

Ingénieur Fonderie & Forge

Programme certifié RNCP : Code RNCP : 37588 par
décision de France Compétences
Code Diplôme : 1702230B

DÉCOUVREZ LE

P R O G R A M M E

D É T A I L L É D E L A F O R M A T I O N

 1A mat 101	Mathématiques appliquées Intervenant : Fakhreddine ABABSA - Lazhar HOMRI – Simon FAYS	CM : 40 h TD : 20 h TP : Evaluation : 4 h (Ie)
--	--	---

OBJECTIFS

L'objectif du cours est de remettre à jour, rationaliser et compléter les acquis antérieurs, pour permettre la compréhension des outils modernes de l'ingénieur et assurer aux élèves apprentis les bases et les méthodes mathématiques nécessaires à la culture scientifique d'un futur ingénieur.

En particulier dans les domaines de l'automatique, de la mécanique des matériaux, de la thermodynamique et des probabilités qui sont extrêmement utiles

Le programme est ciblé pour leur permettre de suivre sans difficultés particulières les cours suivants qui nécessitent certains prérequis en mathématiques et sont fondamentales pour les études de fiabilité ou de durée de vie en service :

- Automatique (Décomposition en éléments simples-Equations Différentielles-Transformée de Laplace)
- Mécanique des matériaux (Calcul vectoriel et matriciel)
- Thermodynamique (Intégration et Dérivation partielle)
- Probabilité (Fonction Caractéristique)

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Les outils mathématiques de base enseignés au Lycée et dans les classes Bac +1 à Bac +2

Calcul algébrique , Analyse et Géométrie

(Cf 1A-100)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Calculs différentiel et intégral - Transformée de Laplace - Séries de Fourier - Fonctions de plusieurs variables - Dérivées partielles - Espaces vectoriels – Matrices-Valeurs propres-Diagonalisation- Traitement Numérique

Key words

Differential and integral calculus - Laplace transform (Laplace integral) - Fourier series - Functions of several variables - Partial derivatives - Vector spaces - Matrix –Eigen value- Numerical Analysis

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Etudier une fonction de variable réelle et mettre en œuvre les méthodes numériques de résolution d'équations non linéaires
- Utiliser les fonctions de plusieurs variables et faire le lien avec les principales applications en physique
- Savoir évaluer une intégrale, une valeur moyenne
- Utiliser les outils de l'algèbre linéaire, vecteurs, matrices, déterminants, diagonalisation
- Maîtriser la transformée de Laplace en vue des applications ciblées
- Développer une fonction en série de Fourier.

Mathématiques appliquées**PLAN DÉTAILLÉ***Fakhreddine ABABSA Simon FAYS 1^{ère} période -> 39 heures*

CM 1-2 (3 h) **Fonctions usuelles- Décomposition en éléments simples- Méthodes numériques**

TD (3 h) Dérivées et Différentielle –Décomposition en éléments simples des fractions rationnelles- Méthode de Newton – Applications.

CM 3 (1 h) **Développements limités**

TD (2 h) Formule de Mac Laurin – Opérations sur les développements limités – Applications.

CM 4-7 (6h) **Calcul intégral et Résolution des équations différentielles ordinaires**

- 1) Intégrale définie – Valeur moyenne – Propriétés
- 2) Méthode d'intégration – Changement de variable – Intégration par parties – Intégration des fractions rationnelles
- 3) Généralisation de la notion d'intégrale – Intégration sur $[a, +\infty[$
- 4) Modèles d'équations linéaires du premier ordre
- 5) Exemple d'équations non linéaires (type Bernoulli-Ricatti)
- 6) Equations linéaires du deuxième ordre et à coefficients constants (Etude des trois cas)

TD (6 h) Exercices d'application.

CM 8 (1 h) **Fonction de plusieurs variables**

TD (2 h) Continuité – Dérivées partielles – Dérivée d'une fonction composée – Différentielle totale exacte – Forme différentielle de degré un.

CM 9-13 (9 h) **Algèbre linéaire**

- 1) Espace vectoriel – Base d'un espace vectoriel
- 2) Matrice d'une application linéaire – Vocabulaire et Opérations usuelles sur les matrices – Matrice carrée – Matrice inversible
- 3) Déterminant – Propriétés – Applications à la résolution des systèmes linéaires
- 4) Diagonalisation : Changement de bases – Valeurs propres – Vecteurs propres – Diagonalisation des matrices carrées

TD (6 h) Applications.

Mathématiques appliquées

Lazhar HOMRI – Simon FAYS 2ème période : 21 heures

CM 14-17 (8 h) **Transformée de Laplace**

TD (4 h) Premiers exemples – Propriétés – Transformation de Laplace inverse – Propriétés – Applications.

