

ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE

DEPARTEMENT DES MATERIAUX

LIVRET DES COURS

ANNEE ACADEMIQUE 1977 - 1978

TABLE DES MATIERES

A. DOCUMENTS GENERAUX

Plan d'étude	I
Liste des branches des examens propédeutiques et des épreuves de diplôme 1978	II
Règles pour le choix des cours à options, des projets de 2ème cycle et du sujet du travail pratique de diplôme	III

B. CONTENU DES COURS

Cours No

0. Mathématiques

Analyse I et II	1
Analyse III	2
Algèbre linéaire et géométrie	3
Probabilité et statistique	4
Programmation	5

1. Mécanique, physique, électricité

Mécanique générale	10
Résistance des matériaux	11
Mécanique fondamentale des fluides	12
Physique générale	13
Physique générale TP	14
Introduction à la physique du solide	15
Transfert de chaleur et de masse	16
Electrotechnique	17
Électronique	18
Instrumentation électronique	19

2. Chimie

Chimie générale	20
Chimie des polymères	21
Thermodynamique I et II	22
Chimie physique TP	23

Table des matières

	<u>Cours No</u>
3. <u>Construction</u>	
Construction des machines	30
Dessin et projets	31
Introduction à la construction	32
TP de construction	33
4.- 5. <u>Matériaux</u>	
Introduction à la science des matériaux	40
Matériaux TP	41
Cristallographie, diffraction	42
Métallurgie générale	43
Technologie des bétons et mortiers	44
Polymères, structure, propriétés	45
Céramiques, structure, propriétés	46
Transformations de phase	47
Mécanique des déformations et des ruptures	48
Corrosion et protection des métaux	49
Physique métallurgique I	50
Physique du bâtiment	51
Elaboration des métaux	52
Métallurgie des soudures	53
Mise en forme des métaux	54
Polymères, mise en oeuvre	55
Céramiques, mise en oeuvre	56
Méthodologie du choix des matériaux	57
6. <u>Projets</u>	
Collaboration 1er cycle - 2e cycle	60
Projets de 2e cycle	61

Table des matières

	<u>Cours No</u>
7. <u>Cours à options A *</u>	
Métallurgie des soudures II	70
Polymères, chapitres choisis	71
Matériaux du génie civil, chapitres choisis	72
Electrochimie appliquée	73
Céramiques, chapitres choisis	74
Métallurgie des poudres	75
8. <u>Cours à options B **</u>	
Introduction au génie atomique	80
Physique des semiconducteurs	81
Mécanique des roches	82
Introduction à l'architecture	83
Microscopie électronique	84
Physique métallurgique II	85
9. <u>Sciences humaines, droit</u>	
Sciences humaines	90
Législation industrielle	91

* Cours à options offerts par le Département des Matériaux

** Cours à options donnés par d'autres Départements que celui des Matériaux

**LISTE DES BRANCHES DES EXAMENS PROPEDEUTIQUES
ET DES EPREUVES DE DIPLOME 1978**

ARTICLE PREMIER : En application des articles 1 et 9 du Règlement général des examens de diplôme, adopté le 18 juin 1969 par le Conseil des professeurs, les trois parties des épreuves du diplôme d'ingénieur-mécanicien comprennent les branches suivantes :

Première partie

Examen propédeutique I

<u>Branches</u>	<u>(PI)</u>	<u>coefficient</u>
a) analyse (écrit et oral)		1
b) mécanique générale		1
c) chimie générale		1
d) métallurgie générale		1

La note PI s'obtient par le calcul de la moyenne des valeurs attribuées aux branches ci-dessus.

Deuxième partie

Examen propédeutique II

<u>Branches</u>	<u>(PII)</u>	<u>coefficient</u>
a) physique générale		1
b) résistance des matériaux		1
c) thermodynamique		1
d) cristallographie		1

La note PII s'obtient par le calcul de la moyenne des valeurs attribuées aux branches ci-dessus.

Troisième partie

Examen final

L'examen final comprend des épreuves générales et un travail de spécialité.

a) Epreuves générales (EG)

Les épreuves portent sur six branches obligatoires et sur une branche à choisir par le candidat entre quatre options.

BRANCHES OBLIGATOIRES

- a) mécanique des déformations et des ruptures
- b) transformations de phase
- c) protection et corrosion des métaux
- d) polymères
- e) céramiques
- f) bétons et mortiers

BRANCHES A OPTION

- 1) soudure et mise en forme des métaux (orientation mécanique)
- 2) physique du bâtiment et matériaux du génie civil (orientation génie civil)
- 3) physique métallurgique (orientation métallurgie)
- 4) électrochimie et élaboration des métaux (orientation chimie appliquée)

b) Travail de spécialité (TS)

Ce travail permettra à l'étudiant d'appliquer l'ensemble de ses connaissances dans le domaine de son choix.

Le travail de spécialité fait l'objet d'une seule note, TS.

Lorsque ce travail pourrait être jugé satisfaisant, moyennant un complément de prestation du candidat, le jury peut exiger des études supplémentaires sous une forme et dans un délai déterminé qui n'excède pas trois mois. Dans ce cas, la note définitive est fixée par le jury, après la présentation du complément.

La durée du travail de spécialité, fixée par la Direction de l'Ecole, est de deux mois. Le délai de remise du travail peut être exceptionnellement reporté en cas de force majeure, moyennant l'accord de la Direction.

ARTICLE 2 : La note de l'examen final s'obtient en calculant la moyenne des notes EG et TS.

ARTICLE 3 : Le bulletin final des épreuves de diplôme sera complété par les indications suivantes :

- a) moyenne du premier propédeutique, PI
- b) moyenne du deuxième propédeutique, PII

ARTICLE 4 : Pour toutes les autres dispositions du règlement de diplôme, voir le Règlement général des examens de diplôme du 18 juin 1969.

1) Notice concernant le plan d'études de 4ème année

En 4ème année, l'enseignement du tronc commun comprend 280 heures de cours et 30 heures de travaux pratiques. Il est complété par des options qui représentent au moins 120 heures de cours et 280 heures de projets.

L'étudiant choisit 2 options de type A au moins (options offertes par le Département des Matériaux) et complète son programme par des options de type B (cours d'autres Départements).

**REGLES POUR LE CHOIX DES COURS A OPTIONS, DES PROJETS DE 2ème CYCLE
ET DU SUJET DU TRAVAIL PRATIQUE DE DIPLOME**

1. L'étudiant effectue quatre projets de 2ème cycle (projets A, B, C et D), dans des domaines différents et dirigés par des professeurs différents.
2. Un des projets de 8ème semestre "A" est effectué dans le domaine choisi par l'étudiant pour son travail pratique de diplôme.
3. La répartition des heures consacrées à chaque projet peut se faire selon l'un des trois schémas ci-dessous :

Semestre		6	7	8	Diplôme
Nombre total d'heures		40	60	160	8 semaines
SCHEMA 1	Projet A			120	Travail pratique
	Projet B			40	
	Projet C		60		
	Projet D	40			
SCHEMA 2	Projet A		60	80	Travail pratique
	Projet B			40	
	Projet C			40	
	Projet D	40			
SCHEMA 3	Projet A	40		80	Travail pratique
	Projet B			40	
	Projet C			40	
	Projet D		60		

4. A la fin du 6ème semestre, l'étudiant choisit, avec l'accord de son conseiller d'études, une orientation parmi celles définies dans le plan d'études du DMX. Quatre orientations figurent au plan d'études 1977/78 :

- construction mécanique
- génie civil
- métallurgie
- chimie appliquée

Correspondant à un domaine d'activités professionnelles très large, ces orientations facilitent un choix cohérent des cours à options de dernière année, des projets de 2ème cycle, de la branche à options des épreuves générales et du travail pratique du diplôme.

Avec l'accord des professeurs intéressés et du chef de département, l'étudiant pourra choisir une autre orientation à la fin du 7ème semestre, si des raisons valables motivent ce changement.

5. Les domaines dans lesquels les quatre projets A, B, C et D doivent être choisis correspondent, en principe et dans les grandes lignes, aux domaines d'enseignement du 2ème cycle des professeurs du DMX :

I.	Métallurgie des soudures	J.J. Chêne
II.	Bétons et mortiers et autres matériaux du génie civil	J.P. Delisle
III.	Polymères	H.H. Kausch
IV.	Métallurgie physique	W. Kurz
V.	Métallurgie chimie	D. Landolt
VI.	Céramiques	A. Mocellin
VII.	Métallurgie mécanique	J. Paschoud

6. Certains projets de 8ème semestre peuvent être dirigés à la fois par deux professeurs, dont l'un au moins appartient au DMX.

Avec l'accord du conseiller d'études et du chef de département, le travail pratique de diplôme peut se faire sous la direction d'un professeur d'un autre département.

7. Collaboration 1er cycle - 2ème cycle

Dans le cadre de leur projet A, les étudiants de 8ème semestre doivent prendre en charge un ou deux étudiants de 2ème année et les intéresser à leurs travaux. Le professeur responsable du projet A veille à ce que ces étudiants de 2ème année soient intelligemment utilisés.

ANALYSE I & II

Professeur : H. Matzinger

1er semestre : Cours 60 heures + Exercices 60 heures (4 h + 4 h par semaine)
Obligatoire

1. Limites

Limite d'une suite. Limite d'une fonction. Fonctions continues.

