hors-programme.</p>
<p>Notion de gradient.</p> <p>Interprétation géométrique du gradient.</p> <p>Éléments d'analyse de cartes de champs e, v.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître l'expression de l'opérateur gradient en coordonnées cartésiennes. • Connaître les relations : $E = -grad'V$ et $F = -grad'E$ • Calculer le champ E créé par une distribution discrète ou continue par dérivation du potentiel V. • Savoir que le potentiel décroît le long d'une ligne de champ E. • Savoir que les surfaces équipotentielles sont orthogonales en tout point aux lignes de champ. <ul style="list-style-type: none"> • Relier l'évolution de l'écart entre les surfaces équipotentielles à l'évolution de l'intensité du champ E (exploiter la circulation de E). 	<p>Non exigible : introduction de l'opérateur nabla.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Notion de gradient d'une fonction scalaire : formule et interprétation géométrique (surface de niveau, orientation du vecteur). • Lien entre gradient et différentielle d'une fonction scalaire à plusieurs variables. Savoir que le gradient d'une fonction est orthogonal aux surfaces de niveau et est orienté dans le sens de croissance de la fonction.
<p>Théorème de Gauss.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître et utiliser le théorème de Gauss pour traiter les problèmes à haute symétrie. 	<p>Notion de flux d'un champ de vecteur.</p>

Calculs de champ.	<ul style="list-style-type: none"> • Quelques exemples à savoir traiter (non exhaustif) : <ul style="list-style-type: none"> → Distribution volumique : boule, fil cylindrique infini, plan infini « épais ». → Distribution surfacique : sphère, cylindre infini (cylindre creux), plan infini, condensateur plan (par superposition). → Distribution linéique : fil infini. 	Non exigible : Savoir calculer div d'un champ vectoriel donné. Équation de Maxwell-Gauss.
Topographie du champ e.	Relier l'évolution de l'écart des lignes de champ à l'évolution de l'intensité du champ E (exploiter la conservation du flux électrique en l'absence de charges)	

2. Mouvement d'une particule dans les champs E et B uniformes et stationnaires.

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Force électrostatique sur une charge ponctuelle. Force magnétostatique sur une charge ponctuelle en mouvement. Travail/puissance de ces forces.	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître l'expression de la force de Lorentz. • Savoir que la partie magnétique de la force de Lorentz ne travaille pas. 	-
Stockage et dissipation d'énergie.	Réaliser des bilans énergétiques.	Intégrales simples.

3. Champ magnétostatique et théorème d'Ampère

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Modélisation d'une distribution volumique de courant. Passage à la modélisation linéique.	Calcul de l'intensité courant à travers une surface.	Calcul de flux (on se limitera à des flux à travers des sections droites). Non exigible : distributions surfaciques de courants.
Symétrie / antisymétrie.	<ul style="list-style-type: none"> • Découverte (sur des cas simples) des règles de symétrie/antisymétrie qui lient les champs à leurs sources : → Identifier les plans de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de courants. → Exploiter les propriétés de symétrie les invariances des sources pour prévoir des propriétés du champ créé. • Savoir que les propriétés de symétrie (d'antisymétrie) de la distribution de courants se traduisent par des propriétés d'antisymétrie (de symétrie) du champ B créé 	Non exigible : notion de pseudo-vecteur (ou vecteur axiale).

<p>Théorème d'ampère.</p>	<p>Calculer la circulation du champ B.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Connaître et utiliser le théorème d'Ampère pour traiter les problèmes à haute symétrie. • Quelques exemples à savoir traiter (non exhaustif) : <ul style="list-style-type: none"> → fil rectiligne infini ; → fil cylindrique infini ; → solénoïde infini. La nullité du champ l'infini sera admise. 	<p>Non exigible :</p> <p>Loi de Biot et Savart.</p> <p>Savoir calculer rot d'un champ vectoriel donné. Équation de Maxwell Ampère.</p>
<p>Topographie du champ b</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir que les lignes de champ B enlacent les fils parcourus par des courants. • Prévoir la direction et le sens du champ B connaissant l'orientation du courant (règle de la main droite). • Relier l'évolution de l'écart entre les lignes de champ à l'évolution de l'intensité du champ B (conservation du flux magnétique). 	

TRONC COMMUN - SEMESTRE 1 & 2, TH1 et TH2 : THERMODYNAMIQUE

PREREQUIS EN MATHEMATIQUE :

Fonctions à plusieurs variables - Différentielle d'une fonction à plusieurs variables.

1. DESCRIPTIONS MICROSCOPIQUE ET MACROSCOPIQUE D'UN SYSTÈME À L'ÉQUILIBRE

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Systèmes thermodynamiques Etats microscopiques, états macroscopiques : passage fondamental d'une réalité microscopique à des variables d'état macroscopiques Grandeur extensive, grandeur intensive.	<ul style="list-style-type: none">• Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.• Savoir que pour tout système fermé, composé d'un corps pur monophasé, seuls deux paramètres d'état sont nécessaires pour décrire l'évolution macroscopique du système.	-
Échelles microscopique, mésoscopique, et macroscopique.	Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité.	Notion de champ : fonction définie en un point de l'espace.
Deux grandeurs statistiques : la température et la pression. Utilisation du modèle du gaz parfait (avec une distribution des vitesses très simplifiée) pour définir la pression cinétique et la température cinétique. Équation d'état.	<ul style="list-style-type: none">• Savoir utiliser un modèle élémentaire où les particules ont toutes la même vitesse en norme (=vitesse quadratique moyenne) et ne se déplacent que dans les deux sens de trois directions orthogonales privilégiées.• Savoir établir l'expression de la pression (en fonction de la masse des particules, de la densité particulaire et de la vitesse quadratique moyenne au carré).<ul style="list-style-type: none">• Savoir utiliser les mêmes techniques de calculs pour des exercices de type fuite par un trou.• Connaître et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits	

<p>État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression.</p> <p>Parois athermanes ou diathermanes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. • Dédire une température d'une condition d'équilibre thermique. 	
<p>Du gaz réel au gaz parfait. Exemple des gaz de van der waals.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron. • Connaître l'origine physique des termes correctifs pour les gaz de Van der Waals. 	<p>Il faudra introduire à ce stade les fonctions à plusieurs variables et la différentielle d'une fonction à plusieurs variables.</p>
<p>Coefficients thermoélastiques approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calculer des petites variations connaissant la valeur des coefficients thermoélastiques (la définition des coefficients n'est pas à savoir par cœur). Il faudra savoir utiliser les petites variations et le passage aux dérivées partielles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir trouver une fonction $f(x, y, z)$ connaissant ses dérivées partielles. • Notion de fonctions implicites.
<p>Énergie interne d'un système. Capacité thermique à volume constant dans le cas du gaz parfait.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température. • Savoir que $U = U(T)$ pour un gaz parfait. 	
<p>Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.</p>	<p>Savoir que $U = U(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.</p>	
<p>Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (p, t). Cas de l'équilibre liquide vapeur : diagramme de clapeyron (p, v), titre en vapeur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analyser un diagramme de phase expérimental (P, T). • Positionner les phases dans les diagrammes (P, T) et (P, v). • Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v). • L'allure des transformations usuelles (isobares, isochores, isothermes ou adiabatiques) peut 	

	être demandée dans un diagramme (P, v).	
Équilibre liquide-vapeur de l'eau en présence d'une atmosphère inerte	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître la notion de pression partielle • Aborder la distinction entre l'évaporation et l'ébullition 	Il faudra introduire à ce stade les fonctions à plusieurs variables et la différentielle d'une fonction à plusieurs variables.

2. ENERGIE ECHANGEE PAR UN SYSTEME AU COURS D'UNE TRANSFORMATION

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Transformation thermodynamique subie par un système.	<ul style="list-style-type: none"> • Définir le système. • Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final. <ul style="list-style-type: none"> • Transformations brutales et transformations quasi-statiques. • Utiliser le vocabulaire usuel : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme. • Les transformations monobare ou monotherme signifient seulement que P_{ext} ou T_{ext} sont constants au cours de la transformation mais ne présupposent pas que $P_i = P_f$ ou $T_i = T_f$ pour le système. 	
Travail des forces de pression.	<p>Savoir calculer le travail dans deux cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Au cours d'une transformation quasi-statique par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin (isochore, isobare, isotherme) donné dans le cas d'une seule variable. • Au cours d'une transformation brutale pour laquelle le milieu extérieur exerce une pression P_{ext} constante Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron. 	

<p>Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat</p>	<p>Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement. Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat.</p>	
<p>Équilibre liquide-vapeur de l'eau en présence d'une atmosphère inerte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître la notion de pression partielle • Aborder la distinction entre l'évaporation et l'ébullition 	<p>Il faudra introduire à ce stade les fonctions à plusieurs variables et la différentielle d'une fonction à plusieurs variables.</p>

3. PREMIER PRINCIPE, BILAN D'ENERGIE :

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
<p>Premier principe de la thermodynamique</p> $\Delta u + \Delta e_c + \Delta e_p = q + w$	<ul style="list-style-type: none"> • Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail W et transfert thermique Q. • Exploiter l'extensivité de l'énergie interne. Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange. • Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU. 	<p>Il faudra introduire les formes différentielles et différentielles exactes.</p>
<p>Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer l'enthalpie $H(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne. • Comprendre pourquoi l'enthalpie H d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T. • Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final. 	
<p>Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation</p>	<p>Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases.</p>	

4. SECOND PRINCIPE, BILAN D'ENTROPIE

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
<p>Second principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée.</p> <p>$\Delta s = s_{éch} + s_{créée}$ avec : $s_{éch} = \int \frac{\delta q}{T}$</p>	<p>Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique.</p> <p>Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calculer $S_{éch}$ dans le cas où les échanges de chaleur se font uniquement lors de mise en contact avec des thermostats : $S_{éch} = \sum Q_i / T_i$ • Utiliser l'identité thermodynamique un pour obtenir l'expression de ΔS pour GP et une phase condensée idéale. <p>On donnera cependant les résultats pour la poursuite des exercices (Formulation du type "montrer que.."). Exploiter l'extensivité de l'entropie.</p>	
Loi de Laplace	Connaître la loi de Laplace et ses conditions d'application.	
Cas particulier d'une transition de phase.	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$ 	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes :	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des	<p>Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine

rendement, efficacité,
théorème de carnot

transitions de
phases.

cyclique ditherme.

- Définir un rendement et une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot.
- Connaître le cycle de Carnot et son diagramme en coordonnées P,V et T,S. On devra guider l'étudiant et préciser T_c et T_f pour la comparaison avec le cycle ou l'efficacité de Carnot.
- Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.

TRONC COMMUN - SEMESTRE 4, TH3 : SYSTEMES OUVERTS – DIFFUSION DE PARTICULES ET DIFFUSION THERMIQUE

PREREQUIS EN MATHS :

- Outils mathématiques : dérivées partielles, opérateurs différentiels et notation complexe.

PREREQUIS EN PHYSIQUE :

Thermodynamique (1A), ondes mécaniques (S3).

1. 1ER PRINCIPE POUR LES SYSTEMES OUVERTS (~10H)

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Charge électrique. Courant électrique, intensité du courant.	<ul style="list-style-type: none">• Utiliser le 1er principe dans un écoulement stationnaire sous la forme $\Delta(h + em) = wu + q$ pour étudier une machine thermique.• On se limitera à l'utilisation d'abaques pour calculer les différentes grandeurs.• Savoir utiliser le théorème des moments dans le diagramme (T, s), (P, h) et (P, v).<ul style="list-style-type: none">• En aucun cas l'allure des différentes transformations n'est à connaître dans tous les systèmes de coordonnées.	

2. DIFFUSION DE PARTICULES ET CONDUCTION (= DIFFUSION) THERMIQUE (≈ 15H)

Cette partie traite des phénomènes diffusifs qui contrairement aux phénomènes de propagation sans amortissement sont des phénomènes irréversibles et par opposition aux phénomènes de convection sont des transports efficaces aux temps courts. On s'appliquera donc à mettre en évidence la non symétrie par renversement du temps pour chaque exemple traité et une analyse en ordre de grandeur chaque fois que la situation s'y prête.

La transversalité des phénomènes de diffusion (thermique, particules, électrocinétique et électromagnétisme, hydrodynamique voire mécanique quantique) permet de faire des analogies et de montrer, comme pour le cas des ondes, que la compréhension d'un phénomène physique peut permettre son extension à d'autres domaines.

Remarques générales : Les démonstrations se feront dans le cas unidimensionnel et seront étendues au cas tridimensionnel à l'aide des opérateurs divergence et laplacien, dont on admettra les expressions dans les coordonnées cylindriques et sphériques.