CM 18-20 (6 h) **Séries de Fourier**

TD (3 h) Calculs des coefficients – Développement d'une fonction en série de Fourier – Théorème de Dirichlet – Forme complexe – Formule de Parseval – Applications.

BIBLIOGRAPHIE

Algèbre – Analyse : Tomes 1, 2 et 3 de Thuillier et Belloc – Masson

Outils et modèles mathématiques, tomes 1 à 5 : Pierre Florent, Michelle et Gérard Lauton, Vuibert et Presses de l'université du Québec

Séries de Fourier – Transformation de Laplace de Paul et Rosine Benichou, Norbert Boy et Jean-Pierre Pouget

Analyse numérique, cours et exercices pour la licence, M. Schatzman, Interéditions 1991

Eléments de mathématiques du signal, Exercices résolus de Dariush Ghorbanzadeh , Pierre Marry , Nelly Point , Denise Vial, Dunod 2002 (2e édition)

 1A isi 200	Bureautique Intervenant : Jean-Philippe AMBROSINO	CM : 3 h TD : 6 h TP : Projet: Évaluation : 3 h
--	--	--

OBJECTIFS

Permettre aux futurs ingénieurs d'être opérationnel de façon efficace sur les logiciels de la suite bureautique Microsoft Office, ici Word et Excel et un petit tour rapide sur PowerPoint.

Cette progression du cours sera subséquente d'un apprentissage classique considérant le temps imparti disponible ; elle sera découpée en trois grandes parties

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Ce cours nécessite une connaissance de base de l'usage des logiciels dans un environnement Windows, la maîtrise de la souris et du clavier et un savoir-faire ou au moins une compréhension en matière de gestion des fichiers du système et de l'organisation des dossiers.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Il est souhaité qu'à l'issue du cours, l'élève soit à l'aise avec les logiciels vus.

Même si au bout du laps de temps consacré aux cours il oublie le mode opératoire de quelques fonctionnalités, il saura que ladite fonctionnalité existe et trouvera le moyen de satisfaire un cas d'école spécifique pour la rédaction ou la conception d'un document.

L'abord du langage de programmation ne permettra forcément pas à tout un chacun d'être en mesure de réaliser des programmes à l'exception de ceux qui possèdent déjà des connaissances en algorithme et codage en général.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Key words

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- ...
- ...

PLAN DÉTAILLÉ

Bureautique
Jean-Philippe AMBROSINO

CM 1 (3 h) Traitement de texte Microsoft Word

Découvrir le traitement de texte et ses grandes capacités à forte valeur ajoutée...

Bases et apprentissage avancés

Présentation	Utilisation des styles	Table des matières	Recherche
Modes de saisie	Tabulations	Tableaux	Liaisons et renvois *
Copier-Coller et plus	Numérotation	Illustrations	Glossaire *
Formats	En-têtes et pieds de page	Insertion d'objets	Révisions *

Cas pratiques

Lettre	Modèles	Personnalisation
Courriers types	Document type « <i>guide</i> » *	

CM 2 + CM3 (6 h) Tableur Microsoft Excel

Découvrir le tableur vers d'autres envergures que la simple conception de tableaux...

Bases et apprentissage avancés

Présentation	Utilisation des listes	Graphiques	Recherche et matrice
Modes de saisie	Références	Base de données	TCD
Copier-Coller et plus	Les listes personnelles	Filtre simple	Consolidation
Formats	Type de fonctions	Filtre élaboré *	Les autres fonctions

Cas pratiques

Échéance *	Formulaire *	Tables à entrées *	Personnalisation
Valeur cible	Constantes	Solveur *	

Visual Basic pour Application

Aborder la programmation autour des applications MS Office et plus particulièrement sous Excel où l'usage est recommandé.

Automatisme

Macros enregistrées	Créer des procédures *	Créer des fonctions *	Monter un mini projet *
---------------------	------------------------	-----------------------	-------------------------

BIBLIOGRAPHIE

 1A ISI 201	Industrie du Futur & Organisation Industrielle Intervenants : Nathalie KLEMENT	CM : 8 h TD : 6 h TP : Projet: 4h Evaluation : 2 h
---	---	---

CONTEXTE

L'enjeu est aujourd'hui d'organiser progressivement le passage de l'« usine France » vers l'usine du futur.

Qu'est-ce que cela signifie concrètement?

Le passage vers l'industrie du futur concerne l'ensemble des domaines de l'appareil productif : à la fois l'amélioration de la conception produit/processus, mais également le pilotage et le contrôle de l'appareil de production, les opérations de fabrication, les services liés à l'appareil de production et enfin l'organisation du travail.