2. Les nombres complexes

Définition. Opérations élémentaires. Puissances et racines. Les formules d'Euler. Fonctions hyperboliques. Décomposition d'un polynôme en facteurs. Représentation complexe des oscillations harmoniques.

3. Calcul différentiel (fonction d'une variable)

Dérivées. Méthodes de calcul de dérivées. Dérivées du logarithme et des fonctions exponentielles. Les fonctions trigonométriques inverses, les fonctions hyperboliques inverses. Dérivées d'ordre supérieur. Quelques limites. Etude de fonctions. 'Maxima et minima'. Approximation linéaire d'une fonction, propagation d'erreurs. Différentielles. Courbes données sous forme paramétrique.

4. Intégrales

L'intégrale définie. L'intégrale indéfinie. L'intégration de fonctions rationnelles (rapport entre intégrales définies et intégrales indéfinies). Le 'théorème fondamental du calcul intégral'. Intégrales généralisées (intégrales improches). Applications diverses du calcul intégral.

5. Approximation (locales) de fonctions, séries de Taylor

Approximation par des polynômes. Formule de Taylor. Séries de Taylor.

6. Calcul différentiel de fonctions de plusieurs variables

Fonctions de plusieurs variables, dérivées partielles. Dérivée suivant une direction donnée, le gradient. Approximation locale, séries de Taylor. 'Maxima et minima'. Extrema liés.

2ème semestre : Cours 40 heures + Exercices 40 heures (4 h + 4 h par semaine)
Obligatoire

(Voir suite en page suivante)

2ème semestre : Cours 40 heures + Exercices 40 heures (4 h + 4 h par semaine)
Obligatoire

7. Intégrales multiples

Intégrales doubles. Changement de variables dans une intégrale double. Intégrales triples. Intégrales curvilignes.

8. Equations différentielles : généralités et exemples

Introduction, premières méthodes de solution. La différentielle totale. Familles de courbes, enveloppe, équation de Clairaut. Existence et unicité des solutions d'équations différentielles du 1er ordre.

9. Equations différentielles linéaires à coefficients constants

Equations différentielles linéaires du premier ordre. Equations différentielles linéaires du second ordre à coefficients constants (équation sans second membre) $y''+ay'+by=0$. Equations différentielles linéaires du second ordre à coefficients constants (équation avec second membre) $y''+ay'+by=f(x)$. Equations différentielles linéaires à coefficients constants d'ordre n. Problèmes aux limites. Equation d'Euler.

ANALYSE III

Professeur : K. Arbenz

3ème semestre : Cours 45 heures + exercices 30 heures (3 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Analyse Vectorielle

Algèbre vectorielle. Différentiation vectorielle. Gradient, divergence et rotationnel. Intégration vectorielle, théorème de la divergence, théorème de Stokes et autres théorèmes concernant les intégrales. Coordonnées curvilignes. Applications.

2. Séries de Fourier

Fonctions périodiques, séries de Fourier. Fonctions paires et impaires, série de Fourier en cosinus ou sinus. Notation complexe pour les séries de Fourier. Fonctions orthogonales, égalité de Parseval.

3. Intégrale de Fourier

L'intégrale de Fourier. Transformées de Fourier. Théorème de la convolution. Applications.

4. Calcul opérationnel

Transformée de Laplace unilatérale et bilatérale, théorèmes de transformation. Dictionnaire d'images. Décomposition en éléments simples d'une fonction rationnelle. Exemples de résolution des équations différentielles aux coefficients constants.

ALGEBRE LINEAIRE ET GEOMETRIE**Professeur : R. Cairoli**

1er semestre : Cours 30 heures + Exercices 30 heures (2 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Espaces vectoriels

Introduction. Vecteurs. Combinaisons linéaires. Générateurs. Dépendance et indépendance linéaires. Notions de base et de dimension. Produit scalaire. Produit vectoriel. Produit mixte. Définition et premières propriétés des déterminants.

2. Applications linéaires et matrices

Applications linéaires. Matrice d'une application linéaire. Composée et inverse d'applications linéaires. Produit de matrices. Matrices inversibles. Matrice d'un changement de base. Transformation de la matrice d'une application linéaire dans un changement de base.

3. Systèmes d'équations linéaires

Rang d'une matrice. Systèmes homogènes. Systèmes inhomogènes.

4. Déterminants

Définition. Propriétés. Développements suivant une ligne ou une colonne. Règle de Cramer. Calcul de l'inverse d'une matrice. Volume d'un parallélépipède de dimension n.

2ème semestre : Cours 20 heures + Exercices 20 heures (2 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Valeurs propres et vecteurs propres

Définitions et premières propriétés. Polynome caractéristique d'une matrice. Diagonalisation d'une matrice. Matrices semblables.

2. Opérateurs linéaires dans les espaces euclidiens

Isométries et matrices orthogonales. Opérateurs linéaires symétriques. Déplacements. Similitudes. Affinités.

3. Réduction des formes quadratiques

Formes quadratiques. Réduction quadriques et coniques. Surfaces de révolution. Représentation graphique des quadriques. Ellipsoïde d'inertie.

PROBABILITE ET STATISTIQUE

Professeur : A. Ruegg

3ème semestre : Cours 15 heures + Exercices 15 heures (1 h + 1 h par semaine)
Obligatoire

1. Espaces de probabilité discrets et continus. Variables aléatoires.
Densité de probabilité et fonction de répartition. Espérance mathématique et variance.
 2. Probabilités conditionnelles et événements indépendants. Formule de probabilités totales.
 3. Exemples de lois de probabilité bidimensionnelles. Corrélation.
 4. Approximation de la loi binomiale par la loi normale et par la loi de Poisson.
 5. Estimation de la moyenne d'une variable aléatoire
-

PROGRAMMATION

Professeur : Ch. Rapin

4ème semestre : Cours 10 heures + exercices 20 heures (1 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Notion d'algorithme
2. Programmation d'un algorithme dans un langage évolué
3. Etude succincte d'un langage particulier
Instructions. Spécification.
Constantes. Variables. Expressions.
Structures de contrôle. Tests, choix, cycles, répétitions,
sauts.
Entrées-sorties.
Tableaux. Variables indicées.
Fonctions. Routines.

Exercices pratiques traités sur ordinateur CDC-Cyber 70 de l'EPFL.
Langage Fortran utilisé comme support du cours.

MECANIQUE GENERALE

Chargé de cours : J.P. Heger

1er semestre : Cours 60 heures + Exercices 30 heures (4 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Cinématique de la particule
Référentiels et repères. Vitesse et accélération. Coordonnées généralisées. Degrés de liberté. Coordonnées curvilignes. Mouvements particuliers.
2. Cinématique du solide indéformable
Coordonnées généralisées. Translation et rotation. Vitesse et accélération des particules du solide. Mouvements particuliers.
3. Mouvements relatifs dans la perspective des axiomes non relativistes.
Compositions des vitesses et des accélérations. Applications.
4. Dynamique newtonienne de la particule
Les trois lois de Newton. Moment cinétique. Energie cinétique.
Les forces. L'équilibre. Référentiels non galiléens. Applications.
5. Dynamique newtonienne des systèmes matériels
Système de vecteurs. Distribution de masse. Moments du 1er et du 2ème ordre. Applications.

2ème semestre : Cours 30 heures + Exercices 20 heures (3 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Dynamique newtonienne des systèmes matériels
Les équations générales, leurs différentes formes dans des repères relatifs. Mouvements de solides, actions de contact entre deux solides.
 2. Dynamique lagrangienne
Liaison. Les équations de Lagrange.
 3. Choc et percussions
Théorie approchée.
 4. Statique
Equilibre de forces. Méthodes analytiques et graphiques.
 5. Efforts intérieurs
Définition. Applications.
 6. Chapitre choisi de mécanique
Mouvements autour d'un équilibre stable - couplage de vibrations.
-

RESISTANCE DES MATERIAUX

Professeur : M. Del Pedro

3ème semestre : Cours 45 heures + Exercices 30 heures (3 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Equilibre intérieur et propriétés des matériaux
Généralités. Hypothèses fondamentales. Efforts intérieurs et contraintes. Propriétés mécaniques des matériaux.
2. Traction et compression. Cisaillement. Torsion circulaire. Flexion
Définitions. Calcul des contraintes et des déformations. Analyse de l'état de contrainte. Cercles de Mohr. Energie de déformation. Exemples d'application. Introduction aux systèmes hyperstatiques.
3. Energie de déformation élastique
Formes quadratiques de l'énergie élastique. Théorèmes de Maxwell-Betti, Castigliano, Menabrea. Application aux systèmes statiques et hyperstatiques.
4. Théorie de l'état de contrainte
Théorème de Cauchy. Matrice des contraintes. Quadriques des contraintes. Calcul des contraintes principales et directions principales. Cas particuliers.
5. Critères de rupture de l'équilibre élastique
Etats limites. Coefficient de sécurité. Contrainte de comparaison. Critères du plus grand cisaillement de Mohr et du plus grand travail de distorsion.

MECANIQUE FONDAMENTALE DES FLUIDES

Professeur : S. Gouda

3ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Equations fondamentales

Equations : conservation masse, quantité de mouvement, moment cinétique, conservation énergie, 2ème principe thermodynamique.