Les opérateurs divergence et laplacien seront exigibles en coordonnées cartésiennes uniquement et seront fournis dans les autres systèmes de coordonnées. On pourra rappeler le pouvoir mnémotechnique de l'opérateur cartésiennes.

La diffusion de particules pourra être traitée en premier car la notion de flux associé y est plus intuitive.

1. DIFFUSION DE PARTICULES :

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Modes de transport.	Distinguer le transport de matière par diffusion de celui par convection.	
Débit de particules.	Définir le débit de particules traversant une section S .	
Densité particulaire et notion d'équilibre thermodynamique local.	Connaître la différence entre un volume mésoscopique où il y a équilibre thermodynamique local et un volume macroscopique où le système est faiblement hors équilibre.	
Vecteur densité de courant de particules j_n .	Définir j_n et savoir le relier au flux (=débit) de particules.	
Loi de Fick.	<ul style="list-style-type: none"> Connaître la loi de Fick dans le cas 3D. Utiliser la loi de Fick en géométrie 	

	<p>cartésienne, cylindrique ou sphérique.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coefficient de diffusion. Savoir retrouver son unité par calcul dimensionnel. 	
<p>Bilans de particules. Conservation de la matière.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules. • Établir une équation traduisant un bilan local dans le cas unidimensionnel, ou pour des géométries à symétries sphériques ou cylindriques (variable r uniquement), éventuellement en présence de sources internes. • Connaître l'équation locale de conservation de la matière à 3D. 	
<p>Équation de diffusion en l'absence ou présence de sources internes. Irréversibilité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. • Connaître l'équation de diffusion à 3D. • Analyser une équation de diffusion sans source en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiales et temporelles. 	
<p>Condition aux limites (cl).</p>	<p>Exploiter la continuité de la densité particulaire ou du flux de particules (débit) pour expliciter une condition aux limites.</p>	<p>Ex : Contact avec un réservoir, paroi imperméable, diffusion entre 2 milieux de diffusivités différentes.</p>
<p>Régimes stationnaires/arqs.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Résoudre l'équation de diffusion en régime stationnaire en appliquant les CL. • Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne. Faire le lien avec la loi des nœuds en électrocinétique. • Comparer le temps caractéristique d'évolution des sources ou des CL avec le temps caractéristique de diffusion pour valider l'hypothèse d'ARQS. 	<p>La résolution de l'équation de diffusion en régime variable devra être guidée.</p>

2. DIFFUSION DE PARTICULES

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
---------------------	---------------------	-----------

Les différents modes de transfert thermique.	Citer les 3 modes de transfert thermique (diffusion, convection et rayonnement).	
Vecteur densité de courant thermique j_q .	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer le flux thermique à travers une surface en utilisant le vecteur j_q. • Lier le flux thermique à la puissance thermique traversant la surface. 	
Température et notion d'équilibre thermodynamique local.	Connaître la différence entre un volume mésoscopique où il y a équilibre thermodynamique local et un volume macroscopique où le système est faiblement hors équilibre.	
Bilans d'énergie. Conservation de l'énergie.	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser le premier principe dans le cas d'un milieu solide pour établir une équation locale dans le cas unidimensionnel, ou pour des géométries à symétries sphériques ou cylindriques (variable r uniquement) éventuellement en présence de sources internes. • Connaître l'équation locale de conservation de l'énergie à 3D. 	
Loi de Fourier.	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître la loi de Fourier dans le cas 3D. • Utiliser la loi de Fourier en géométrie cartésienne, cylindrique ou sphérique. 	
Équation de la diffusion thermique en l'absence ou présence de sources internes	<ul style="list-style-type: none"> • Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. • Connaître l'équation de diffusion à 3D. Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle. 	
Conditions aux limites. Loi de Newton.	<ul style="list-style-type: none"> • Exploiter la continuité de la température pour un contact thermique parfait. Exploiter la continuité du flux (= puissance) thermique dans les autres cas. • Exploiter la loi de Newton pour exprimer la puissance thermique cédée par un solide à une interface solide/fluide. Exploiter la conservation du flux et la loi de Newton pour expliciter une condition à une limite solide/fluide. 	

<p>Régimes stationnaires et arqs. Notion de résistance thermique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne. • Mettre en évidence un temps caractéristique d'évolution de la température pour justifier l'ARQS. • Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. <ul style="list-style-type: none"> • Établir, dans le cas unidimensionnel, l'expression d'une résistance thermique : <ul style="list-style-type: none"> - D'un solide. - D'une interface solide-fluide. <p>Utiliser des associations de résistances thermiques.</p>	
<p>Ondes thermiques.</p>	<p>Savoir établir la relation de dispersion (la forme en pseudo OPPH avec k complexe étant donnée). Distance d'atténuation.</p>	<p>La résolution de l'équation de la chaleur en régime variable devra être guidée.</p>
<p>Rayonnement thermique : approche descriptive du rayonnement du corps noir : loi de wien, loi de stefan.</p>	<p>Utiliser les expressions fournies des lois de Wien et de Stefan pour expliquer qualitativement l'effet de serre.</p>	

TRONC COMMUN - SEMESTRE 1 & 2, M1 et M2 : MECANIQUE DU POINT ET DU SOLIDE

Remarque : La dynamique en référentiels non galiléen est hors programme.

PRÉREQUIS EN PHYSIQUE :

Aucun. Les notions doivent être reprises depuis la statique.

1. PRELIMINAIRE MATHÉMATIQUES :

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Manipulation des vecteurs.	<ul style="list-style-type: none">• Savoir projeter un vecteur suivant un système d'axes.• Savoir exprimer les composantes d'un vecteur dans une BOND.<ul style="list-style-type: none">• Savoir utiliser la notation colonne.• Savoir calculer un produit scalaire.<ul style="list-style-type: none">• Relation entre norme d'un vecteur et produit scalaire.• Relation entre composantes d'un vecteur et produit scalaire.<ul style="list-style-type: none">• Savoir calculer un produit vectoriel.• Règle des 3 doigts de la main droite.• Règles des produits scalaires et vectoriels (distributivité, commutativité/anti commutativité, linéarité, multiplication par un scalaire...).	La résolution de l'équation de la chaleur en régime variable devra être guidée.

2. CINEMATIQUE DU POINT MATERIEL

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Cinématique et relativité du mouvement / observateur repères et référentiels vecteurs liés.	<ul style="list-style-type: none"> • Saisir la notion de relativité d'un mouvement par rapport à l'observateur. • Connaître la définition d'un référentiel, et comment le construire. 	
Vitesse et accélération.	Connaître la définition de la vitesse faisant intervenir le vecteur position et un référentiel.	
Dérivation temporelle des vecteurs.	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir dériver temporellement un vecteur. • Comprendre la notion de position angulaire et de vitesse de rotation. • Notion de vecteur rotation $\vec{\Omega}$ 	
Les systèmes de coordonnées (cartésiennes, cylindriques, sphériques).	<ul style="list-style-type: none"> • Établir les expressions des composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur-accélération dans le seul cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques. • Les expressions en coordonnées sphériques seront données. • Choisir un système de coordonnées adapté au problème posé. 	
Coordonnées intrinsèques (base de frenet).	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les liens entre les composantes du vecteur-accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur-vitesse et sa variation temporelle. • Situer qualitativement la direction du vecteur-accélération dans la concavité d'une trajectoire plane. 	
Exemples de mouvements (parabole, mouvement circulaire).	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir résoudre le problème du point matériel uniformément accéléré. • Savoir résoudre le problème du point matériel en rotation (trajectoire circulaire). 	

3. CHANGEMENTS DE REFERENTIE EN MECANIQUE CLASSIQUE

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Composition des vitesses $(\vec{v}_A = \vec{v}_R + \vec{v}_E)$	Savoir composer les vitesses et les accélérations dans le cas 2D.	
Compositions des accélérations $(\vec{a}_a = \vec{a}_r + \vec{a}_e + \vec{a}_c)$	<ul style="list-style-type: none"> • Cas de deux référentiels en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre + un point matériel mobile. • Cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe. <p>Remarque : Les expressions de la vitesse d'entraînement, de l'accélération d'entraînement et de l'accélération de Coriolis seront toujours données dans le cas général.</p> <p>Elles devront être simplifiées par l'étudiant dans la situation physique proposée.</p>	

4. DYNAMIQUE DU POINT MATERIEL :

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Les trois lois de Newton. Notion de force. Notion de référentiel galiléen.	<p>Notion de point d'application.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Établir un bilan des forces sur un point matériel et en rendre compte sur une figure. • Connaître les deux types d'interactions (à distance et de contact). 	
Quantité de mouvement d'un point matériel	<p>Savoir formuler la deuxième loi de Newton en faisant intervenir la quantité de mouvement \vec{p}.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les situations à masse variable sont hors programme. 	
Descriptions de différentes interactions (résultante, point d'application) : • interactions à distance :	<ul style="list-style-type: none"> • Savoir identifier les forces intervenant dans un problème mettant en jeu un point matériel (ou bien un solide en translation), les représenter (résultantes 	

interaction gravitationnelle.
• interactions de contact :
action d'un ressort, action
d'une corde, réaction d'un
plan (composante normale et
tangentielle, lois de Coulomb).

et points d'application), écrire le principe
fondamental de la dynamique et le
projeter dans le repère adapté. Les
situations gravitationnelles sont hors
programme (satellites, mouvement de la
Terre, ...). Seul le cas du poids sera traité
en exercice.

• Savoir exploiter les lois de Coulomb
dans les trois situations : équilibre, mise
en mouvement, freinage.

Remarque : On considérera dans les
exercices que les f_s et f_d sont égaux.

Importance de la troisième loi
de Newton dans le cas de
plusieurs objets interagissant
(points matériels ou solides
en translation)

5. ENERGETIQUE DU POINT MATERIEL.

NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES	REMARQUES
Déplacement élémentaire.	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire les composantes du vecteur-vitesse en coordonnées cartésiennes et cylindriques. • Le déplacement élémentaire en sphérique sera toujours donné. 	
Puissance et travail d'une force.	Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force. Savoir que la puissance dépend du référentiel.	
<ul style="list-style-type: none"> • Loi de l'énergie cinétique et loi de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen. • loi de l'énergie mécanique et loi de la puissance mécanique dans un référentiel galiléen. 	Utiliser la loi appropriée en fonction du contexte.	
Énergie potentielle. Énergie mécanique. Forces conservatives et non conservatives	<p>Savoir reconnaître une force conservative et calculer son énergie potentielle associée.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Établir et connaître les expressions des énergies potentielles de pesanteur (champ uniforme), énergie potentielle élastique. 	

6. OSCILLATEUR A UN DEGRE DE LIBERTE

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITÉS EXIGIBLES
Oscillateur amorti et non amorti, en régime libre ou forcé sinusoïdal. Applications à la mécanique du point : cas du pendule pesant et du système masse-ressort.	<ul style="list-style-type: none">• Savoir reconnaître l'équation un oscillateur lors de la mise en équation d'un système mécanique.• Savoir prévoir son régime et le décrire.

7. ENERGETIQUE DU POINT MATERIEL

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITÉS EXIGIBLES
Mise en place des différents concepts liés à la rotation par analogie avec la translation . Mise en équation du pendule simple partir du à théorème du moment cinétique. Loi de transport du moment cinétique et du moment d'une force.	<ul style="list-style-type: none">• Relier la direction et le sens du vecteur moment cinétique aux caractéristiques du mouvement.• Maîtriser le caractère algébrique du moment cinétique scalaire.• Calculer le moment d'une force par rapport à un axe orienté en utilisant le bras de levier.• Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Expliquer l'analogie avec l'équation de l'oscillateur harmonique.

8. CINEMATIQUE DU SOLIDE

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITÉS EXIGIBLES
Rappels sur la rotation de la formule de varignon à la loi de transport des vitesses. Composition des vecteurs rotation conditions de roulement sans glissement.	<ul style="list-style-type: none">• Connaître la loi de transport des vitesses dans un solide.• Retour sur le champ de vitesses d'un solide en rotation autour d'un axe fixe.<ul style="list-style-type: none">• Connaître la condition de roulement sans glissement, les deux solides pouvant être en mouvement.

9. PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE APPLIQUÉ AUX SOLIDES :

On se limitera à un mouvement plan avec une rotation d'axe perpendiculaire à ce plan.