2. Similitude

Méthode de Rayleigh et théorème π . Perte de charge, coefficient de frottement. Coefficients aérodynamiques : traînée, portance, moment. Chiffres caractéristiques : Reynolds, Mach, Froude, Strouhal. Chiffres caractéristiques de turbomachines : débit, pression, travail, puissance.

3. Fluides réels

Ecoulement laminaire : conduite cylindrique, écoulement Couette, couche limite laminaire. Ecoulement turbulent : conduite, couche limite turbulente.

PHYSIQUE GENERALE**Professeur : B. Vittoz**

2ème semestre : Cours 40 heures + Exercices 20 heures (4 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Mécanique des milieux continus - 1ère partie
 Introduction. Modèle du milieu continu. Etat de contrainte.
 Définition des fluides. Equilibres des fluides. Dynamique des fluides : conservation de la masse. Fluides parfaits : équation d'Euler, équation de Bernoulli, applications. Fluides visqueux. Similitudes.
2. Thermodynamique
 Introduction. Les systèmes thermodynamiques. Les échanges d'énergie : travail, chaleur, rayonnement. Le premier principe : l'énergie interne fonction d'état du système, applications. Le second principe : processus réversibles et irréversibles, l'entropie, interprétation statistique, évolution des systèmes thermodynamiques, autres fonctions d'état, stabilité de l'équilibre. Applications.
3. Mécanique des milieux continus - 2ème partie
 Solide déformable : tenseur de contrainte, tenseur de déformation, énergie de déformation, modules élastiques, stabilité de l'équilibre.

3ème semestre : Cours 60 heures + Exercices 15 heures (4 h + 1 h par semaine)
Obligatoire

4. Electromagnétisme
 Les équations du champ sous forme globale (Maxwell). La charge électrique, l'électron, la force électromagnétique, le courant électrique, les densités de charges et de courant. Les équations du champ sous forme locale (Maxwell). Bilan d'énergie, équations d'état. Potentiel, tension électrique, force électromotrice. Le condensateur. La bobine de self-induction, induction mutuelle. Energies, puissances. La polarisation électrique, magnétique.
5. Vibrations et ondes
 Introduction. Battements temporels et spatiaux (moirés). Ondes indéformables : définition, propriétés, équation de d'Alembert. Diffraction, interférences. Ondes acoustiques, ondes électromagnétiques (optique ondulatoire).
6. Mécanique quantique
 Introduction : dualité onde-corpuscule. Grandeurs compatibles, incompatibles. La fonction d'onde, superposition. Observables, opérateurs, valeurs propres. L'équation de Schrödinger. Applications : la particule libre isolée, dans un champ de force conservatif central, l'atome d'hydrogène, conducteurs et semi-conducteurs. Les statistiques.

PHYSIQUE GENERALE TP

Professeurs : E. Mooser et P. Kocian

4ème semestre : Laboratoire 40 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

1. Estimation et calcul des erreurs
 2. Eléments de cinématique et dynamique
Mouvement rectiligne non uniforme. Mouvement circulaire.
Gyroscope. Résonance mécanique. Pendules couplés ondes élastiques.
Mesure de la vitesse du son. Ondes stationnaires sur la corde.
 3. Phénomènes moléculaires
Propriétés élastiques des solides. Viscosité des liquides et des gaz.
 4. Thermodynamique
Chaleur spécifique des gaz. Point triple de l'azote. Pouvoir calorifique des combustibles.
 5. Electricité et magnétisme
Mesures électriques fondamentales. Galvanomètre. Circuits R-L-C.
Résonance électrique.
 6. Optique
Lois fondamentales de l'optique géométrique. Instruments optiques. Photométrie. Spectroscopie.
 7. Physique atomique
Etude de la radioactivité. Rayons X.
-

INTRODUCTION A LA PHYSIQUE DU SOLIDE

Vacat

5ème semestre : Cours 30 heures + Exercices 15 heures (2 h + 1 h par semaine)
Obligatoire

6ème semestre : Cours 20 heures + Exercices 10 heures (2 h + 1 h par semaine)
Obligatoire

MODIFICATION DU COURS

CHARGE DE COURS EN VOIE DE NOMINATION

Propriétés électriques et thermiques de la matière.

Propriétés optiques.

Propriétés magnétiques.

TRANSFERT DE CHALEUR ET DE MASSE

Professeur : Dr P. Suter

5ème semestre : Cours 45 heures (3 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction avec des exemples élémentaires de transfert de la chaleur et de la masse (séchage). Distinction entre transfert individuel et global, local et moyen.
 2. Phénomènes et mécanismes de base
Transport global. Transport moléculaire.
Transport turbulent.
 3. Lois du transfert de chaleur
Diffusion non stationnaire dans des corps stagnants. Convection libre. Convection forcée. Condensation. Ebullition. Lit fluidisé. Synopsis des paramètres.
 4. Echangeurs de chaleur
Types et arrangements. Notions de base (unité de transfert, efficacité). Dimensionnement rationnel. Avantage de la promotion de la turbulence.
 5. Systèmes à 2 composantes
Définition de la composition d'un mélange. Lois pour mélange idéal et semi-idéal. Transfert de masse dans un système binaire. Analogies des transferts.
 6. Application du transfert de masse
Séchage. Condensation avec gaz inerte. Distillation et rectification continue.
-

ELECTROTECHNIQUE

Professeur : J.-J. Morf

4ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Notions élémentaires

Champs \vec{H} \vec{B} \vec{D} et \vec{E} . Résistance R . Inductance L . Capacité C .
Lois de Kirchhoff. Interrupteurs Connexions série et parallèle
de résistances.

2. Grandeurs sinusoïdales

Valeurs instantanées de crête, complexes. Impédance Z . Résistance R . Réactance X . Admittance Y . Conductance G . Susceptance B .
Puissances instantanée p , active P , réactive Q , apparente S et
complexe S .

3. Phénomènes transitoires

Réponses indicielles. Enclenchements sur sources de tension
continues ou sinusoïdales.

4. Notions d'analyse de circuit

Théorèmes de Thévenin et Norton. Notions de court-circuit.
Transformation étoile (T) triangle (π) en général.

5. Systèmes triphasés

Tensions simples et composées. Connexions étoile et triangle.
Courants de phase et courants de ligne. Passage étoile
triangle (3 cas).

Cours polycopié de référence : ELECTROTECHNIQUE ET MACHINES ELECTRIQUES
Tome I du professeur M. JUFER.

ELECTRONIQUE

Chargé de cours : J.-D. Chatelain

5ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Rappel de théorie des circuits. Lois fondamentales, phasateurs, diagrammes de Bode.

2. Jonction pn et diode

Semiconducteurs, jonctions pn, diode, diode Zener. Redresseurs.

3. Transistor

Fonctionnement. Modèles du transistor.

4. Amplificateurs à transistors

Polarisation. Capacités de découplage et de liaison. Amplificateurs à transistors.

5. Circuits intégrés analogiques

Fabrication des circuits intégrés. Montages fondamentaux à transistors dans les circuits intégrés. Structures d'amplificateurs opérationnels.

6. Amplificateurs opérationnels

Amplificateur opérationnel idéal et ses applications. Imperfections de l'amplificateur opérationnel.

7. Contre-réaction

Les divers types de contre-réaction et leurs effets sur les propriétés des amplificateurs.

8. Bascules électroniques

Bascule monostable et bascule astable. Temporiseurs intégrés et leurs applications.

INSTRUMENTATION ELECTRONIQUE

Professeur : E. Hamburger

6ème semestre : Laboratoire 40 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Mesure d'un courant et d'une tension en courant continu. Influence des dispositifs de mesure sur le phénomène ou la grandeur à mesurer (longue ou courte dérivation). Appareils analogiques et numériques.

2. Mesure de courants et tensions alternatifs ou pulsants. Appareils à valeurs moyennes, valeurs efficaces ou valeurs de crêtes, avec ou sans composante continue.

3. Sondes de courant et transformateurs de courant en général.

4. Oscilloscope

Fonctionnement et utilisation pour des mesures simples. Problèmes de synchronisation.

5. Oscilloscope

Utilisation dans des cas de signaux compliqués. Augmentation de la précision par extension des échelles. Sondes passives et actives. Oscilloscope à mémoire.

6. Capteurs

Problèmes de linéarité. Capteurs de température, de vibration, photoélectriques, magnétiques, etc.

7. Etude critique d'un amplificateur

Bande passante, linéarité. Entrée symétrique et asymétrique, resp. signal commun et signal série. Rejection du signal mode commun. Utilité des masses et des gardes.

8. Amplificateur en régime dynamique. Relation entre le temps de montée et la bande passante. Problèmes d'interconnexions.

9. Systèmes d'acquisition de données

Problèmes de compatibilités. Choix des accessoires.

10. Application à un problème particulier. EMC = compatibilité électromagnétique.

CHIMIE GENERALE

Professeurs : D. Fritz et E. sz. Kováts

1er semestre : Cours 60 heures + Laboratoire 60 heures (4 h + 4 h par semaine)
Obligatoire

2ème semestre: Cours 20 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Electron et photon

La nature de la radiation électromagnétique et de l'électricité.
La dualité particule-onde. Interférence et son application pour
la détermination de la structure des cristaux. Nombre d'Avogadro
et la mole.

2. La structure de l'atome

L'atome hydrogénoidé : orbitales et orbitales hybrides. Spectres
d'émission et la structure des atomes multiélectrons. Tableau
périodique et propriétés périodiques des éléments.