NOTIONS ET CONTENU	CAPACITÉS EXIGIBLES	REMARQUES
<p style="text-align: center;">Statique.</p> <p>Équilibre nécessite la somme des forces nulles et la somme des moments nuls.</p> <p>Action d'un effort sur un solide : paire force/moment.</p> <p>Concept de liaison dans un cas simple : liaison pivot parfaite.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les situations conduiront à des projections dans un plan. Seules des forces ponctuelles sont considérés. <ul style="list-style-type: none"> • Savoir faire le bilan des forces ponctuelles s'exerçant sur un solide, exprimer la force résultante, le moment en un point. • Savoir introduire les efforts dues à une liaison en tant qu'inconnues dans les équations de l'équilibre statique et résoudre. 	-
<p style="text-align: center;">Dynamique.</p> <p>Théorème du moment cinétique et de la résultante dynamique pour un solide en 2d, à partir de ce qui a été fait pour les systèmes de points matériels (généralisation à une distribution continue de masse).</p> <p>Théorème du moment cinétique : restriction aux cas où la forme :</p> $\vec{L} = \vec{J}\vec{\Omega} \text{ ou } \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$ <p>est valable (cas de l'axe fixe, de l'axe passant par g généralisation à l'axe mobile en passant par la loi de transport).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Seuls des mouvements dans le plan et des forces ponctuelles sont considérés. • Savoir écrire le théorème du moment cinétique en un point quelconque (fixe, mobile et restreint à G), et le théorème de la résultante dynamique. • L'étudiant a alors en main tous les outils pour gérer problèmes impliquant les combinaisons de rotations et de translations dans les systèmes de solides en mouvement dans un plan. <p>Exemples : le yoyo, le vélo ou l'automobile, l'effet rétro, étude d'un palan, étude des petites oscillations d'un demi cylindre autour de sa position d'équilibre...</p>	<p>On n'introduit pas de torseurs qui sont hors programme. Le théorème du moment cinétique a été introduit naturellement dans le chapitre précédent dans le cas d'un axe fixe.</p> <p>On pourra donner des formules, sans démonstration, pour généraliser (rotation autour du centre d'inertie, puis autour d'un axe non-fixe en général par la loi de transport).</p>

10. ENERGETIQUE DU SOLIDE

Aucune démonstration de cours n'est exigible

NOTIONS ET CONTENU :	CAPACITÉS EXIGIBLES :
Énergie cinétique – énergie cinétique barycentrique. Énergie potentielle de pesanteur et élastique.	On se limite à une situation à un seul solide en prenant en compte la rotation de celui-ci par rapport à un axe perpendiculaire.
Travail et puissance d'une force	La puissance d'une force prend en compte la rotation du système : $P = F \cdot v + \Gamma \cdot \Omega$
Loi de l'énergie cinétique et loi de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen. Loi de l'énergie mécanique et loi de la puissance mécanique dans un référentiel galiléen.	Utiliser la loi appropriée en fonction du contexte.

TRONC COMMUN - SEMESTRE 3, M3 :

MÉCANIQUE DES FLUIDES

La mécanique des fluides est un enseignement conçu comme une initiation de telle sorte que de nombreux concepts (écoulement laminaire, couche limite, vecteur tourbillon, nombre de Reynolds. . .) sont introduits de manière élémentaire. Toute extension du programme vers les cours spécialisés doit être évitée: par exemple l'approche lagrangienne, la fonction de courant, le potentiel complexe, l'étude locale du champ des vitesses, la relation de Bernoulli pour des écoulements compressibles ou instationnaires, le théorème de Reynolds et le théorème d'Euler sont hors programme. Enfin, la capillarité ne sera pas abordée. La partie approche énergétique a pour objectif d'effectuer des bilans de grandeurs extensives thermo- dynamiques et mécaniques.

PRÉREQUIS EN PHYSIQUE :

Mécanique du point et du solide indéformable.

PRÉREQUIS EN MATHÉMATIQUES :

Opérateurs vectoriels, différentielles, Fonctions à plusieurs variables.

1. ÉNERGÉTIQUE DU POINT MATÉRIEL :

NOTIONS ET CONTENU :	CAPACITÉS EXIGIBLES :	REMARQUES :
Particules de fluides.	Définir la particule de fluide comme un système mésoscopique de masse constante.	
Masse volumique ρ .	Citer des ordres de grandeur des masses volumiques de l'eau et de l'air dans les conditions usuelles.	
Forces volumiques exercées sur particule de fluide.	Exprimer la force volumique $\vec{f} \vec{v} = \frac{dF}{dt}$ due aux interactions à distance	Exemple force volumique de pesanteur : $\vec{f} \vec{v} = \rho \vec{g}$ Pour toute autre force volumique, issue par exemple d'une force d'inertie, l'expression sera donnée.

<p>Forces surfaciques exercées sur une particule de fluide forces de pression :</p> $d\vec{F} = -P(M)d\vec{S}$	<p>Établir l'expression volumique de cette force :</p> $f_v = \frac{d\vec{F}}{dt} = -\overrightarrow{\text{grad}P}$	<p>En statique de fluide, la force tangentielle est nulle. L'expression volumique de cette force sera établie dans le PFS.</p>
<p>Principe fondamentale de la statique des fluides (pfs).</p>	<p>Établir le PFS dans le cas d'un liquide incompressible et homogène :</p> $-\overrightarrow{\text{grad}P} + \rho \vec{g} = \vec{0}$	<p>Le cas des fluides compressibles pourra être traité en TD : Atmosphère isotherme, à gradient de température...</p>
<p>Statique des fluides incompressibles et homogènes dans le champ de pesanteur uniforme.</p>	<p>Établir le PFS dans le cas d'un liquide incompressible et homogène :</p> $P + \rho gz = \text{Cte}$ <p>Avec l'axe z orienté verticale ascendante Application : baromètres, presse hydraulique.</p>	<p>Dans ce cas le PFS peut s'écrire entre deux altitudes zA et zB. $P_A + \rho gz_A = P_B + \rho gz_B$</p>
<p>Poussée archimède $\vec{\pi}$</p>	<p>Établir que l'expression de la force exercée par un fluide sur un solide immergé :</p> $\vec{F} = \rho V \vec{g}$	<p>On pourra noter que cette force s'applique au centre de masse du volume de fluide déplacé et étudier le moment de cette force par rapport au centre de masse du solide immergé.</p>

2. CINEMATIQUE DES FLUIDES

NOTIONS ET CONTENU :	CAPACITÉS EXIGIBLES :	REMARQUES :
Description d'un fluide en mouvement : approche lagrangienne.	Définir la vitesse du point de vue de Lagrange d'une particule de fluide.	
Champ eulérien des vitesses : vitesse de la particule de fluide.	Citer des ordres de grandeur des masses volumiques de l'eau et de l'air dans les conditions usuelles.	
Trajectoires et lignes de courant.	<ul style="list-style-type: none"> • Exprimer la trajectoire de la particule dans le cas d'une approche lagrangienne. • Exprimer la ligne de courant dans le cas d'une approche eulérienne. 	<p>L'équation de la ligne de courant s'obtient en résolvant les équations différentielles suivantes :</p> $\frac{dv_x}{v_x} = \frac{dv_y}{v_y} = \frac{dv_z}{v_z}$ <p>qui se déduit de :</p> $\vec{v} \wedge \overrightarrow{dOM} = \vec{0}$
Masse volumique ρ , vecteur densité de courant de masse $\vec{j} = \rho \vec{v}$, débit massique et volumique.	Définir le débit massique et l'écrire comme le flux du vecteur \vec{j} à travers une surface orientée.	
Conservation de la masse.	Écrire les équations bilans, globale ou locale, traduisant la conservation de la masse.	
Écoulement stationnaire.	<ul style="list-style-type: none"> • Définir un écoulement stationnaire et la notion de tube de courant de masse. • Exploiter la conservation du débit massique. 	
Dérivée particulaire de la masse volumique $\frac{D\rho}{Dt}$	<p>Connaître et interpréter la dérivée particulaire de la masse volumique :</p> $\frac{D\rho}{Dt} = \frac{\partial\rho}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{grad})\rho$	

<p>Accélération particulaire</p> $\frac{D\vec{v}}{Dt}$	<p>Connaître et interpréter l'accélération particulaire :</p> $\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial\vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{grad}) \vec{v}$ <p>Autre expression :</p> $\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial\vec{v}}{\partial t} + \overrightarrow{grad} \left(\frac{v^2}{2} \right) + (rot\ v) \wedge \vec{v}$	<p>Bien distinguer accélération locale :</p> $\frac{\partial\vec{v}}{\partial t}$ <p>et accélération convective</p> $(\vec{v} \cdot \overrightarrow{grad}) \vec{v}$ <p>À partir d'une carte de champ des vitesses en régime stationnaire, décrire qualitativement le champ des accélérations.</p>
<p>Écoulement incompressible et homogène débit volumique :</p> $Q_v = \iint_S \vec{v} \cdot d\vec{S}$	<ul style="list-style-type: none"> • Définir un écoulement incompressible et homogène par un champ de masse volumique constant et uniforme. Relier cette propriété à la conservation du volume pour un système fermé. • Définir le débit volumique et l'écrire comme le flux de \vec{v} à travers une surface orientée. • Justifier la conservation du débit volumique le long d'un tube de courant indéformable 	
<p>Rôle de $\text{div } \vec{v}$</p>	<p>Savoir interpréter $\text{div } \vec{v}$</p>	<p>Montrer que la divergence du champ de vitesses est une mesure de la dilatation des particules de fluide.</p>
<p>Rôle de $\overrightarrow{rot} \vec{v}$</p>	<p>Savoir interpréter \overrightarrow{rot} et \vec{v} définir et déterminer le vecteur tourbillon.</p> $\Omega = \frac{1}{2} \overrightarrow{rot} \vec{v}$ <p>Étudier les cas d'écoulements tourbillonnaires et irrationnels.</p>	

3. DYNAMIQUE DES FLUIDES

NOTIONS ET CONTENU :

CAPACITÉS EXIGIBLES :

REMARQUES :

<p>Fluide réel, viscosité dynamique.</p>	<p>Relier l'expression de la force surfacique de viscosité au profil de vitesse dans le cas d'un écoulement parallèle. Exprimer la dimension du coefficient de viscosité dynamique. Citer l'ordre de grandeur de la viscosité de l'eau. Citer la condition d'adhérence à l'interface fluide solide.</p>	<p>Les forces de viscosité seront négligées dans la suite.</p>
<p>Fluide parfait.</p>	<p>Montrer qu'un fluide en écoulement parfait dans un référentiel galiléen vérifie l'équation d'Euler :</p> $\rho \frac{dv}{dt} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) = -\overrightarrow{\text{grad}}P + \rho \vec{g} + \vec{f}$	<p>\vec{f} est une densité volumique de force autre que celle du champ de pression qui sera obligatoirement donnée. Vérifier que s'il n'y a pas écoulement, on retrouve la loi fondamentale de la statique des fluides.</p>

4. RELATION DE BERNOULLI

NOTIONS ET CONTENU :	CAPACITÉS EXIGIBLES :	REMARQUES :
<p>Cas d'un écoulement parfait, stationnaire et homogène.</p>	<p>Savoir intégrer l'équation d'Euler sur une ligne de courant :</p> $P + \rho gz + \frac{1}{2} \rho v^2 = Cte \text{ (ligne)}$	<p>Les équations de Bernoulli sont obtenues en intégrant l'équation d'Euler sur un trajet défini suivant les hypothèses des conditions d'écoulement. Dépend du trajet.</p>
<p>Cas d'un écoulement parfait, stationnaire, homogène et irrotationnel.</p>	<p>Établir dans ce cas l'équation de Bernoulli.</p>	<p>Montrer que l'expression obtenue est indépendante du chemin suivi.</p>
<p>Cas d'un écoulement parfait, stationnaire, homogène et irrotationnelle sans échange de travail</p>	<p>Établir dans ce cas l'équation de Bernoulli.</p>	<p>Décrire l'effet Venturi. Décrire les applications : tube de Pitot, débitmètre</p>

INTITULÉ DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT :

CHIMIE

COMPÉTENCES DISCIPLINAIRES :

- Mobiliser les concepts théoriques et pratiques adéquats pour aborder et résoudre des problèmes dans les différents domaines de la chimie : chimie organique, chimie inorganique et des matériaux, chimie physique et chimie analytique.
- Comprendre les mécanismes fondamentaux à l'échelle microscopique dans la matière, modéliser les phénomènes macroscopiques qui en découlent et relier un phénomène macroscopique aux processus microscopiques. Proposer un modèle pertinent.
- Valider un modèle par comparaison entre ses prévisions et des résultats expérimentaux ; analyser les limites de sa validité.
- Mobiliser les concepts des mathématiques, des sciences du numérique, des sciences physiques, de la biologie et de la physicochimie pour aborder et résoudre des problématiques complexes.
- Identifier et mener en autonomie les différentes étapes d'une démarche expérimentale ou de recherche documentaire, pour traiter un problème donné en chimie ou à l'interface avec les autres sciences : conception, mesure, analyse, interprétation des données expérimentales, modélisation...
- Utiliser les appareils et les techniques de mesure en laboratoire les plus courants dans tous les domaines de la chimie ; apprentissage de l'autonomie en laboratoire ;
- Être sensible à la sécurité en laboratoire et à la protection de l'environnement (gestion des déchets et des effluents, ...) ;
- Analyser et synthétiser des données en vue de leur exploitation.
- Situer les champs professionnels nécessitant des compétences en chimie.
- Avoir un regard critique sur les principes d'éthique, de déontologie et de responsabilité environnementale de l'ingénieur, en lien avec la chimie.

INTITULÉ DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT :

CHIMIE

COMPÉTENCES TRANSVERSALES :

- Développer un esprit pratique.
- Développer une argumentation avec un esprit critique. Innover et entreprendre.
- Interagir efficacement avec d'autres personnes autour d'un problème donné, travailler en équipe.
- Identifier et sélectionner diverses ressources spécialisées pour documenter un sujet.
- Savoir rédiger un compte-rendu, un rapport.
- Communiquer efficacement son travail à l'oral.
- Se servir aisément de la compréhension et de l'expression écrite et orale en anglais, à des fins de recherche bibliographique et de travail sur des projets.

VOLUME HORAIRE :

1ÈRE ANNÉE	NOMBRE D'HEURE TOTAL	CM + TD	TP	ÉVAL	NBR Remédiation
STRUCTURE DE LA MATIÈRE	32	31	-	1	3
CHIMIE ORGANIQUE	25	24	-	1	-
THERMO DYNAMIQUE	16	12	3	1	4.5
CHIMIE DES SOLUTIONS	34	27	6	1	4.5
CINÉTIQUE CHIMIQUE	13	9	3	1	3

2ÈME ANNÉE	NOMBRE D'HEURE TOTAL	CM + TD	TP	ÉVAL
THERMO DYNAMIQUE	15	14	-	1
CINÉTIQUE CHIMIQUE	15	11	3	1

Tous les sites s'accordent sur un minimum de 15 heures de TP en tronc commun (environ 10% des heures totale d'enseignement du tronc commun) qui se répartiront sur les deux années A1 et/ou A2

TRONC COMMUN : STRUCTURE DE LA MATIÈRE

PROFIL ET ÉCOLE :

Profils génie des procédés / matériaux / gestion durable/ agro / biotechnologies / conception, écoprocédés

INP-B : ENSCBP, ENSTBB, ENSGTI, ENSEGID

INP-G : PAGORA, PHELMA, E3 (nucléaire, pime), Seatech, GI

INP-L : EEIGM, ENSIC, Géol, ENSAIA, Mines, ENSTIB

INP-T : ENCIACET, ENSAT, Purpan.

NOTIONS ET CONTENU	REMARQUES
<p>▪ Atomistique : généralités. Caractéristiques générales d'un atome</p> <p>Spectres de raies d'émission de l'atome d'hydrogène et ions hydrogénéoïdes</p> <p>Structure électronique (couches et sous-couches), niveaux d'énergie dans l'atome H et les ions hydrogénéoïdes</p> <p>Configuration électroniques (règles de construction).</p>	<p>Simulation numérique l'utilisation de bibliothèques numériques pour la représentation en coordonnées polaires, l'intégration numérique, la résolution d'équation à une racine, la représentation spatiale de fonctions 3D</p>
<p>▪ Description de l'atome en mécanique quantique : Introduction Dualité onde-corpuscule, Equation de Schrödinger</p> <p>Fonctions d'onde, nombres quantiques (n, l, m), orbitales atomiques</p> <p>Représentation des fonctions d'onde monoélectronique de l'atome d'hydrogène.</p>	
<p>▪ Tableau périodique : Organisation des éléments dans la classification périodique.</p> <p>Présentation des principales familles chimiques.</p> <p>Evolution des propriétés atomiques : notion d'écran, électronégativité, rayons atomiques et ioniques, énergie d'ionisation, affinité électronique.</p> <p>Polarisation, pouvoir polarisant et polarisabilité.</p>	
<p>▪ Structure et géométrie des molécules. Structure et géométrie moléculaires : modèle de Lewis et VSEPR. Cas de l'hypervalence.</p>	<p>Possibilité de reporter le modèle LCAO pour les molécules diatomiques et l'hybridation des orbitales atomiques dans le module</p>

<p>Liaison de covalence délocalisée.</p> <p>Modèle LCAO cas des molécules diatomiques homo et hétéronucléaire de la 1^{ière} et 2^{ième} période.</p> <p>Hybridation des orbitales atomiques.</p> <p>Propriétés des molécules : molécules polaires et apolaires, propriétés magnétiques</p>	<p>de chimie organique.</p> <p>Prérequis : système de coordonnées sphériques (physique), intégrales multiples et impropres (outils maths).</p>
<p>▪Structure de l'état solide</p> <p>Généralités : liaison dans l'état solide, classification des cristaux, maille élémentaire, coordinence, compacité, masse volumique, sites interstitiels & conditions d'occupation.</p> <p>Description des structures des cristaux métalliques type CFC et CC ainsi que les cristaux ioniques type CsCl, NaCl et ZnS.</p>	
<p>▪Liaisons faibles</p> <p>Description des interactions de Van Der Waal et liaison hydrogène. Identifier la nature des liaisons faibles dans le cas des corps purs simples.</p> <p>Application : évolution des températures de changement d'état. Solvant moléculaire : polaire, apolaire, protique et aprotique.</p>	<p>Prérequis : notion de force électrostatique, potentiel électrostatique créé par une charge ou un dipôle.</p>

TRONC COMMUN : CHIMIE DES SOLUTIONS

PROFIL ET ÉCOLE :

Profils génie des procédés / matériaux / gestion durable / agro / biotechnologies / écoprocédés)

INP-B : ENSCBP, ENSTBB, ENSGTI, ENSEGID

INP-G : PAGORA, PHELMA, Seatech

INP-L : EEIGM, ENSIC, Géol, ENSAIA

INP-T : ENSIACET, ENSAT, Purpan

NOTIONS ET CONTENU	REMARQUES
<p>▪ Solution aqueuse</p> <p>Interprétation microscopique de la mise en solution d'un soluté.</p> <p>Notion d'électrolyte fort et faible.</p> <p>Conductimétrie et application au dosage conductimétrique : interprétation du changement pente avant et après titrage.</p>	<p>La mesure conductimétrique sera mise en œuvre expérimentalement au moins une fois dans l'une des séances.</p>
<p>▪ Etat d'équilibre</p> <p>Activité des solutés, quotient de réaction, constante d'équilibre en lien avec la thermodynamique.</p> <p>Prévision d'un état d'avancement, savoir déterminer l'état d'équilibre d'un système siège d'une réaction prépondérante.</p>	
<p>▪ Equilibre acido-basique</p> <p>Concept d'acide-base (Brønsted-Lowry, Lewis)</p> <p>Réaction acide-base : caractère amphotère de l'eau, effet de nivellement du solvant, force acide et base</p> <p>Diagramme de prédominance, prévision des réactions acide-base</p> <p>Calcul le pH d'une solution et d'un mélange d'acide et de base et d'un mélange par la méthode de la réaction prépondérante.</p> <p>Interprétation d'une courbe de titrage pH-métrique : exploitation de l'équivalence, écriture de la réaction de titrage, interprétation en cas d'acidités multiples titrées séparément ou simultanément.</p>	<p>Les titrages acido-basiques complexes, avec ou sans précipitation seront mis en œuvre en TP</p>
<p>▪ Réaction de précipitation</p> <p>Définitions, produit de solubilité, déplacements des</p>	

équilibres de précipitation, précipitations compétitives,
précipitation et pH.

Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en
solide ou en gaz.

Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité en fonction d'une
variable.

▪ **Réaction d'oxydo-réduction**

Couple rédox, potentiel d'électrode, loi de Nernst

Nombre d'oxydation : définition et calcul

Calcul de E° combinant équilibres rédox+précipitation et rédox+AB

Pile électrochimique : calcul d'une fem, prévision et réaction de
fonctionnement, calcul de la constante d'équilibre à partir de
potentiel
standard

L'illustration de la loi de
Nernst par des mesures
potentiométriques pourra
être l'objet d'un TP.

TRONC COMMUN : CHIMIE ORGANIQUE

PROFIL ET ÉCOLE :

Génie des procédés / matériaux / gestion durable/ agro / biotechnologies / conception, écoprocédés

INP-B : ENSCBP, ENSTBB, ENSGTI

INP-G : PAGORA, PHELMA

INP-L : EEIGM, ENSIC, ENSAIA, ENSTIB

INPT : ENCIACET, ENSAT, Purpan.

NOTIONS ET CONTENU	REMARQUES
<ul style="list-style-type: none">▪ Représentation et stéréochimie Représentation des molécules : perspective, Cram, Fischer, Newman Stéréoisomérisation conformationnelle et configurationnelle (conformation des chaînes carbonées et des cycles, chiralité, énantiomérisation, diastéréoisomérisation, règles de CIP, stéréoisomérisation géométrique, chiralité et pouvoir rotatoire).	
<ul style="list-style-type: none">▪ Nomenclature des composés organiques. Notion de groupe fonctionnel. Principes élémentaires de la nomenclature des hydrocarbures. Principes élémentaires de la nomenclature de composés monofonctionnels (alcools, éthers, amines, aldéhydes, cétones, acides carboxyliques, esters).	-
<ul style="list-style-type: none">▪ Effets électroniques dans les molécules Polarisation des liaisons, molécules conjuguées. Effet inducteur et mésomère.	-
<ul style="list-style-type: none">▪ Introduction à la réactivité en chimie organique Types de réactifs : électrophile, nucléophile, acide et base de Lewis Lien entre effets électroniques & stériques et réactivité Intermédiaires réactionnels (carbocations, carbanions, radicaux). Profil réactionnel, contrôle cinétique, contrôle thermodynamique, postulat de Hammond. Contrôle cinétique et approche « orbitales frontières »	-

Méthodes de caractérisation par spectroscopie.

Principe et utilisation de la RMN ^1H .

Principe et utilisation de la spectroscopie IR.

L'analyse du signal FID en RMN peut être l'occasion de parler de transformée de Fourier.

TRONC COMMUN : CINÉTIQUE CHIMIQUE

PROFIL ET ÉCOLE :

Génie des procédés / matériaux / gestion durable/ agro / biotechnologies / conception, écoprocédés

INP-B : ENSCBP, ENSTBB, ENSGTI, ENSEGID

INP-G : PAGORA, PHELMA, E3 (nucléaire, pime), Seatech, GI

INP-L : EEIGM, ENSIC, Géol,ENSAIA, Mines, ENSTIB

INP-T : ENCIACET, ENSAT, Purpan.

1ÈRE ANNÉE : 13h + 3h en remédiation

NOTIONS ET CONTENU	REMARQUES
<p>▪ Réaction et mesure de la vitesse</p> <p>Notion de vitesse de transformation chimique, définir la vitesse globale d'une réaction,</p> <p>Relier vitesse et variation des concentrations, des quantités de matière ou des pressions partielles pour un réacteur fermé, définir le temps de passage.</p> <p>Equation stœchiométrique et vitesse de réaction globale.</p> <p>Approche de la cinétique en réacteur ouvert</p> <p>Techniques expérimentales en cinétique (lien avec les TP).</p>	<p>La cinétique en réacteur ouvert s'appuie sur les bilans en systèmes ouverts abordés en physique.</p> <p>TP : L'ajustement d'un modèle mathématique aux données expérimentales est l'occasion de détailler la régression des moindres carrés et d'expliquer la signification du R².</p>
<p>▪ Lois de vitesse</p> <p>Lois de vitesse : définition. Dégénérescence de l'ordre.</p> <p>Savoir choisir la bonne méthode pour déterminer la loi de vitesse en fonction d'un jeu de données Influence des concentrations :</p> <p>Loi de vitesse "initiale" / Loi de vitesse "courante"</p> <p>Méthodes de détermination de l'ordre d'une réaction.</p> <p>Méthode par intégration.</p> <p>Méthode des temps de réaction partielle -Temps de demi-réaction</p>	<p>Simulation numérique : La résolution d'équations différentielle est omniprésente en cinétique. Ce cours peut être l'occasion d'introduire les méthodes numériques de résolution d'équations différentielles (méthodes explicites ou implicites à un pas, méthode RK, méthodes multipas...) ou bien utiliser les savoir acquis dans un module de méthodes numériques pour résoudre certaines équations.</p>

Méthode différentielle.	
<p>▪ Activation thermique</p> <p>Influence de la température</p> <p>Relation empirique d'Arrhenius.</p> <p>Optimisation de la température d'un réacteur.</p>	

2ÈME ANNÉE : 15h

NOTIONS ET CONTENU	REMARQUES
<p>▪ Théories de vitesse</p> <p>Introduction aux processus élémentaires</p> <p>Théorie des collisions.</p> <p>Relier la molécularité d'un processus aux ordres partiels de la loi de vitesse d'un acte élémentaire.</p> <p>Profil énergétique réactionnel.</p>	
<p>▪ Mécanismes réactionnels</p> <p>Cinétique formelle.</p> <p>Réactions d'ordre simple.</p> <p>Réactions composées : Réactions inversables – Réactions concurrentes - Réactions consécutives.</p> <p>Mécanisme des réactions complexes.</p> <p>Approximation du pré-équilibre rapide.</p> <p>Notion d'intermédiaire réactionnel.</p> <p>Approximation de l'état quasi-stationnaire.</p> <p>Approximation de l'étape cinétiquement déterminante.</p> <p>Principes cinétiques.</p> <p>Réactions par stades.</p>	<p><u>Simulation numérique :</u></p> <p>Les mécanismes réactionnels donnent lieu à des systèmes d'équation différentielles linéaires (traitées en maths en 2nde année) ou non linéaires, dont la résolution demande l'usage de l'outil numérique. Une séance de BE sera consacrée de telles résolutions, qui permettent, en faisant varier des paramètres d'observer le comportement du système.</p>

Réactions radicalaires en chaînes, longueur de chaîne.