3. La structure du noyau

Protons et neutrons. Radioactivité.

4. Etats de la matière

Description macroscopique de la matière. L'état gazeux, liquide
et solide. Les mélanges. La concentration. Changements d'état.

5. La structure de la matière

Structure microscopique et propriétés macroscopiques. La structure
des gaz, solides et liquides. Les mailles élémentaires à
l'entassement de densité maximale. Les mailles élémentaires ioniques.

6. La liaison

La liaison ionique. Etats d'oxydation. La liaison covalente. La
méthode de LCAO. Les acides de Lewis. La liaison métallique.

7. Notions de la thermodynamique chimique

La fonction de Gibbs. Les sels faiblement solubles : produit ionique.

8. Les acides-bases de Bronsted

La force d'un acide. Le pK_a . La courbe de titrage.

9. Oxydo-réduction

Les réactions d'oxydo-réduction. La pile électrique.

(Voir suite en page suivante)

Eléments et quelques composés

1. Les éléments représentatifs

- Les gaz rares. Distillation de l'air liquide.
- Les halogènes. Electrolyse de NaCl. Réactions en chaîne.
- La famille de l'oxygène. L'acide sulfurique.
- La famille de l'azote. Engrais.
- Les métaux alcalins. Soude caustique. Ammonium.
- Les métaux alcalino-terreux. Plâtre. Mortier. Chaux.
- La famille du bore. Aluminium.
- La famille du carbone. Charbon et graphite. Silicates. Accumulateur.

2. Les métaux de transition

- Préparation des métaux les plus importants.
- Les complexes.

1er semestre : Laboratoire 60 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

1. Stoechiométrie

Détermination de poids équivalent.

2. Densité et indice de réfraction de mélanges liquides

3. Calorimétrie

Enthalpie de fusion, enthalpie de neutralisation.

4. Réactions d'acide-base. Titrage.

5. Réactions d'oxydo-réduction. Titrage.

6. Distillation

7. Synthèses minérales

8. Synthèses organiques

9. Analyse qualitative

Recherche de cations.

CHIMIE DES POLYMERES

Professeur : H.H. Kausch

4ème semestre : Cours 30 heures (3 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction
Notion de macromolécules. Liaisons intramoléculaires. Différents types de macromolécules.
 2. Monomères et matières de base
 3. Synthèse de composés macromoléculaires
Classification. Réactions de polymérisation et de polycondensation.
 4. Réactions de copolymérisation
Copolymères statistiques, Séquencés et greffés.
 5. Polymères en solution
Solubilité, compatibilité. Détermination des masses moléculaires.
 6. Propriétés chimiques générales
Résistance chimique. Réactions photo-chimiques et mécano-chimiques. Dégradation. Combustibilité et pyrolyse.
-

THERMODYNAMIQUE I et II

Professeur : M. Grätzel

3ème semestre : Cours 30 heures + Exercices 15 heures (2 h + 1 h par semaine)
Obligatoire

1. Premier principe
Les systèmes thermodynamiques. Température. Chaleur. Travail. Energie interne.
2. Deuxième principe
Les processus réversibles et irréversibles. Traitement du cycle de Carnot. L'entropie et l'entropie statistique. Travail maximum. Critères d'équilibre.
3. Les fonctions auxiliaires
Enthalpie, énergie libre et enthalpie libre. Travail utilisable d'une réaction chimique. Potentiel chimique. Equations fondamentales pour un système fermé. Relations de Maxwell, quantités molaires et molaires partielles.
4. La thermodynamique des gaz
Gaz idéaux et gaz réels. Effets de Joule-Thomson. Fugacité.
5. Les équilibres chimiques en phase gazeuse
Constante d'équilibre et sa dépendance de la température. Entropie et enthalpie libre dans la formation des éléments.

4ème semestre : Cours 20 heures + Exercices 10 heures (2 h + 1 h par semaine)
Obligatoire

1. L'équilibre des phases
Loi des phases. Equation de Clausius-Clapeyron. Transition Lambda.
 2. Les propriétés des solutions
Equation de Gibbs-Duhem, loi de Raoult et Henry. Solutions idéales et non-idéales. Equilibres dans la solution. Electrolytes.
 3. Troisième principe de la thermodynamique
Approximation d'Einstein et de Debye.
 4. L'équilibre chimique en relation avec la cinétique chimique
-
-

CHIMIE PHYSIQUE TP

Chargé de cours : Dr A. Menger

4ème semestre : Laboratoire 80 heures (8 h par semaine)
Obligatoire

1. Chromatographie en phase gazeuse
Théorie de la colonne (courbe de V. Deemter. Distribution).
Diffusion. Problèmes de séparation. Traitement des surfaces,
les phases. Indices de Kováts, de Mc Reynolds.
2. Absorption dans le visible
Photométrie. Lambert-Beer. Dosage colorimétrique à plusieurs
constituants.
3. Les pompes et traitement de l'interface
Théorie des gaz. Le vide et les pompes. Les isothermes de
Langmuir, Freundlich, BET.
4. Tension de vapeur
Mesure de la tension de vapeur en fonction de la température.
Relation de Clausius-Clapeyron.

CONSTRUCTION DES MACHINES**Professeur : G. Spinnler**

6ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction. But du cours.
 2. Structure des machines
Moteur. Transmission. Récepteur. Chaîne cinématique. Mécanismes.
 3. Statique appliquée aux organes de machines
Etude personnelle dans polycopié et discussion d'exemples en classe.
 4. Le frottement
Théorie du frottement. Frottement plan et frottement dans les articulations. Broutement. Arc-boutement.
 5. Aspects thermiques
Limitation thermique et refroidissement.
 6. L'usure
Frottement et usure. Rodage. Grippage.
 7. Dynamique
Caractéristiques mécaniques. Moment d'inertie réduit. Démarrage et freinage.
-

DESSIN ET PROJETS

Professeur : G. Spinnler

6ème semestre : Exercices 30 heures (3 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Dessins : a) d'étude, b) d'ensemble, c) de détail.
Lois des projections orthogonales.

2. Coupes. Sections. Rabattements

Représentation dans un dessin d'ensemble

3. Réservoirs. Soudure. Joints. Filetages : métriques, à gaz.
Conduite. Brides.

4. Pompes. Vannes. Presse-étoupe

5. Machines de traction. Presse hydraulique.

6.

7. } Construction

8.

Remarque

Ce cours sera suivi en même temps par la section des chimistes
6ème semestre.

INTRODUCTION A LA CONSTRUCTION

Professeur : R. Favre

6ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Protection des fouilles

Paroi berlinoise. Paroi moulée. Rideau de palplanches. Tirant d'ancre. Evacuation des eaux. Etanchéité.

2. Fondations

Semelle isolée. Semelle filante. Radier général. Pieu.
Vibroflotation.

3. Les systèmes porteurs

Maçonnerie. Béton armé et précontraint. Construction métallique et en bois.

Plancher dalle. Plancher champignon. Dalle sur sommier. Dalle sur mur. Contreventement.

TP DE CONSTRUCTION

Professeur : G. Spinnler

7ème semestre : Laboratoire 60 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

Travail en collaboration avec les étudiants du 5ème semestre en
mécanique.

Choix et application des matériaux en construction mécanique.

INTRODUCTION A LA SCIENCE DES MATERIAUX

Professeurs : W. Kurz et J.-P. Delisle

1er semestre : Cours 45 heures (3 h par semaine)
Obligatoire

1ère partie : Alliages métalliques et leurs propriétés mécaniques

1. Introduction

La science des matériaux. Types de matériaux. Structure et propriétés.

2. Structure atomique

Liaisons atomiques. Etat cristallin. Diffraction. Défauts cristallins.

3. Propriétés mécaniques d'un métal pur

Déformation élastique. Déformation plastique. Durcissement par les défauts cristallins.

4. Alliages

Phases. Diagrammes d'équilibre.

5. Transformations de phase

Diffusion. Germination et croissance. Microstructure des alliages.

6. Propriétés mécaniques des alliages

Durcissement par la présence de phases. Rupture.

7. Annexes

Références bibliographiques. Propriétés des éléments. Unités.

2ème partie : Matériaux non métalliques

8. Polymères

Définition et propriétés générales. Quelques aspects de la structure des polymères. Quelques aspects technologiques.

9. Céramiques

Définition et propriétés générales. Quelques aspects de la structure des céramiques. Quelques aspects technologiques.

10. Divers

Démonstration propriétés du bois. Démonstration propriétés du verre trempé. Un exemple de matériau composite : le béton armé.

MATERIAUX TP

Professeurs : W. Kurz et J.-P. Delisle

1er semestre : Laboratoire 30 heures (8 après-midi)
Obligatoire

1. Matériaux métalliques (6 après-midi)

- Diffraction RX : Diagramme de Laue.
Calcul du paramètre du réseau cristallin d'un monocristal.
- Essai de traction : Déformation élastique, plastique et rupture de divers matériaux.
Calcul du module élastique.
- Analyse thermique : Elaboration de différents alliages.
Mesure de la courbe T-t.
Interprétation des résultats à l'aide d'un diagramme d'équilibre.
- Métallographie : Observation au microscope optique des phases de divers alliages.
Préparation d'un alliage pour l'observation métallographie.