▪ **Activation catalytique**

Catalyse : définition, catalyse homogène, hétérogène, enzymatique.

Catalyse et cycles catalytiques

Ordre partiel par rapport au catalyseur.

TRONC COMMUN : THERMODYNAMIQUE

PHYSICOCHIMIQUE

PROFIL ET ECOLE : Génie des procédés/ matériaux / gestion durable/ agro / biotechnologies / production d'énergie/ écoprocédés).

INP-B : ENSCBP,ENSTBB, ENSGTI, ENSEGID

INP-G : PAGORA, PHELMA,E3 (nucléaire, pime) Seatech

INP-L : EEIGM, ENSIC, Géol, ENSAIA, Mines, ENSTIB

INP-T : ENCIACET, ENSAT, Purpan.

1^{ère} ANNÉE : 16h+4,5h en remédiation.

NOTIONS ET CONTENUS	REMARQUES
<p>Système chimique</p> <p>Variables d'états, notion de phase, avancement d'une réaction chimique</p> <p>Grandeurs molaires et grandeurs molaires partielles Grandeurs de réaction, opérateur de Lewis, état standard de référence.</p>	
<p>▪Premier principe</p> <p>Premier principe appliqué à la thermodynamique chimique ; processus naturels et réversibles ; énergie interne et enthalpie ; chaleur de réaction isobare; cas des GP et de fluides réels;</p> <p>Loi de Hess - loi de Kirchhoff : cycle de Born-Haber, énergie réticulaire, énergie de liaison.</p>	<p>Prérequis : Le premier principe a été vu en physique au préalable L'équation d'état du GP et les lois de joules sont supposées vues en physique</p> <p>On insistera sur l'aspect « bilan thermique », en lien avec les thématiques en école – on pourra réaliser une séance de TP de calorimétrie.</p>
<p>▪Equilibre chimique</p> <p>Condition d'équilibre, d'évolution spontanée d'une réaction</p> <p>Constante d'équilibre</p>	

2^{ème} ANNÉE : 15h

NOTIONS ET CONTENUS	REMARQUES
---------------------	-----------

▪ Second principe

Second principe appliqué à la thermodynamique chimique.

Notion d'entropie, entropie standard, influence de T et p .
Enthalpie libre G

▪ Potentiel chimique

Potentiel Chimique : définition, propriétés,
influence de T et p , potentiel chimique standard.

Condition de l'équilibre physico-chimique.

Equilibre entre phases : diagrammes de Clapeyron dans les
systèmes unaires.

Expression du potentiel chimique : systèmes idéaux et
réels.

Activité et coefficient d'activité Constante d'équilibre

▪ Equilibre chimique / Variance d'un équilibre

Déplacement des équilibres : loi de Le Chatelier

Prérequis : Le second principe a été vu en
physique au préalable.

Précisions :

- Introduction de la fonction potentielle G
et lien avec le second principe. Introduction
de $\Delta_r G^\circ$ sans passer par les potentiels
chimiques.

- La relation entre $\Delta_r G^\circ$ et K° sera donnée,
sans démonstration.

La relation de Van't Hoff sera donnée sans la
démontrer - et permet l'étude des variations
de K° avec la température

INTITULÉ DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT

BIOLOGIE

VOLUME HORAIRE

Points du programme	Nombre d'heures
Qu'est-ce qu'un être vivant ? Définition de la vie. Histoire et évolution de la vie.	3
La cellule	10
TD / TP microscopes et constituants cellulaires	3
Transmission et dynamique du génome	1.5
Génétique et biologie moléculaire	10
Applications : les biotechnologies	9 dont TD ou TP
Organisation fonctionnelle du vivant	4.5
TP / TD tissus et organes végétaux (ou autre selon proposition)	3
Mécanismes de développement des métazoaires	3
Contrôles (2x1h30)	3

TRONC COMMUN : ORGANISATION DU VIVANT, DESCRIPTION ET MÉTHODES D'ÉTUDES DU MATÉRIEL BIOLOGIQUE, GÉNÉTIQUE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE [50H]

Sujet :	Contenu :
<p>Qu'est-ce qu'un être vivant ? - définition de la vie (situation particulière des virus) histoire et évolution de la vie.</p>	<p><u>Différences bactéries / eucaryotes / archées.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Définition de la vie donnée par la NASA. • Dogme « connu » du codage moléculaire. • Données nouvelles sur virus et la régulation des ARN. <p><u>Les êtres vivants ont besoin d'énergie :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Brève introduction de la notion de métabolisme (sera + développé en majeure). • Constituants biochimiques des cellules (sera + développé en majeure). <p><u>Illustrations possibles :</u> les expériences de Pasteur et la démonstration du support physique du vivant.</p>
<p>La cellule</p>	<p><u>Techniques d'étude des cellules :</u> les microscopes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Différents types d'êtres vivants (Bactéries / Eucaryotes / Archées autotrophes/hétérotrophes ; unicellulaires, pluricellulaires). • Notion d'endosymbiose (évoquée rapidement, reprise dans la majeure 2). • Constituants et fonctions des organites cellulaires • La cellule est délimitée par une membrane (à décrire ici / le rôle de celle-ci est développé en majeure biochimie). • Les cellules ont une organisation interne contrôlée par le cytosquelette (principalement actine et microtubules). • Les cellules ont une forme, qui résulte d'un équilibre entre forces d'adhésion et squelette interne, paroi et pression osmotique pour les cellules à paroi.
<p>Td / tp microscopes et constituants cellulaires</p>	<p style="text-align: center;">-</p>
<p>Transmission et dynamique du génome.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mitose (parler rapidement de la méiose, sans développer tous les stades qui pourront être traités dans la partie sur l'évolution). • Différence reproduction sexuée / asexuée, quel patrimoine est-il transmis ?

Génétique et biologie moléculaire (acides nucléiques : adn et arns).	<ul style="list-style-type: none"> • Qu'est ce qu'un gène ? • L'ADN est le support de l'information génétique. • L'ADN est une molécule informative. • Du gène à la protéine. • Régulation de l'expression génétique : état de l'ADN (chromatine condensée ou non, histones), promoteurs, facteurs de transcriptions et séquences de régulation (opéron lactose), ARN régulateurs (mi et si RNA, qui peuvent aboutir à l'explication des techniques CRISPR-Cas9 dans la partie technologies de l'ADN recombinant) opérons / promoteurs / ARN régulateurs (si et miARN), épigénétique.
Applications : les biotechnologies.	<ul style="list-style-type: none"> • Techniques d'étude des acides nucléiques. • Electrophorèses, transferts sur membrane, marquages ADN, séquençage. • Technologies de l'ADN recombinant (Ez restriction, PCR, clonages, CrispR-Cas9, OGM...).
Organisation fonctionnelle du vivant.	Fonctions réalisées par les organites (pour les organismes unicellulaires) ou les tissus / organes (pour les organismes pluricellulaires)
Tp / td tissus et organes végétaux (ou autre selon proposition).	-
Mécanismes de développement des métazoaires.	<p>Pour aboutir à un organisme pluricellulaire, il faut évoquer les notions de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Régulation (exemples : homéothermie ou stress) • Développement : rôles des gènes homéotiques (animaux + végétaux)
Contrôles (2x 1h30)	-

INTITULÉ DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT : LANGUES

Modalités et principes généraux :

L'enseignement des langues à la prépa des I.N.P est une formation généraliste visant à

préparer les étudiants à entrer dans l'une des Écoles d'Ingénieurs des I.N.P en connaissant deux langues étrangères, dont l'anglais.
Les cours ont lieu à raison d'un T.D. hebdomadaire de 1h20 ou 1h30 par langue vivante et sont répartis sur les deux années de la façon suivante :

- 96H de présence élève en langues (LV1 et LV2 confondues) en première année
- 74H en deuxième année (idem, LV1 et LV2 confondues).

Niveaux CECRL visés :

En LV1 : B2 pour les deux années.

En LV2 : B1 à B2 selon le niveau des étudiants.

Objectifs de formation :

Compétences linguistiques :

- Affermir les compétences de l'enseignement du second degré sur le plan linguistique (lexique, grammaire, phonologie).
- Conduire les étudiants à acquérir un niveau plus élevé de compréhension et d'expression, tant à l'écrit qu'à l'oral, et à consolider une méthodologie pour un apprentissage de la langue en profondeur (compréhension fine, compréhension de l'implicite, approfondissement).

Compétence culturelle :

- Assurer la mise en place des repères culturels indispensables à la connaissance de la civilisation et de la culture des pays étrangers, notamment à travers la sensibilisation des étudiants à l'actualité contemporaine et aux grands enjeux des sociétés d'aujourd'hui.

Compétence pragmatique :

- Développer et/ou consolider des compétences et savoir-être que l'on est à même d'attendre de futurs ingénieurs. Seront favorisées entre autres :
 - La capacité à faire preuve d'ouverture d'esprit et de curiosité.
 - La capacité à aborder un sujet de manière critique et nuancée.
 - La volonté d'approfondir une analyse et de communiquer un message clair.
 - L'aptitude à travailler en équipe et à mener un projet à bien.

Travail et évaluation :

- Les supports de cours (texte, audio, vidéo) ainsi que les évaluations proposées sont de nature variée et permettent de mesurer le niveau et les progrès de chacun.e dans les différentes activités langagières (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale). Les critères d'évaluation sont connus des étudiants et chaque travail rendu fait l'objet d'une correction individuelle.
- La note finale du semestre peut être le résultat de plusieurs composantes (contrôle continu et/ou DS, participation en cours, investissement de l'étudiant, etc.).

- Les étudiants sont encouragés à compléter la formation dispensée en cours par un effort de travail personnel et/ou de consultation de ressources, notamment lorsque les points fondamentaux de la langue- verbes forts, formes de conjugaison, structures de phrases, etc - ne sont pas maîtrisés.

INTITULÉ DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT :

ÉCONOMIE

Programme - 1ère année :

- **Introduction à l'économie** : Les courants de pensées économiques et la diversité des sciences économiques et sociales.
- **Les facteurs de production et les modes de mise en marché** : loi de l'O/D, le travail, le capital et les ressources naturelles.
- **L'utilisation des revenus** : Base sur les revenus, la consommation, l'épargne.
- Tout en CM : Chaque cours débute par une tribune de presse sur un fait d'actualité économique, social et/ou politique donnant lieu à 10 min de débat.

Programme - 2ème année :

- Cours portés sur la monnaie et les organisations des systèmes monétaires mondiaux, et la notion de "croissance économique" et "crises".
- **Ensemble d'exposés sur des parties du cours** :
 - Comparaison entre les budgets des états : France et USA (recettes et dépenses).
 - Evolution des salaires et du chômage en France depuis 1970.
 - Le syndicalisme et la représentation des salariés en France.
 - L'évolution de la consommation des ménages en France depuis 1970.
 - Les crises de 1929, 1973, 2000 et 2007 : éléments de compréhension et de comparaison.
 - Evolution de la capitalisation boursière des 30 dernières années.
 - Le développement durable et les entreprises.
 - La sociologie et sa prise en compte dans les entreprises.
- Tout en CM.

INTITULÉ DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT :

PROJET 2A

Finalités du projet :

Les projets sont interdisciplinaires, ce qui est défini par l'**interaction d'au minimum deux disciplines**. Le projet s'inscrit dans un **contexte authentique**.