2. Matériaux non métalliques (2 après-midi)

- Polymères : Essais sur résines époxydes.
Comportement aux températures élevées.
Joints en silicone caoutchouc.
Mousse polyuréthane.
- Céramiques : Essais de modelage.
Examen de divers produits céramiques.
- Roches : Minéraux et tests d'identification.
Classification des roches.
Examen au microscope polarisant.

CRISTALLOGRAPHIE, DIFFRACTION

Professeur : D. Schwarzenbach

3ème semestre : Cours 30 heures + Exercices 30 heures (2 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Relations entre formes macroscopiques des cristaux et structures microscopiques. Indices de Miller. Réseau de translation et réseau réciproque, la métrique. Différence entre "réseau" et "structure".

2. Symétrie

Opérations de recouvrement et opérateurs. Concepts fondamentaux de la théorie des groupes. Groupes d'espace, réseaux de Bravais, groupes ponctuels, systèmes cristallins. Tables Internationales de Cristallographie, description de structures cristallines.

3. Cristallochimie

Les structures et motifs les plus importants. Empilement de sphères, de strates, de polyèdres. Rayons atomiques. Règles de Pauling, énergie de Madelung. Structures de quelques alliages.

4. Liquides. Cristaux réels

Fonction de répartition radiale. Empilement aléatoire de sphères. Défauts des structures cristallines, désordre, défauts ponctuels, dislocations, fautes d'empilement.

4ème semestre : Cours 20 heures + Exercices 20 heures (2 h + 2 h par semaine)
Obligatoire

1. Diffraction

Le réseau optique. Diffraction et transformation de Fourier; le "problème des phases". Le facteur de forme atomique. Structures périodiques, les équations de Laue, la loi de Bragg, le réseau réciproque et la construction d'Ewald. Chambres de diffraction. Intensité diffractée, facteur de structure. Séries de Fourier, fonction de Patterson.

2. Propriétés macroscopiques des corps solides, anisotropie

Description tensorielle. Représentation des tenseurs symétriques de 2e ordre. Conséquence de la symétrie du cristal (loi de Neumann). Propriétés d'équilibre, symétries intrinsèques et imposées par le cristal.

3. Optique cristalline

La biréfringence comme conséquence du tenseur diélectrique. Rayon lumineux et normal à l'onde. Indicatrice de Fletcher. Principe du microscope polarisant.

METALLURGIE GENERALE

Professeur : J. Paschoud

2ème semestre : Cours 40 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Tableau périodique des éléments. Liaisons dans un cristal parfait.
Mailles élémentaires. Transformations allotropiques. Solutions solides et composés intermétalliques.

2. Diagramme d'équilibre fer-cémentite

Aciérs : Définitions et hypothèses. Processus de solidification.
Règle des segments inverses. Aciérs de construction et à outils. Transformation perlitique. Martensite. Transformation péritectique. Hétérogénéités de refroidissement.
Fontes : Transformation eutectique. Fontes blanches et fontes grises.

3. Diagrammes TTT de transformation de l'austénite

Transformations isothermes et continues. Influence des éléments d'addition. Limites de trempe. Réduction des contraintes résiduelles.
Traitement de Pomey et cémentation.

4. Courbes de Jominy de trempe et revenu

Essai Jominy pour la détermination de la profondeur de trempe.
Paramètre de Maynier pour le revenu. Choix de l'acier et de son traitement thermique.

2ème semestre : Laboratoire 20 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Ecrouissage et recristallisation

2. Etude de la transition ductile-fragile

Essai de résilience. Essai au mouton de choc Pellini

3. Tracé d'un diagramme de revenu

Essai Jominy. Essais mécaniques. Divers traitements thermiques.

4. Cycles thermiques et diagrammes TTT

3ème semestre : Laboratoire 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

(Voir suite en page suivante)

3ème semestre : Laboratoire 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

5. Examens de structures micrographiques
Polissage mécanique et électrolytique. Observations microscopiques
6. Etude d'un processus de diffusion
Cémentation. Mesures de microdureté. Examens micrographiques
7. Essais de traction de barres d'armature
8. Détection de défauts
Réalisation et contrôles non destructifs d'un joint soudé.
Méthodes par ressusage et magnétoscopie.

TECHNOLOGIE DES BETONS ET MORTIERS

Professeur : J.-P. Delisle

3ème semestre : Cours 45 heures (3 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction
L'ingénieur et les matériaux. Classification des matériaux et de leurs propriétés. Définition du béton.
2. Quelques définitions et concepts
Volume occupé par la matière, l'air et l'eau. Modèles rhéologiques. Représentation des mélanges et courbes granulométriques.
3. Résistances mécaniques et déformations du béton
Comportement sous charge de courte durée. Comportement sous charge de longue durée. Comportement sous diverses actions telles que hygrométrie, température.
4. Les ciments
Historique. Ciments Portland, propriétés et essais. Ciments spéciaux.
5. Les granulats
Classification. Matières nuisibles. Propriétés et essais.
6. Autres constituants
Eau. Adjuvants. Air.
7. Composition des bétons
Principaux facteurs. Influence de la composition sur la résistance. Données de base. Méthodes pratiques de composition. Essais de gâchage. Mesures sur béton frais. Essais destructifs et non destructifs sur béton durci.

5ème semestre : Laboratoire 45 heures (3 h par semaine)
Obligatoire

1. Etude d'un sujet à choix dans un laps de temps limité
2. Etablissement et réalisation d'un programme d'essais
3. Présentation des résultats obtenus par écrit dans un rapport intermédiaire, puis un rapport final et oralement au cours d'un exposé avec utilisation de moyens audio-visuels.

POLYMERES, STRUCTURE ET PROPRIETES

Professeur : H.H. Kausch

5ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Structures chimiques des chaînes moléculaires et des réseaux des polymères thermoplastiques, thermodurcissables et élastomériques.

2. Classification des polymères

Caractérisation chimique et physique. Méthodes de mise en oeuvre.
Modes d'emploi.

3. Poids moléculaire

Définition. Effet sur le comportement d'une solution. Méthodes de détermination.

4. Comportement mécanique des matériaux polymériques solides

Contrainte. Déformation. Module complexe. Théorie de viscoélasticité.
Fluage. Elasticité caoutchouteuse. Transition vitreuse en fonction de la structure moléculaire.

5. Propriétés en traction et au choc

Résistance et rigidité des réseaux, durs ou souples, en fonction de la température, de la vitesse d'augmentation de la contrainte et de la composition structurelle.

6. Rhéologie

Ecoulement des masses fondues.

7. Propriétés thermiques

Dilatation. Conductivité. Chaleur de fusion et de transition.
Dégénération.

8. Propriétés électriques et optiques

Techniques de résonance : Infrarouge (IR), spin électronique (ESR), résonance magnétique nucléaire (NMR). Biréfringence.

5ème semestre : Laboratoire 30 heures (4 h tous les 15 jours)
Obligatoire

(Voir suite en page suivante)

5ème semestre : Laboratoire 30 heures (4 h tous les 15 jours)
Obligatoire

1. Caractérisation chimique
Comportement à la flamme. Inspection visuelle. Solubilité.
 2. Détermination du poids moléculaire
Par viscosimétrie.
 3. Effet du poids moléculaire et de la structure chimique
sur l'indice de fluage et la dureté.
 4. Essai de traction
Elasticité. Résistance des polyoléfines et des polystyrènes
de structures différentes.
 5. Résistance au choc
des polypropylènes et homopolymères et des copolymères du
styrène. Effet de renforcement.
 6. Caractérisation physique
Spectre de l'absorption infrarouge (IR).
 7. Morphologie cristalline, point de fusion
a) technique microscopique
b) mécanique (dilatation)
c) calorimétrie
-

CERAMIQUES, STRUCTURE, PROPRIETES

Professeur : G. Bayer

5ème semestre : Cours 45 heures (3 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Utilité et importance des céramiques. Définition. Céramiques comparées aux métaux et plastiques. Développement historique. Classification selon la composition, la microstructure et les applications. L'industrie céramique, l'importance économique. Recherche, laboratoires, instituts universitaires. Littérature. Sociétés de céramique, congrès.

2. Nature des matériaux céramiques

Structure (cristalline, amorphe). Imperfections. Surface et interfaces. Equilibres et réactions. Microstructures des céramiques (taille des grains, forme, porosité, phase vitreuse). Colloïdes.

3. Propriétés mécaniques des céramiques

Elasticité, résistance, fracture, déformation plastique, déformation visqueuse, rhéologie. Dureté. Céramique de structure, abrasifs.

4. Propriétés thermiques des céramiques

Fusion, ramollissement, expansion thermique, capacité calorifique, conductivité thermique, contrainte thermique, déformation à haute température. Réfractaires.

5. Propriétés électriques et magnétiques des céramiques

Conductivité électrique, conducteur céramique, diélectriques et céramiques piezoélectriques, ferroélectriques, isolateurs céramique, ferrites.

6. Propriétés optiques des céramiques

Réfraction. Réflexion. Transparence. Couleur. Luminescence. Emission stimulée.

7. Propriétés nucléaires et applications des céramiques

Effets des radiations. Section efficace. Combustibles céramiques. Barres de contrôle. Modérateurs. Protection. Entreposage des déchets radioactifs.