Il est également destiné à **évaluer des compétences autres que disciplinaires**, plus transverses :

1. Savoir mener une recherche bibliographique.
2. Savoir prendre la parole pour une soutenance à contenu scientifique.
3. Savoir travailler en groupe et répartir des rôles simples dans le groupe (les projets ne doivent pas nécessiter, à ce niveau une gestion de groupe trop complexe.)
4. Savoir communiquer sur l'avancée d'un projet, au niveau des livrables intermédiaires.
5. Avoir une approche développement durable dans le cadre du projet ou dans la gestion du projet.

Organisation générale des projets (hors évaluation) :

- Nombre de sujet par rapport au nombre d'étudiants :
 - 1 sujet pour des groupes de 4 à 6 étudiants ou 1 sujet pour deux/trois groupes de 4-6 étudiants sur un même site ou sur des sites différents ; chaque sujet est proposé à deux groupes.
- La constitution des groupes est imposée et le sujet est attribué en fonction des majeures du S3.
- Recueil des sujets de projets dans une banque commune de sujets de projets sur le Moodle commun.

Volume horaire, charge de travail :

- Le projet correspond à 40h maquette, soit 80h de travail étudiant. Il correspond à 4 ECTS.



Enseignements électifs

TABLE DES MATIERES

<u>Majeures et mineures</u>	
Semestre 3	111
Semestre 4	112
<u>Mathématiques</u>	113
<u>Physique</u>	114
<u>Chimie</u>	115
<u>Sciences pour l'ingénieur</u>	116
<u>Informatique</u>	117
<u>Biologie 1</u>	118
<u>Biologie 2</u>	188
<u>Ecologie</u>	119
<u>Géosciences</u>	119

<u>Modules thématiques</u>	120
<u>Mathématiques fondamentales pour l'ingénieur</u>	121
<u>Mathématiques appliquées</u>	122
<u>Nouveaux paradigmes de programmation et science des données</u>	123
<u>Génie industriel</u>	124
<u>Mécanique des milieux continus</u>	125
<u>Génie mécanique</u>	126
<u>Génie électrique</u>	127
<u>Electronique</u>	129
<u>Physique contemporaine</u>	131
<u>Onde et matière</u>	133

Modules thématiques (suite)

<u>Transformation de la matière</u>	134
<u>Chimie organique</u>	135
<u>Génie des procédés industriels</u>	136
<u>Biologie Animale 1</u>	137
<u>Biologie Animale 2</u>	138
<u>Biologie Animale bis</u>	139
<u>Biologie végétale 1</u>	140
<u>Biologie Végétale 2</u>	141
<u>Biologie Végétale bis</u>	142

Enseignements électifs

Choix de deux majeures

2X60 HEURES

Choix de deux mineures

2X20 HEURES

Les modules thématiques S4

4 × 40 HEURES

En fonction du parcours Majeur / Mineur au S3

COURS ÉLECTIFS 2A

Semestre 3

COURS ÉLECTIFS 2A

	SEPTEMBRE - OCTOBRE		NOVEMBRE - DECEMBRE	
	MAJEURE 1 60H	MINEURE 1 20H	MAJEURE 2 60H	MINEURE 2 20H
PARCOURS BIOLOGIE	BIOLOGIE 1 (BIOCHIMIE)	GEOSCIENCES	BIOLOGIE 2 (BIOCHIMIE)	ECOLOGIE
PARCOURS BIOLOGIE-CHIMIE	BIOLOGIE 1 (BIOCHIMIE)	GEOSCIENCES	CHIMIE	ECOLOGIE
PARCOURS HORS-BIOLOGIE	PHYSIQUE	INFORMATIQUE	MATHEMATIQUES	ECOLOGIE
			SCIENCES POUR L'INGENIEUR	
			CHIMIE	
	INFORMATIQUE	PHYSIQUE	MATHEMATIQUES	ECOLOGIE
SCIENCES POUR L'INGENIEUR				
CHIMIE				

Semestre 4

	JANVIER - FEVRIER		MARS - AVRIL	
	MODULE THEMATIQUE 1 : 40H		MODULE THEMATIQUE 2 : 40h	
PARCOURS BIOLOGIE	BIOLOGIE ANIMALE 1	BIOLOGIE VEGETALE 1	BIOLOGIE ANIMALE 2	BIOLOGIE VEGETALE 2
PARCOURS BIOLOGIE-CHIMIE	BIOLOGIE ANIMALE 1	CHIMIE ORGANIQUE	TRANSFORMATION DE LA MATIERE	GENIE DES PROCEDES
PARCOURS HORS BIOLOGIE	UN CHOIX DE MODULE DANS CHAQUE COLONNE			
	MATHS FONDAMENTALES	PROGRAMMATION	MATHS APPLIQUEES	GENIE DES PROCEDES
	MECANIQUE DES MILIEUX CONTINUS	GENIE ELECTRIQUE	GENIE MECANIQUE	ELECTRONIQUE
	PHYSIQUE CONTEMPORAINE	CHIMIE ORGANIQUE	TRANSFORMATION DE LA MATIERE	ONDE ET MATIERE

MATHÉMATIQUES

Polynômes annulateurs et trigonalisation

- Polynômes d'endomorphisme et de matrice.
- Polynômes annulateurs et diagonalisabilité.
- Théorème de Cayley Hamilton, lemme des noyaux.
- Lien avec la diagonalisation.
- Polynôme minimal.
- Endomorphismes et matrices trigonalisables.
- Endomorphismes et matrices nilpotentes.
- Réduction de Jordan.

20H

Intégrales dépendant d'un paramètre

- Théorèmes de continuité et de dérivabilité.
- Généralisation du théorème de convergence dominée.
- Séries de fonctions.
- Convergence simple.
- Uniforme et normale.
- Théorème d'interversion des limites.
- Continuité.
- Intégration terme à termes.
- Dérivation sous le signe somme.

20H

Séries entières

- Définition, lemme d'Abel, rayon de convergence.
- Etude sur le disque ouvert.
- Propriétés de la somme d'une série entière dans l'intervalle ouvert de convergence.
- Opérations sur les séries entières : série somme et série produit.
- Série de Taylor et développement en série entière de fonctions usuelles.
- Méthode de l'équation différentielle pour déterminer un développement en série entière.
- Recherche des solutions d'une équation différentielle sous forme de somme de série entière.
- Calcul de la somme d'une série entière.

20H

PHYSIQUE

Mineure - ondes électromagnétiques dans le vide

- Equations de Maxwell, énergie électromagnétique
- Propagation d'une onde plane progressive harmonique dans le vide
- Réflexion sur un conducteur parfait/guidage.

20H

Ondes électromagnétiques dans les milieux

- Ondes électromagnétiques dans un plasma
- Ondes électromagnétiques dans un conducteur
- Réflexion d'onde entre 2 milieux d'indices n_1 et n_2 .

15H

Forces de Laplace – induction

- Magnétostatique et forces de Laplace
- Induction électromagnétique
- Circuit fixe dans un champ magnétique dépendant du temps
- Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire
- Milieux magnétiques et transformateurs.

25H

CHIMIE

Stockage électrochimique et corrosion

- Complexe de coordination, réaction de complexation en solution
- Diagramme E-pH et E-pL
- Cinétique électrochimique : courbe I(E)
- Conversion énergie chimique / énergie électrique
- Corrosion en milieu humide.

Volumes TP

Introduction à l'usage d'un Dean Stark / méthodes de séparation : **4h**
Synthèse magnésienne : **4h**
Réactions d'oxydation/réduction en chimie organique : **4h**

20H

Stratégies de synthèse : de la théorie à la pratique

- **Réactivité en chimie** : principes généraux (structure électronique des molécules, nucléophiles, électrophiles, actes élémentaires, contrôle cinétique/thermodynamique).
- **Réactions de substitution et d'élimination avec les dérivés halogénés et les alcools** : mécanismes SN1, E1, SN2, E2
compétition SN / E : aspect stéréochimique, cinétique activation d'une fonction alcool par tosylation – synthèse de Williamson
- **Réactions d'addition sur les groupements carbonyles (aldéhydes et cétones)** : hydrures, eau, HCN ; Protection des groupements carbonyles par acétalisation ; Réaction d'aldolisation/cétolisation
- **Réactions d'addition électrophile** : Réaction d'addition sur les alcènes et alcynes selon règle de Markovnikov

Volumes TP

Ce module comportera au moins un TP de **4h**

40H

Cet enseignement vise à renforcer l'enseignement du Tronc commun afin que les étudiants acquièrent les connaissances fondamentales indispensables pour leur poursuite d'étude en école.
Le programme de cette UE reprend en large partie le programme de A2 du précédent programme.

SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR

Automatique

Modélisation :

- Transformée de Laplace.
- Fonctions de transfert.
- Diagramme de Bode.
- Notions sur le filtrage.
- Réponse temporelle de systèmes d'ordre 1 et 2.

Performances :

- Stabilité, précision, rapidité.
- Simulations Matlab/Simulink ou Scilab/scicos.

20H

Automatique (compléments)

- Correction par compensation de poles
- Correction par exploitation du diagramme de Bode
- Simulations
- Matlab/Simulink ou Scilab/scicos.

10H

Génie mécanique

Modélisation :

- Transformée de Laplace, fonctions de transfert, Diagramme de Bode, notions sur le filtrage.
Réponse temporelle de systèmes d'ordre 1 et 2.

Performances :

- Stabilité, précision, rapidité
- Simulations Matlab/Simulink ou Scilab/scicos.

30H

INFORMATIQUE

Mineure - graphes et arbres

- Exemple de mise en œuvre pour l'ordonnancement
- Projet « mineure info » (possibilité d'utiliser des interfaces graphiques).

20H

Objets et classes

Algorithmique pour l'Intelligence Artificielle (IA) :

- Heuristique, min/max
- Utilisation des graphes, stratégie gagnante, attracteurs.

Méthodes de Runge-Kutta pour la résolution numérique d'équations différentielles :

- Projet « Majeure info » :
- Possibilité d'utiliser des interfaces graphiques
- Mise en œuvre orientée vers un « jeu » avec IA.

40H

BIOLOGIE 1 :

Biochimie:

Biochimie structurale :

- Rôle important de l'eau dans la vie
- Les différents types de liaisons chimiques
- Les molécules organiques : glucides, lipides, protides.

Biochimie métabolique :

- Notions fondamentales d'enzymologie
- Notions fondamentales de métabolisme
- Rôle central de l'ATP et sa formation par respiration ou fermentation).

Les membranes :

- Rôle de barrière sélective et de communication inter-cellulaire
- Protéines membranaires telles que les canaux
- Protéines de transport, pompes, récepteurs, protéines d'adhérence.

60H

BIOLOGIE 2 :

Évolution, classification, et diversité des êtres vivants

Origine des espèces et histoire de la vie sur terre Evolution :

- Génétique des populations
- Evolution des populations
- Spéciation.

Diversité biologique du vivant :

- Virus, bactéries et archées : diversité des types trophiques, caractéristiques de la cellule bactérienne, dynamique de croissance des populations, eucaryotes
- Principes de classification (phylogénèse)
- Diversité des organismes eucaryotes : les grands règnes, acquisition de la photosynthèse, mobilité, pluricellularité
- Diversité du monde animal
- Physiologie humaine.

60H

ÉCOLOGIE

Mineure - écologie :

- Les différents biomes terrestres
- Notions de biodiversité / menaces sur la biodiversité
- Notion de services écologiques.

20H

GÉOSCIENCES

Mineure :

Séismes, Risques, Structure interne de la Terre :

- Séismes et risques associés.
- Ondes Pet S, tomographie sismique, en déduire le modèle PREM.
- Composants principaux de la planète.
- TP roches (calcaire, grès, schiste, granite, basalte, péridotite).

Dynamique de la planète Terre :

- Localisation séismes volcans et limites de plaques.
- Mouvements de ces plaques.

Enveloppes fluides :

- Climats, variabilités avec différentes échelles de temps.
- Présentation rapides des cycles de l'eau et du carbone.
- Lien avec la biosphère / notion de stockage.

Conclusion : Le temps en géologie :

- Mesures du temps (datation relative ou absolue).
- Paléoclimats.
- Carto, étude de la carte 1/1000000.

20H

LES MODULES THEMATIQUES S4 :

MODULE THEMATIQUE 1 : MATHÉMATIQUES FONDAMENTALES POUR L'INGENIEUR.

MODULE THEMATIQUE 2 : MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES.

MODULE THEMATIQUE 3 : NOUVEAUX PARAGDIMES DE PROGRAMMATION SCIENCES
DES DONNÉES.

MODULE THEMATIQUE 4 : GÉNIE INDUSTRIEL (Non fait à Nancy).

MODULE THEMATIQUE 5 : MÉCANIQUE DES MILIEUX CONTINUS.

MODULE THEMATIQUE 6 : GÉNIE MÉCANIQUE.