(Voir suite en page suivante)

8. Matières premières

Minéraux naturels (plastiques, non-plastiques). Roches.
Matières premières synthétiques. Minéralogie, structure,
propriétés, application pour produits spécifiques.

9. Procédé et fabrication

Extraction. Mouture. Classification selon la taille. Arrangement
des particules. Méthodes de mise en forme, coulage par barbotine,
pressage. Séchage, retrait. Cuisson, frittage, fusion.
Cristallisation. Recuit. Usinage. Traitement de surface.

10. Céramiques silicatées et silices réfractaires

Porcelaines. Matériaux pierreux. Stéatite. Silice. Terre cuite.
Mullite, silicate de zirconium, cordiérite, spodumène,
wollastonite, briques de terre cuite. Matériaux d'isolation.
Fabrication, structure, propriétés, applications.

11. Verres, verres-céramiques, engommes et émaux

Etat vitreux. Compositions. Fusion du verre, mise en forme,
cristallisation. Verre plat et verre creux. Verres optiques.
Fibre de verre. Verres céramiques à bas coefficient d'expansion.
Composition et application des engommes et émaux. Propriété, couleur,
défauts. Procédés décoratifs.

12. Oxydes céramiques et oxydes réfractaires

Structure, propriétés, produits. Alumine, magnésie, zircone,
beryl, thorine, urane, oxydes de terres rares, spinelles.
Ferrites. Grenats. Titanates. Réfractaires basiques.

13. Autres céramiques et composites

Carbone, graphite. Carbures. Nitrures. Borures. Siliques.
Sulfures. Halogénures. Cermets. Matières renforcées de fibres.
Dépôts, métallisation.

5ème semestre : Laboratoire 30 heures (2 h par semaine)

Obligatoire

Réduction des matières premières en particules fines, moules en plâtre,
coulage par barbotine et cuisson des matériaux céramiques
(porcelaine, spinelles, ferrite). Fusion des verres. Mousse
de verre. Recherches thermoanalytiques par rayons X sur la
synthèse de la mullite, spodumène et cordiérite. Céramiques
colorées.

TRANSFORMATIONS DE PHASE

Professeur : W. Kurz

Transformation de phase I

5ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Thermodynamique des solutions

Définitions. Grandeurs partielles. Solution idéale. Solutions réelles. Concept statistique de l'entropie. Modèle quasichimique de solutions. Equilibres hétérogènes. Allotropie.

2. Diagrammes d'équilibre

Diagrammes enthalpie libre-composition-température. Calcul par ordinateur des diagrammes d'équilibre. Règle de phase. Influence de la pression. Activité et diagrammes - couple de diffusion. Solubilité et stabilité resp. courbure des phases. Diagrammes ternaires.

3. Diffusion

Mécanismes élémentaires de diffusion. Concentration d'équilibre de lacunes. Diffusion dans les alliages. Quelques solutions de l'équation de Fick.

Transformation de phase II

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

4. Germination

Germination homogène dans le liquide pur. Germination hétérogène. Vitesse de germination. Germination dans un alliage.

5. L'interface solide - liquide

Structure de l'interface solide - liquide. Morphologie des cristaux.

6. Transfert de masse à l'interface solide - liquide

Coefficients de partage. Distribution du soluté en avant de l'interface. Ségrégation. Fusion de zone.

7. Stabilité morphologique de l'interface solide - liquide

Surfusion constitutionnelle. Analyse de perturbations.

8. Croissance dendritique

Lois de croissance. Morphologie et conditions de solidification. Précipités interdendritiques.

(Voir suite en page suivante)

9. Convection

Phénomènes de convection pendant la solidification. Couches limites à l'interface. Contrôle de convection.

10. Croissance eutectique

Les interfaces eutectiques. Germination. Lois de croissance. Stabilité de l'interface eutectique. Zone de croissance couplée. Alliages de fonderie. Croissance eutectoïde.

11. Evolution de la structure à haute température

Grossissement des phases. Sphéroïdisation.

7ème semestre : Laboratoire 30 heures (2 h par semaine)

Obligatoire

- a) Choix d'un sujet du domaine diagrammes d'équilibre - solidification
- b) Travail de littérature
- c) Présentation du sujet et proposition d'un programme de travail au cours d'un exposé
- d) Exécution des essais et interprétations des résultats
- e) Rapport final et exposé

Transformation de phase III

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)

Obligatoire

12. Précipitation ¹⁾

13. Recristallisation ¹⁾

14. Transformation martensitique ¹⁾

15. Structures et propriétés mécaniques des alliages ²⁾

Note 1) : Les chapitres 12 à 14 sont étudiés par l'intermédiaire des publications (en langue française et anglaise), distribuées au début du semestre.

Note 2) : Le chapitre 15 est traité sous forme de travail de littérature, des examens de structures en microscopie et des essais mécaniques.

MECANIQUE DES DEFORMATIONS ET DES RUPTURES

Professeur : J. Paschoud

5ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Critères classiques de rupture. Courbe limite de Mohr. Etude de la rotule plastique. Effet de la concentration des contraintes.

2. Etude de la transition ductile-fragile à la rupture

Etat plan de contraintes et état plan de déformations. Eprouvette de Kuntze pour la limite de décohésion. Différents facteurs d'influence.

3. Sécurité par rapport à la rupture fragile

Critères de cristallinité. Essai au mouton de choc Pellini.
Diagramme d'analyse des ruptures.

4. Théories de base de la Mécanique des Ruptures

Théorie d'Orowan pour la limite de rupture. Equilibre énergétique.
Coefficient d'intensité de contraintes critiques. Théorie cinétique de la propagation de la fissure.

6ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

5. Généralités sur la rupture par fatigue

Aspects de la surface de rupture. Courbe de Woehler et diagramme d'utilisation.

6. Calcul d'une pièce en fatigue

Hypothèse de Miner. Spectre de sollicitations cycliques. Expression mathématique de la courbe de Woehler. Méthode de Locati à paliers de charges constantes.

7. Traitement statistique des résultats de fatigue

Aspects probabilistiques. Traitement des résultats de limite d'endurance.

8. Coefficient de concentration de contraintes en fatigue

Nomogrammes de Neuber et de Bollenrath-Troost. Influence des traitements de surface et de la corrosion.

9. Calcul de la sécurité d'une pièce

Etat de contraintes. Limite de fatigue. Facteur de sécurité en service.

CORROSION ET PROTECTION DES METAUX

Professeur : D. Landolt

6ème semestre : Cours 40 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Importance économique et aspects phénoménologiques de la corrosion.

2. Aspects thermodynamiques des réactions de corrosion

3. Aspects cinétiques des réactions de corrosion

4. Phénomènes de corrosion localisée

5. Nature corrosive de l'atmosphère et des sols

6. Oxydation à haute température

7. Méthodes de protection

6ème semestre : Laboratoire 40 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

Réalisation d'un programme d'essais touchant différents aspects de la corrosion. Présentation des résultats de chaque essai dans un rapport écrit.

PHYSIQUE METALLURGIQUE I

Professeur : W. Benoît

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Dislocations

Introduction et description géométrique (dislocations coins, vis, vecteur de Bürgers). Mouvement des dislocations.

Observation directe des dislocations (figures d'attaques, microscopie électronique et topographique des RX).

Théorie élastique : champ de contraintes et de déformations, énergie de ligne, tension de ligne, force de Peach et Koehler, interactions entre dislocations, forces chimiques, sources de Frank-Read et de Bardeen-Herring.

Périodicité du cristal, force de Peierls, décrochements, crans.

Dislocation dans les structures cfc : imparfaites de Schoekley, verrous de Lomer-Cottrell, tétraèdres lacunaires, mesure de l'énergie de faute d'empilement.

2. Déformation plastique

Mécanique de la déformation (plans de glissement, direction de glissement, représentation stéréographique). Contrainte résolue critique. Loi de Schmid. Déformation des monocristaux de structure cfc, stades de déformation et principaux paramètres. Principe et conséquence de la multiplication des dislocations. Durcissement par écrouissage. Mécanisme d'interactions à courte et longue distance.

Théorie de l'écrouissage, Stade I (glissement facile). Stade II (durcissement). Stade III (glissement dévié).

Déformation des métaux cc. Géométrie du glissement des dislocations. Effets à basse température.

PHYSIQUE DU BATIMENT

Chargé de cours : C. Roulet

8ème semestre : Cours 30 heures (3 h par semaine)
Obligatoire

1. Thermostatique et thermocinétique

Conduction, convection, rayonnement. Isolation d'une paroi multicoche et composite en régime permanent. Bilan thermique des fenêtres.

Mur épais en régime harmonique établi.

2. Hygrométrie et humidité

Méthodes de mesure. Isotherme d'adsorption.

Diffusion de vapeur d'eau en régime permanent. Diagramme de Glaser. Barrières vapeur. Pathologie hydraulique.

3. Acoustique

Echelles sonores. Transmission du son.

Mesures d'absorption, d'isolation, pour les bruits aériens et de percussion.

Dimensionnement des salles, formule de Sabine.

Utilité et impact des mesures prises à la construction et après coup.

ELABORATION DES METAUX

Professeur : D. Landolt

5ème semestre : Cours 15 heures (1 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Sources des métaux et procédés d'élaboration. Traitements mécaniques et physiques.

2. Bases thermodynamiques de l'élaboration

Enthalpie de réaction et bilan thermique. Equilibre chimique.
Diagrammes d'Ellingham.