MODULE THEMATIQUE 7 : GÉNIE ÉLECTRIQUE.

MODULE THEMATIQUE 8 : ÉLECTRONIQUE.

MODULE THEMATIQUE 9 : PHYSIQUE CONTEMPORAINE.

MODULE THEMATIQUE 10 : ONDE ET MATIÈRE.

MODULE THEMATIQUE 11 : TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE.

MODULE THEMATIQUE 12 : CHIMIE ORGANIQUE.

MODULE THEMATIQUE 13 : GÉNIE DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS.

MODULE THEMATIQUE 14 : BIOLOGIE ANIMALE 1.

MODULE THEMATIQUE 15 : BIOLOGIE ANIMALE 2.

MODULE THEMATIQUE 16 : BIOLOGIE ANIMALE (bis).

MODULE THEMATIQUE 17 : BIOLOGIE VÉGÉTALE 1.

MODULE THEMATIQUE 18 : BIOLOGIE VÉGÉTALE 2.

MODULE THEMATIQUE 29 : BIOLOGIE VÉGÉTALE (bis)

MODULE THEMATIQUE 1 : MATHÉMATIQUES FONDAMENTALES POUR L'INGÉNIEUR

Cours 1 - Espaces vectoriels normés

- Topologie des espaces vectoriels normés
- Normes
- Boules et sphères
- Parties bornées d'un evn, voisinages, ouverts, fermés
- Comparaisons des normes
- Intérieur, adhérence, frontière
- Distance d'un point à une partie
- Suites dans un evn
- Limites, continuité, Continuité uniforme, fonctions lipschitziennes
- Continuité des applications linéaires, norme subordonnée
- Continuité des applications bilinéaires
- Compacité, complétude

24H

Cours 2 - Endomorphismes des espaces euclidiens

- Formes bilinéaires symétrique, matrice d'une forme bilinéaire
- Formes quadratiques, caractère positif et défini
- Endomorphismes orthogonaux avec étude cas $n=2$ et $n=3$, matrices orthogonales
- Endomorphismes symétriques, théorème spectral, matrices symétriques, symétriques positives, symétriques définies positives, lien avec le spectre.

16H

MODULE THEMATIQUE 2 : MATHÉMATIQUES APPLIQUÉS

Cours 1 - Intégrales multiples

1. **Intégrales doubles :**
 - Description hiérarchisée d'une partie fermée bornée.
 - Intégrale double.
 - Théorème de Fubini.
 - Un cas particulier : le domaine rectangle.
 - Propriétés des intégrales doubles.
 - Changement de variables.
 - Coordonnées polaires.
 - Formule de Green-Riemann.
2. **Intégrales triples :**
 - Description hiérarchisée d'une partie fermée bornée.
 - Changement de variables.
 - Coordonnées cylindriques.
 - Coordonnées sphériques.
3. **Intégrale curviligne :**
 - Formule de Green-Riemann.

20H

Cours 2 - Couples de variables aléatoires discrète et continues

- Notions sur les séries doubles convergentes.
- Loi conjointe d'un couple de variables aléatoires.
- Lois marginales.
- Fonction de répartition d'un couple de variables aléatoires.
- Lois conditionnelles.
- Indépendance.
- Loi de $f(X, Y)$ où f fonction à valeurs réelles. **Exemple :** loi de $X + Y$.
- Théorème de transfert, Variance d'une somme.
- Covariance et propriétés. Coefficient de corrélation.

20H

MODULE THEMATIQUE 3 : NOUVEAUX PARADIGMES DE PROGRAMMATION SCIENCES DES DONNÉES

Cours 1 - Programmation fonctionnelle et initiation à un autre langage de haut niveau

- Initiation à un langage de programmation présentant des aspects fonctionnels : ocaml ou haskell en priorité, ou éventuellement un dialecte de lisp (eg scheme / racket / clojure).
- Principes de la programmation fonctionnelle : Absence d'effets de bords, fonctions en tant qu'objets de première classe, curryfication, stratégies d'évaluation (stricte ou paresseuse, appel par nom, par valeur).
- Utilisation avancée de la récursivité : définition de types récursifs (list, arbre), induction, récursivité terminale et style de programmation par continuations,
- Motifs et filtrage, travailler sur des données en programmation fonctionnelle : map, reduce/fold.
- Application possible avec un petit TP / projet type IA (en veillant à éviter les redondances avec le programme de la majeure informatique au S3). Exemple de sujet possible : backtracking

20H

Cours 2 - Programmation concurrente

- Notion de fil d'exécution (thread) : création, attente de terminaison
- Non-déterminisme de l'exécution
- Problèmes posés par la mémoire partagée
- Synchronisation de fil d'exécution : interblocage, équité, rendez-vous, producteur-consommateur
- Algorithme de Peterson (2 fils d'exécution) et algorithme de la Boulangerie (Lamport)

20H

Cours 3 - Sciences des données et apprentissage statique

- Formats de données plus ou moins structurées (csv et/ou json).
- Web scraping (en Python avec le module "Beautiful Soup").
- Parsing et transformation de données (Python avec le module "pandas").
- Analyse et visualisation de données (statistiques élémentaires, graphiques en Python).
- Apprentissage statistique élémentaire avec des méthodes type LDA / PCA ou modèles linéaires.

20H

MODULE THEMATIQUE 4 : GÉNIE INDUSTRIEL

Cours 1 : Recherche opérationnelle

- Le cours de Recherche Opérationnelle propose une initiation aux méthodes d'optimisation et aux outils informatiques et mathématiques pour l'aide à la décision.
- Programmation linéaire (modélisation, dualité).
- Programmation linéaire en nombres entiers (techniques de modélisation).
- Théorie des graphes, modélisation des problèmes d'optimisation.
- Cheminements et chemins eulériens.
- Arbres couvrants, coloration, couplage.

Compétences développées :

- Reconnaître une situation où la Recherche Opérationnelle est pertinente.
- Appréhender les principaux outils de la recherche opérationnelle.
- Disposer des éléments méthodologiques pour choisir, face à un problème pratique, les méthodes de résolution et les outils les plus adaptés.
- Savoir manipuler les outils informatiques pour résoudre des problèmes d'optimisation discrète.

20H

Cours 2 : Ingénierie systèmes

1. Qu'est un système ? Qu'est un projet de conception en industrie ?
 - Le système : composant, fonctions, interface, environnement, utilisateurs, interacteurs, système physique/numérique, système unique/produit, complexité, propriétés/comportement émergent.
 - Le projet : les parties prenantes, le phasage "classique", les activités d'un projet de conception.
2. Spécification du besoin de l'utilisateur / des parties prenantes :
 - Eliciter le besoin, étude des cas d'utilisation.
 - Les phases de vie d'un système et leur contexte, représentation simple des cas d'utilisation via Use case diagram de SysML, Concepts d'exigence et de spécification.
 - Spécification de comportement (comportements séquentiels et discrets).
3. Architectures fonctionnelles :
 - Représentation avec SysML.
 - Fonctions, type de fonctions, interfaces, alternative, formalisme de modélisation.
 - Lien avec les exigences / évolution de la spécification, Définition des performances attendues.
4. Architectures « physique » :
 - Alternatives, lien avec les archis fonctionnels.
 - PBS et formalisme de représentation avec SysML.
 - Lien avec les exigences/ évolution de la spécification
5. Acteurs de l'ingénierie :
 - Jeux d'acteurs : coopération et alignement sur la stratégie d'entreprise. Comportements en conception en équipe, biais cognitifs, postures.

20H

MODULE 5 THEMATIQUE : MÉCANIQUE DES MILIEUX CONNUS

Cours 1 - Mécanique des milieux continus défavorables

- 1. Notion de contraintes, de déformation et lois de comportement :**
 - Essai de traction uniaxiale.
 - Essai de cisaillement (module de cisaillement G).
 - Moyens de mesures des contraintes et des déformations (jauges d'extensométrie, capteur de force, corrélation d'images).
- 2. Loi de comportement généralisée :**
 - Tenseur des contraintes et des déformations.
 - Loi de Hooke généralisée.
 - Contraintes et déformations principales - Directions principales.
 - Équations d'équilibre, conditions aux limites.
- 3. Applications aux problèmes d'élasticité :**
 - Élasticité linéaire isotrope voire anisotrope dans des cas très simples.
- 4. Discontinuités géométriques, défauts : Notion de concentration de contraintes :**
 - Approche théorique et avec utilisation d'abaques sur des essais de traction simple.
 - Travaux pratiques : Essai de traction sur des matériaux élastiques facilement déformables.

20H

Cours 2 : Mécanique des fluides

- 1. Rappels et compléments de cinématique des fluides :**
 - Débits, écoulements potentiels, loi de Bernoulli instationnaire, fonction de courant.
- 2. Théorème de la quantité de mouvement :**
 - Notions de tenseur : tenseur gradient des vitesses, des contraintes, des contraintes visqueuses, vecteur contrainte.
 - Equation d'Euler, modèle du fluide newtonien incompressible, équation de Navier Stokes Conditions aux limites cinématiques et dynamiques.
 - Applications à des écoulements simples : cisaillement simple, écoulement extensionnel, écoulement de Poiseuille, écoulement à l'air libre...
- 3. Bilans de quantité de mouvement et bilans d'énergie Loi de Bernoulli généralisée, pompes et turbines.**
- 4. Pertes de charge régulières :**
 - Loi de Poiseuille en régime laminaire, loi de Blasius en écoulement turbulent et conduite lisse Rugosité, abaque de Moody pour les conduites rugueuses.
 - Pertes de charge singulières.

20H

MODULE 6 THEMATIQUE : GÉNIE MÉCANIQUE

Cours 1 - Résistance des matériaux

1. Torseur des efforts intérieurs, lien avec la MMC (tenseur des contraintes).
2. Liaisons, isostatisme.
3. Caractéristiques des sections droites, moment quadratique.
4. Problème de Saint Venant : expression du tenseur des contraintes dans le cas de la traction/compression et de la flexion pure.
5. Treillis : isostatisme extérieur/intérieur, méthode des nœuds, méthode de Crémona.
6. Élasticité linéaire.

20H

Cours 2 - Théorie des mécanismes

1. **Etude des mouvements dans les mécanismes :**
 - Rappels graphe de structure, torseur cinématique, schéma cinématique.
 - Représentation engrenages, poulies/courroies.
 - Fermeture géométrique, fermeture cinématique, loi entrée/sortie en position, en vitesse.
 - TP : Etude simple du mouvement de mécanismes.
2. **Etude des efforts dans les mécanismes :**
 - Rappels torseur statique, co-moment des torseurs (puissance) et pertes.
 - Loi entrée sortie en statique. Hyperstatisme des chaînes fermées.
 - Solutions de liaisons (pivot avec roulements, paliers ; encastrement ; engrenages), vocabulaire et lecture avancée de plans.
 - App TP : Etude des efforts et dimensionnements simples des mécanismes.

20H

MODULE THEMATIQUE 7 : GÉNIE ÉLECTRIQUE

Cours 1 - Electrotechnique

- Systèmes triphasés :**
 - Rappels et compléments sur les circuits en régime sinusoïdal forcé.
 - Système triphasé équilibré.
 - Intérêt du triphasé - nécessité de la gestion du réseau.
 - Introduction aux systèmes triphasés déséquilibrés.
- Circuits magnétiques :**
 - Rappels d'électromagnétisme.
 - Circuits magnétiques.
 - Enroulement alimenté par une tension sinusoïdale.
- Le transformateur monophasé :**
 - Le transformateur parfait.
 - Modélisation du transformateur réel à partir du transformateur parfait et de la modélisation d'un enroulement.
 - Le transformateur réel dans l'hypothèse de Kapp.
 - Pertes et rendement d'un transformateur.

20H

Cours 2 - Conversions dynamique et statique

- Convertisseurs électro-mécaniques :**
 - Bilans énergétiques, Exemple d'un convertisseur électro-mécanique à simple excitation.
 - Restriction au convertisseur conservatif, Energie magnétique - coénergie.
 - Expression de la force selon une direction ou d'un couple autour d'un axe.
 - Fonctionnement cyclique d'un convertisseur – énergie mécanique développée au cours d'un cycle.
 - Cas du système à double excitation, Mise en équation.
 - Exemple : cas d'un système à circuit magnétique linéaire - utilisation de la matrice inductance.
 - Etude de la machine à courant continu.
- Convertisseurs statiques :**
 - Les différents types de conversion, Conversions alternatif/continu - continu/continu - continu/alternatif - alternatif/alternatif.
 - L'électronique de puissance est une électronique de commutation.
 - Contrainte de la commutation sur la nature de la source et la nature de la charge.
 - Convertisseur à liaison directe ou indirecte, Schéma de principe des convertisseurs monophasés à liaison directe.
 - Application aux conversions, Etude de l'interrupteur idéal, Commutation et mode de commande.
 - Cycle de fonctionnement des interrupteurs : uni/bi-directionnalité en courant ou tension.
 - Introduction aux composants de commutation de l'électronique de puissance
 - Etude détaillée de la conversion continu-continu ou alternatif -continu
 - Détermination de la nature des interrupteurs à partir du principe du convertisseur monophasé.
 - Réalisation technologique, Loi de commande des interrupteurs.
 - Application à l'alimentation d'une machine à courant continu
 - Mise en œuvre en TP ou en simulation.