3. Traitements chimiques des minerais

Traitements des oxydes. Grillage des sulfures.

4. Procédés de réduction

Réduction avec du carbone et avec de l'hydrogène. Métallothermie.
Réduction électrochimique.

5. Procédés d'affinage

Procédés physiques. Procédés chimiques. Procédés électrochimiques.

METALLURGIE DES SOUDURES

Professeur : J.-J. Chêne

5ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1ère partie : Généralités

1. Tableau des procédés de soudage par nature
2. Soudage par fusion, physique de l'arc
3. Diagrammes d'équilibre en soudage, binaires, ternaires, Schaeffler
4. Diagrammes de refroidissement, continu TTT, PaVT, polygrammes
5. Diagrammes de diffusion (maintien isotherme) pour divers phénomènes
6. Rappel bref sur les modes de durcissement
7. Définitions des traitements thermiques à l'aide des diagrammes de refroidissement et de maintien isotherme
8. Remarques sur la soudabilité

2ème partie : Connaissance des alliages pour constructions soudées

9. Désignations normalisées
10. Aciers non et faiblement alliés
11. Aciers alliés ferritiques et martensitiques
12. Aciers alliés austénitiques

5ème semestre : Laboratoire 45 heures (3 h par semaine)
Obligatoire

Etudier les propriétés d'un acier mis à disposition. Préparer les instructions de soudage et de traitement thermique en visant au but. Réaliser le joint et les TT, exécuter les essais, commentaires.

MISE EN FORME DES METAUX

Professeur : G.H. Gessinger

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Fondements du travail des métaux

Classification des processus de mise en forme. Mécanique du travail des métaux. Détermination des contraintes d'écoulement. Processus thermomécaniques et structure métallurgique : processus thermomécanique à basse température, processus thermomécanique à haute température. Friction et lubrification. Ouvrabilité.

Techniques expérimentales pour le procédé de travail des métaux.

2. Techniques de mise en forme des métaux

Forgeage. Laminage. Extrusion. Etirage. Formage en feuilles métalliques. Métallurgie des poudres.

POLYMERES, MISE EN OEUVRE

Professeur : H.H. Kausch

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Méthodes de mise en oeuvre des polymères correspondant à leurs propriétés thermo-mécaniques et leurs modes d'emploi.

2. Application à l'état liquide (coulée, trempage, immersion, enduction, revêtement, imprégnation)
3. Tirage. Calandrage. Soufflage
4. Boudinage. Extrusion. Filage
5. Moulage par injection. Compression. Transfert ou choc
6. Polymères renforcés
7. Joints (soudage, collage)
8. Traitement des surfaces (rectification, polissage, impression, flocage, galvanisation)

CERAMIQUES, MISE EN OEUVRE

Vacat

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

PROFESSEUR EN VOIE DE NOMINATION

METHODOLOGIE DU CHOIX DES MATERIAUX

Professeur : J.-J. Chêne

6ème semestre : Cours et séminaire 20 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction

Nature des problèmes matériaux en rapport avec des constructions données.

2. Sollicitations à considérer

Types, nature, conséquence.

3. Mode de ruine

4. Exploitation et réalisation des essais

5. Sollicitations admissibles et sollicitations critiques

6. Mise en oeuvre et choix du matériau

Séminaire / étude de 1 ou 2 exemples simples selon le schéma du cours, permettant de juger des avantages et inconvénients de 2 ou 3 matériaux dans la même application. Les données sont à chercher par les étudiants auprès des divers spécialistes (métaux, plastiques, verres, etc...).

7ème semestre : Cours et séminaire 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

7. Méthodologie et étude du service à haute température

8. Méthodologie et étude du service à basse température

9. Méthodologie et étude du service en milieu corrosif

10. Méthodologie et étude du service avec abrasion

COLLABORATION 1er CYCLE - 2e CYCLE

Professeurs du Département des Matériaux

4ème semestre : Laboratoire 40 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

1. Collaboration 1er cycle - 2e cycle

Dans le cadre de leur projet A*, les étudiants de 8e semestre doivent prendre en charge un ou deux étudiants de 2e année et les intéresser à leurs travaux. Le professeur responsable du projet A veille à ce que ces étudiants de 2e année soient intelligemment utilisés.

* Voir cours No 61, projets de 2e cycle, pour signification du projet A.

PROJETS DE 2e CYCLE

Professeurs du Département des Matériaux

6ème semestre : Laboratoire 40 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

7ème semestre : Laboratoire 60 heures (4 h par semaine)
Obligatoire

8ème semestre : Laboratoire 160 heures (16 h par semaine)
Obligatoire

Règles pour le choix des projets de 2e cycle

1. L'étudiant effectue quatre projets de 2e cycle, (projets A, B, C et D) dans des domaines différents et dirigés par des professeurs différents.
2. Un des projets de 8e semestre "A" est effectué dans le domaine choisi par l'étudiant pour son travail pratique de diplôme.
3. La répartition des heures consacrées à chaque projet doit se faire selon l'un des trois schémas ci-dessous :

		Semestre	6	7	8	Diplôme
		Nombre total d'heures	40	60	160	8 semaines
SCHEMA 1	Projet A			120	Travail pratique	
	Projet B			40		
	Projet C		60			
	Projet D	40				
SCHEMA 2	Projet A		60	80	Travail pratique	
	Projet B			40		
	Projet C			40		
	Projet D	40				
SCHEMA 3	Projet A	40		80	Travail pratique	
	Projet B			40		
	Projet C			40		
	Projet D		60			

(Voir suite en page suivante)

4. Les domaines dans lesquels les quatre projets A, B, C et D doivent être choisis correspondent, en principe et dans les grandes lignes, aux domaines d'enseignement du 2e cycle des professeurs du DMX :

I.	Métallurgie des soudures	J.J. Chêne
II.	Bétons et mortiers et autres matériaux du génie civil	J.P. Delisle
III.	Polymeres	H.H. Kausch
IV.	Métallurgie physique	W. Kurz
V.	Métallurgie chimique	D. Landolt
VI.	Céramiques	A. Mocellin
VII.	Métallurgie mécanique	J. Paschoud

5. Certains projets de 8e semestre peuvent être dirigés à la fois par deux professeurs, dont l'un au moins appartient au DMX.
-

METALLURGIE DES SOUDURES II

Professeur : J.-J. Chêne

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Option A

- * 13. Alliages non ferreux au Ni simple et à durcissement γ
- 14. Alliages non ferreux au Cu
- 15. Alliages de Co
- 16. Alliages de Ti
- 17. Propriétés mécaniques des joints soudés.
Mécanisme de rupture. Fragilité, fluage et relaxation. Fatigue élastique et oligocyclique. Propriétés en fonction de la température.
- 18. Autres propriétés
- 19. Essais de soudabilité
- 20. Joints hétérogènes
- 21. Le brasage
- 22. Métallisation et revêtements
- 23. Soudage en phase solide

* Suite du 5ème semestre

POLYMERES, CHAPITRES CHOISIS

Professeur : H.H. Kausch

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Option A

Ce cours est destiné à approfondir les connaissances des matériaux composites à base polymérique et à étudier leur comportement et leurs propriétés sous des conditions très sévères.

Les sujets traités seront principalement basés sur les programmes de recherche du Laboratoire des Polymères : caractérisation et amélioration des propriétés des polymères au moyen de l'analyse thermique différentielle (DTA), thermomécanique (TMA), viscoélastique (pendule à torsion), infrarouge (IR) ou mécanique de rupture.

MATERIAUX DU GENIE CIVIL - CHAP. CHOISIS

Professeur : J.-P. Delisle

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Option A

1. Pierres naturelles
Classification. Propriétés. Essais.
 2. Liants autres que les ciments
Plâtre. Chaux. Résines artificielles.
 3. Argile, terre cuite et autres produits céramiques
Propriétés des argiles. Description de quelques produits.
 4. Pierres artificielles et agglomérés
Description de quelques produits.
 5. Maçonneries
Mortiers. Propriétés des maçonneries. Crépis.
 6. Bois
Caractères généraux. Défauts. Propriétés. Assemblages.
 7. Liants hydrocarbones et matériaux dérivés
Classification. Emulsions. Mortiers et bétons. Matériaux d'étanchéité.
 8. Peintures et vernis
Constituants. Propriétés.
-

ELECTROCHIMIE APPLIQUEE

Professeur : D. Landolt

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Option A

1. Introduction

Procédés électrochimiques et technologie des matériaux.
Domaines d'étude.

2. Transport de matière et de charge

Equations fondamentales. Propriétés de transport. Jonctions liquides. Distribution du courant et pouvoir couvrant d'un électrolyte. Calcul du courant limite. Applications : usinage, polissage, plaquage, raffinage.

3. Théorie de l'interface solide - électrolyte

Thermodynamique des surfaces. Electrocapillarité, modèles électrostatiques de la double couche. Potentiel zeta. Adsorption. Applications : inhibiteurs, électrophorèse, électro-osmose.

4. Etude des mécanismes élémentaires des réactions électrochimiques

Les différents types de surtension. Réactions consécutives. Ordre de réaction. Méthodes expérimentales. Applications : analyse chimique, réactions de corrosion, électrocristallisation.