20H

MODULE THEMATIQUE 8 : ÉLECTRONIQUE

Cours 1 - Electronique analogique

CHAPITRE 1 - L'AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL :

1. Généralités : Présentation du composant, Caractéristiques, Régimes de fonctionnement.
2. Modélisation fonctionnelle.
3. Bouclage en contre réaction : montage linéaire.
 - Gain en boucle fermée : Fonctionnement en zone linéaire.
 - Effet de la contre-réaction.
 - Amplificateur opérationnel idéal.
 - Application : montage Suiveur, adaptation d'impédance.
4. Montages linéaires :
 - Amplificateur non inverseur et inverseur.
 - Sommateur.
 - Amplificateur différentiel.
 - Convertisseur courant - tension.
 - Montage intégrateur et dérivé.
 - Montage Log et Anti-log : Application montage multiplicateur.
5. Montages non linéaires :
 - Comparateur / Comparateur à hystérésis.
 - Montage astable.

CHAPITRE 2 - L'ANALOGIQUE VERS LE NUMÉRIQUE :

6. Présentation de l'électronique numérique.
7. Présentation simplifiée du transistor MOS en commutation.
8. Logique CMOS.
9. Application : Convertisseur CAN Flash.

20H

Cours 2 - Electronique numérique

- Numération binaire : codage binaire.
- Entier non signé / Entier signé : complément.
- Nombre décimaux/ Nombre flottant :
- Circuit combinatoire.
- Circuit séquentiel.
- Structure générale.
- Mémoire : Bascule D.
- Compteur.
- Structure générale simplifiée d'un Processeur.
- Unité de calcul.
- Mémoire et bus.
- Unité de commande.
- Commande machine et assembleur.
- Micro-contrôleur : informatique industrielle.
- Ecriture et lecture d'un PORT.
- Programmation et Notion d'interruption.
- TP : Utilisation d'une carte raspberry.

20H

MODULE THEMATIQUE 9 : PHYSIQUE

CONTEMPORAINE

Chaque site choisit 2 cours parmi les 3 en fonction des enseignants disponibles et des écoles impliquées.

Cours 1 - Physique quantique

1. Historique et naissance de la physique quantique.
2. Dualité onde-corpuscule :
 - Constante de Planck - Régime quantique - Inégalités d'Heisenberg.
 - Quantons et fonction d'onde - Interférences d'électrons.
3. Formalisme quantique :
 - Rappel sur les ondes électromagnétiques.
 - Equation de Schrödinger.
 - Vecteurs d'états, grandeurs physiques et opérateurs.
4. Electron dans un potentiel :
 - Marche de potentiel, barrière de potentiel, effet tunnel, puits de potentiel infini.
 - Potentiel coulombien : couches électroniques dans les atomes.
5. Systèmes à 2 états :
 - Spin de l'électron.
 - Molécule H_2^+ - Molécule de benzène.

20H

Cours 2 - Relativité restreinte / Physique nucléaire

1. Relativité restreinte :
 - Contexte historique, expérience de Michelson, postulats de la relativité restreinte
 - Relativité du temps et de l'espace : durée propre, dilatation des durées, contraction des longueurs.
 - Transformation de Lorentz spéciale
 - Quadrivecteurs vitesse, quantité de mouvement, force, d'onde
 - Énergie de masse, énergie cinétique
 - Conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement
 - Masse d'un système de particules en interaction. Énergie de liaison et réactions nucléaires.
2. Modèle du noyau atomique :
 - Bilan énergétique - Premiers calculs d'énergie cinétique de sortie
 - Modèles du noyau : goutte liquide, structure en couches
3. Les réactions nucléaires :
 - Méthodes et outils de calcul, Réactions induites par neutron, fission
4. Les désintégrations radioactives :
 - Modèles théoriques et propriétés, Calculs d'évolution pratiques

20H

Cours 3 : Physique statistique

1. Historique, ordres de grandeur et influence des « grands nombres ».

2. Système à l'équilibre thermodynamique, entropie statistique.
3. Facteur de Boltzmann et systèmes à spectre discret d'énergie.
4. Capacités thermiques classiques des gaz et des solides.

20H

MODULE THEMATIQUE 10 : ONDE ET MATIÈRE

Cours 1 - Milieux diélectriques et polarisation

1. Aspects macroscopiques :
 - Vecteurs polarisation P et déplacement D . Théorème de Gauss pour D . Relation de passage entre deux milieux. Potentiel et champ créés par un milieu uniformément polarisé.
 - Milieux diélectriques linéaires. Susceptibilité diélectrique. Permittivité relative. Exemple du condensateur à lame diélectrique.
2. Aspects microscopiques :
 - Polarisabilité : électronique, atomique, ionique, dipolaire. Champ local (de Lorentz).
 - Propagation d'une onde électromagnétique dans un diélectrique :
 - Milieux isotropes (modèle de Drude-Lorentz, variations de la constante diélectrique et de l'indice de réfraction, indice complexe).
 - Milieux anisotropes uniaxes (plan de polarisation et plan d'onde, lignes neutres, action d'une lame à retard sur une polarisation donnée, analyse d'une lumière polarisée, interférences en lumière polarisée).

20H

Cours 2 - Lasers, diffraction, réseaux

1. Interférences à N ondes :
 - Réseau (définition ; réseau de N fentes infiniment fines ; formule fondamentale des réseaux).
 - Interféromètre de Fabry-Perot.
2. Diffraction à l'infini (Fraunhofer) :
 - Rappels (notion abordée en tronc commun S4)
 - Diffraction et transformée de Fourier. Filtrage optique (expérience d'Abbe, strioscopie, détramage)
3. Introduction à la physique du laser

20H

MODULE THEMATIQUE 11 : TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE

Cours 1 - Thermodynamique

- Grandeurs, interfaces, équilibres chimiques et applications industrielles.
- Propriétés thermodynamiques des corps purs : du microscopique au macroscopique.
- Thermodynamique des interfaces.
- Diagrammes d'équilibre de phases des systèmes binaires et ternaires.

20H

Cours 2 - Matériaux : de la synthèse aux applications

1. Voies de synthèse.
2. Caractérisation des matériaux :
 - Cristallographie - Diffraction des rayons X.
 - Analyses thermiques (DSC, ATG).
 - Analyses mécaniques.
 - Spectroscopies IR, Raman.
 - Analyse élémentaire (absorption atomique).
 - Chromatographies.
3. Propriétés physiques et physico-chimiques :
 - Relations structure - microstructure - composition - propriétés des matériaux.
 - Relations microstructure-propriétés mécaniques des alliages métalliques.
 - Relations structure cristallographique - propriétés physico-chimiques.
 - Relations composition chimique - propriétés physiques.

16H

MODULE THEMATIQUE 12 : CHIMIE ORGANIQUE

Partie 1 - Orbitales moléculaires et réactivité

- Contrôle orbitaire et théorie des orbitales frontières.
- Réaction de Mickaël.
- Introduction à la réaction de Diels-Alder et cycloadditions.

10H

Partie 2 - Réactivité des fonctions trivalentes

- Principes généraux : mécanisme addition élimination.
- Fonctions à traiter avec des exemples d'application industrielle : acides carboxylique, chlorure d'acyle, ester, anhydride, ester, amide.

10H

Partie 3 - Stratégie de synthèse, applications au contexte industriel et à la chimie du vivant

1. Protection de fonction :
 - Protection de la fonction alcool : ethers, ethersilylés.
 - Protection de la fonction amine : carbamate BOC et Cbz.
 - Protection des diols : isopropylidène et benzylidène acétal.
 - Protection de la fonction acide : ester.
2. Chimiosélectivité et notion de rétrosynthèse, la synthèse vers l'arrière.
 - La synthèse en action :
 - Synthèse d'un principe actif (exemple : lidocaïne ou autre)
 - Synthèse d'un peptide (exemple : aspartame ou autre)
 - Synthèse d'un disaccharide.

10H

Partie 4 - Caractérisation des molécules organiques

- Caractérisation d'une molécule organique par IR / UV / RMN.
- Mise en œuvre et exploitation des spectres.

10H

MODULE THEMATIQUE 13 : GÉNIE DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS

Partie 1 - Procédés de synthèse existants

- Généralités sur l'histoire du génie des procédés.
- Exemple sur un flowsheet d'atelier simple.
- Le procédé Leblanc en escape game.
- Projet en petits groupes.

10H

Partie 2 - Bilans

- Théorie et méthodologie : matière et notions pour chaleur.
- Exemple sur un TP (évaporateur ou extraction LL avec colorant).
- Bilans sur flowsheet.

10H

Partie 3 - Génie des réacteurs

- Rôle du réacteur en atelier de production ; exemples de technologies industrielles.
- Les modèles "idéaux" de réacteur + bilans sur réacteurs.
- TP Distribution des Temps de Séjour (DTS) et/ou TP réacteur.

10H

Partie 4 - Séparation

- Les différentes techniques de séparation.
- Thermodynamique pour séparation par différence de volatilité.
- Fonctionnement et principe de dimensionnement d'une colonne à distiller.
- TP distillation ou projet.

10H

MODULE THEMATIQUE 14 : BIOLOGIE ANIMALE 1

Reproduction sexuée et Développement des organes

- Développement et reproduction

10H

Division cellulaire, génétique des Eucaryotes, transgénèse, mutagenèse et clonage

10H

Tissus animaux, matrice extracellulaire, différenciation et contraction musculaire

10H

Communication nerveuse, hormonale et immunitaire chez l'Homme

10H

MODULE THEMATIQUE 15 : BIOLOGIE ANIMALE 2

De la cellule à l'organisme : développement embryonnaire

20H

Notions de physiologie humaine et animale

- Comprendre les fondamentaux de la physiologie du système nerveux, de l'appareil respiratoire, cardio-vasculaire, digestif et urinaire
- Réaliser un travail en groupe pour la production d'un support visuel et d'une présentation orale en lien avec le cours.

20H

MODULE THEMATIQUE 16 : BIOLOGIE ANIMALE
(bis)

MODULE THEMATIQUE 17 : BIOLOGIE VEGETALE

1

Description d'une Angiosperme

- Croissance et germination
- Les différents types de tissus

?H

Nutrition hydrique et minérale

- Rappel sur les tissus conducteurs ; maîtrise de la notion de potentiel hydrique et des mouvements passifs d'eau au niveau de la plante et d'un écosystème en général : cycle de l'eau.
- Prélèvement de l'eau et des sels minéraux (potentiel hydrique, systèmes HATS/ LATS)
- Mécanismes de circulation des sèves.
- Adaptation aux conditions journalières et globales changeantes. Focus sur les problèmes d'alimentation hydrique en cas de sécheresse/inondation (analyses de données et interprétations).
- Symbioses (mycorhizes, nodosités)
- Mécanismes de circulation des sèves

?H

Nutrition carbonée – Photosynthèse

- Notions de nutrition carbonée et d'assimilation du carbone
- Photosynthèse, métabolismes C3, C4 et CAM. Relation avec les conditions environnementales (température et disponibilité en eau)
- Synthèse et transport des sucres.
- Organes végétatifs de réserve et développement d'un nouvel individu

?H

MODULE THEMATIQUE 18 : BIOLOGIE VEGETALE

2

Développement des plantes et adaptation à l'environnement

- La germination, une étape clé en agronomie (caractéristiques de la graine et réponse à l'environnement)
- La plantule : comment va-t-elle chercher la lumière, contourner les obstacles ... les tropismes. Perception du signal et réponses hormonales
- La plante : l'adaptation aux stress abiotiques
- La dominance apicale, pourquoi et quels processus (lumière, blessure, auxines, cytokinines) la carence minérale : perception et réponses, contrôle du développement, interaction avec les mycorhizes. Rôle des hormones strigolactones, auxines, cytokinines.
- La floraison : la vernalisation, la photopériode

10H

Perception du milieu (lumière, gravité, voisins, sons etc...)

10H

Réponse adaptative et communication hormonale

10H

Rôle de l'environnement dans la mise à fleur

10H

Reproduction des angiospermes : fleurs, botanique, graines et fruits

10H

MODULE THEMATIQUE 19 : BIOLOGIE VEGETALE
(bis)