CERAMIQUES - CHAP. CHOISIS

Vacat

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Option A

PROFESSEUR EN VOIE DE NOMINATION

METALLURGIE DES POUDRES

Professeur : G.H. Gessinger

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Option A

1. Effets de la température et de la vitesse de déformation
Formage à froid. Formage à chaud. Sensibilité de la vitesse de déformation sur le formage (formage superplastique).
 2. Application du forgeage
Alliages résistant à haute température. Métaux légers et alliages. Alliages de titane.
 3. Métallurgie des poudres à haute performance
Technique de consolidation à haute densité et théories de compactage. Applications de la métallurgie des poudres à haute performance : forgeage par frittage, métallurgie des poudres des superalliages, alliages d'Al et de Ti.
-

INTRODUCTION AU GENIE ATOMIQUE

Professeur : J.P. Schneeberger

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Option B

1. Bases de physique des réacteurs

La fission. Les produits de fission. La radioactivité résiduelle.
Interactions des neutrons avec la matière. Flux neutronique.
Diffusion. Ralentissement.

L'équation critique. Répartition de la puissance.

2. Principaux types de centrales nucléaires

PWR (eau pressurisée). BWR (eau bouillante). HTR (haute température).
FBR (surrégénérateur).

Evacuation de la chaleur. Confinement.

Équations cinétiques. Coefficients de réactivité.

3. Le cycle du combustible

Traitement chimique des minerais. Enrichissement.

Évolution. Défournement. Retraitements. Stockage des déchets
radioactifs.

4. Sécurité et radioprotection

Concepts de sécurité. Risque nucléaire. Méthode d'évaluation.
Effets biologiques des radiations. Effluents en fonctionnement
normal. Législation nucléaire.

PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS

Professeur : F. Lévy

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Option B

1. Matériaux semiconducteurs

Propriétés caractéristiques des semiconducteurs : classe de cristaux semiconducteurs dans l'ensemble des corps solides.

2. Définitions, rappels

Modèle de l'électron libre. Densité des états d'énergie. Bande d'énergie. Différence métal-semiconducteur. Dynamique des porteurs de charge (quantité de mouvement, masse effective).

3. Semiconducteur à l'équilibre

Semiconducteur intrinsèque et par impuretés. Equilibre thermodynamique. Phénomènes de transport. Charge d'espace et champ. Exemple : surface d'un semiconducteur, jonction p - n à l'équilibre.

4. Semiconducteur hors équilibre

Conditions de non-équilibre. Quasi-potentiels de Fermi. Production et recombinaison de porteurs. Diffusion. Equations de continuité. Jonction p - n sous tension.

5. Dispositifs particuliers

Phénomènes de décharge et d'avalanche. Oscillateur de Gunn. Diode de Zener. ...

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Options B

(Voir suite en page suivante)

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Options B

1. Propriétés électroniques de la matière
Atomes. Matière condensée. Absorption et dispersion. Transitions électroniques. Métaux et isolateurs.
 2. Spectrométrie et photométrie
Définitions. Grandeurs et unités.
 3. Sources de lumière
Principes physiques, spectre d'émission, puissance, rendement lumineux, rapidité et application. Sources usuelles : lampes à incandescence, tubes à décharge gazeuse, diodes luminescentes, fluorescence, lasers.
 4. Récepteurs photosensibles
Principes physiques. Sensibilité spectrale. Rapidité et application. DéTECTEURS usuels : photorésistances, photodiodes à jonction, phototransistors, cellules photoélectriques, photomultiplicateurs, cellules solaires.
 5. Transmission et modulation
Optique non linéaire (oscillateur paramétrique optique). Cellules de Kerr et de Pockel. Fibres optiques. Lasers à colorants. Cristaux liquides.
 6. Applications et dispositifs particuliers
Electrochromie et photochromie (couleurs). Affichage. Télécommunication optique. Reproduction. ...
-

MECANIQUE DES ROCHES

Professeur : F. Descoedres

8ème semestre : Cours 30 heures + Exercices 10 heures (3 h + 1 h par semaine)
Option B

1. Classification technique des roches intactes et des massifs rocheux.
Eléments de géologie structurale.
 2. Etat naturel des contraintes dans les massifs et sa mesure
 3. Mécanisme de rupture des roches intactes. Relations contrainte-déformation. Frottement sur une discontinuité.
 4. Stabilité des versants rocheux, modes et causes de rupture. Etude à 2 et 3 dimensions par l'équilibre limite et par les contraintes de rupture.
 5. Stabilité des cavités. Redistribution des contraintes. Pression des roches. Courbe caractéristique en roche élasto-plastique. Effets du front de taille et du temps. Dimensionnement des soutènements. Cas des massifs stratifiés.
-

INTRODUCTION A L'ARCHITECTURE

Professeur : M.H. Burckhardt

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Option B

1. Introduction aux problèmes généraux d'architecture
2. Communication
3. Urbanisation
4. Habitation et construction
5. Coordination de la planification et la formation de notre environnement
6. L'aspect de la forme visuelle de la construction

Présentation par des moyens visuels

MICROSCOPIE ELECTRONIQUE

Professeur : R. Gotthardt

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Option B

1. Introduction générale et problèmes techniques
2. Théorie cinématique de la diffraction des électrons
Détermination de l'orientation d'un cristal par l'image de diffraction (projection stéréographique) et par les lignes de Kikuchi. Interprétations des images des défauts cristallins en microscopie électronique : par exemple précités, inclusions, fautes d'empilement, dislocations. Mesures à trois dimensions.
3. Théorie dynamique
Exemples : contrastes de petits amas des défauts ponctuels.
Contrastes de dislocations. Microstructure de défauts d'irradiations et de petites boucles de dislocation.
4. Préparation des échantillons

PHYSIQUE METALLURGIQUE II

Professeur : W. Benoît

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Option B

1. Déformation plastique - Applications

Déformation plastique des solutions solides. Interaction dislocations-défauts ponctuels. Effet de taille, de contraintes élastiques, interaction chimique, ordre à courte et grande distance. Durcissement structural. Formation des zones G-P, précipités cohérents et non cohérents. Conséquence sur les propriétés mécaniques. Interaction des dislocations avec des précipités. Recristallisation. Restauration, recristallisation primaire et secondaire.

2. Les défauts ponctuels

Théorie élastique (variation d'énergie, de volume, du paramètre du réseau). Les impuretés substitutionnelles. Les lacunes à l'équilibre thermodynamique (étude expérimentale). Les alliages à l'équilibre (diagramme de phase).

3. Diffusion et transformation

Équation de diffusion, méthode de Boltzmann-Matano. Mécanismes atomiques, expression du coefficient de diffusion. Mécanismes activés thermiquement. Migration des lacunes et des interstitiels (recuits isochrones et isothermes). Autodiffusion. Équation d'Einstein. Diffusion chimique. Effet Kirkendall. Transformation avec diffusion (germination, croissance) et transformations martensitiques.

4. Anélasticité

Phénoménologie de l'anélasticité. Équation du solide linéaire idéal. Modèle de Debye. Mécanismes de relaxation activés thermiquement (énergie de relaxation).

Etude des défauts ponctuels. Dipôles élastiques. Effet d'une contrainte appliquée sur l'équilibre thermodynamique. Etude du carbone, azote, oxygène en solution dans les métaux cc(Snoeck). Mise en ordre dans les solutions solides (Zener).

Etudes des dislocations : principe de l'étude des dislocations par mesure anélastique (force de relaxation et temps de relaxation). Mobilité des dislocations : obstacles intrinsèques et extrinsèques. Trainage élastique et effets non linéaires.

5. Fluage

Caractéristiques générales. Les trois stades. Effet de la contrainte, de la température, des joints de grains, de la sous-structure.

Mécanisme : montée des dislocations. Fluage Nabarro. Fluage causé pas le glissement mais contrôlé par la montée des dislocations.

SCIENCES HUMAINES

Professeurs : Voir programme de l'Ecole

1er semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

Contenu du cours : voir programme de l'Ecole.

2ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Obligatoire

Contenu du cours : voir programme de l'Ecole.

3ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Facultatif

Contenu du cours : voir programme de l'Ecole.

4ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Facultatif

Contenu du cours : voir programme de l'Ecole.

5ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Facultatif

Contenu du cours : voir programme de l'Ecole.

6ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Facultatif

Contenu du cours : voir programme de l'Ecole.

7ème semestre : Cours 30 heures (2 h par semaine)
Facultatif

Contenu du cours : voir programme de l'Ecole.

8ème semestre : Cours 20 heures (2 h par semaine)
Facultatif

Contenu du cours : voir programme de l'Ecole.

LEGISLATION INDUSTRIELLE

Professeur : B. Rusconi

7ème semestre : Cours 30 h (2 h par semaine)
Obligatoire

1. Introduction générale au droit
Généralités sur le droit. Panorama du droit. Les sources du droit.
La règle du droit. L'application du droit.
2. Notions de droit civil et de droit des obligations
Aperçu du droit des personnes. Droit de famille. Droit des successions. Droits réels. Droit des obligations.
La responsabilité civile.
Etude détaillée de quelques contrats. Vente. Bail. Travail.
Entreprise. Mandat. Cautionnement d'assurance.
Aperçu de droit des sociétés.

8ème semestre : Cours 20 h (2 h par semaine)
Obligatoire

3. Les accidents de travail
 4. La propriété industrielle
Les brevets d'invention.
Les dessins et modèles industriels.
Les marques de fabrique et de commerce.
-