Dans un contexte de compétition mondiale, la réalisation de produits différenciés (mass customization) aux meilleurs coûts est une préoccupation majeure qui nécessite une conception et une optimisation conjointe du produit et du processus (minimisant les pertes de matières, les rebuts, les temps morts, l'énergie utilisée...). De même, la dimension humaine liée à ce domaine explique l'importance que revêtent les opportunités de modernisation qui s'y rattachent (réduction de la pénibilité du travail des opérateurs, maximisation de la valeur ajoutée du facteur travail, ...).

Experts et spécialistes s'accordent sur un point : la révolution Industrie du futur ne sera pas que technologique, elle sera surtout organisationnelle.

OBJECTIFS

L'objectif de ce cours est de permettre aux futurs ingénieurs de développer des compétences pour devenir un acteur de l'Industrie du Futur.

La première partie s'intéresse aux fondamentaux des systèmes de production.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Ce cours ne nécessite pas de prérequis particuliers

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Industrie du futur – Système de production agile – Modularité – Reconfigurabilité

Industrie du futur

Nathalie KLEMENT

Module : 6h

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (2 h) Introduction à l'industrie 4.0 dans un contexte de personnalisation de masse : systèmes de production reconfigurables, collaboration homme-machine, entrepôts automatisés (convoyeurs et AGV)

CM 2 (2 h) Décoder, formuler, reformuler le besoin en outils de production industriels émergents
Le contexte, le besoin :

- L'usine de demain : l'usine connectée
- L'amélioration de la compétitivité
- Mass Customization
- L'usine numérique pour diminuer le temps de mise sur le marché
- L'acquisition des données, le codage de l'information, la traçabilité (Codes à barres, Datamatrix, QR Code, RFID),
- Le robot, les plateformes mobiles et cobots
- Généralités : ERP- MES - Réseaux - Automates –Baie robot – IHM
- Exemples

ED 1 (2 h) Comment les concepts 4.0 peuvent aujourd'hui s'appliquer aux métiers de la fonderie ? En particulier, le système d'information 4.0 peut-il améliorer les flux de production en fonderie ?

La deuxième partie s'intéresse aux à la configuration des systèmes de production, c'est-à-dire organiser un système de production de façon à optimiser les flux physiques.

Configuration des systèmes de production

Nathalie KLEMENT

Module : 12h

CM 4 (4h) Introduction aux outils de gestion industrielle, en particulier configuration des systèmes de production : méthode des liaisons fonctionnelles, méthodes des chainons, méthodes des gammes fictives, méthode KING ou méthode CRAFT.
Etude de la conception d'une ligne d'assemblage. Influence des choix techniques sur la productivité. Exemple de reconfigurabilité.

TD 5 (4h) Mise en application via des exercices de la configuration des systèmes de production en appliquant les méthodes enseignées dans le CM 4.

Projet (4h) Proposer une nouvelle implantation de l'exercice fil conducteur en appliquant les différentes méthodes vues pendant le cours.

BIBLIOGRAPHIE

Le but Un processus de progrès permanent - GOLDRATT/COX

 1A isi 202	Conception Assistée par Ordinateur Intervenant : Jérôme DUCHEMIN	CM : TD : TP : 18 h Evaluation : 3 h
--	--	---

OBJECTIFS

Découvrir la modélisation 3D à l'aide du logiciel CATIA V5.

Numériser à partir de l'existant ou concevoir un nouveau produit en lui associant les "règles métiers" liés à la fonderie et à la forge.

Rappeler le principe de la logique PLM (Product Life Management).

Approfondir le tracé d'esquisses 2D (atelier "Sketcher") :

- Principe des esquisses.
- Relations de contraintes entre les entités d'une esquisse.
- Construction d'esquisses simples à complexes.

Approfondir la partie "modeleur-volumique" (atelier "Part Design") :

- Relation entre l'esquisse et la construction du volume.
- Fonctions de bases du modeleur volumique.
- Modélisations de pièces à géométries simples.
- Fonctions métiers liées à la fonderie et la forge (Plan de joint, dépouilles et arrondies).
- Utilisation des corps de pièces et fonctions Booléennes pour volumes complexes (notions).
- Travail sur pièces de fonderie et de forges à géométrie complexes sans habillage.
- Construction à l'aide des fonctions Booléennes d'empreintes en vue de la réalisation du moule ou de la matrice (principe).

Etudier la mise en plan (atelier "Drafting") :

- Mise en plan à partir de la pièce 3D construite dans « Part Design »
- Vues extérieures, coupes simples, coupes par plans parallèles et sécants.
- Mise en place du cartouche et des annotations associées.
- Habillage complémentaires (spécifications dimensionnelles, géométriques, états de surfaces).

Etudier l'assemblage de produits

- Relations de contraintes entre pièces
- Vérification de mobilités relatives.

Appréhender les notions du Surfacique (atelier "Wireframe and Shape Design") :

- Fonctions de bases (Remplissage, extrusion, rotation).
- Apprentissage d'éléments surfaciques en vue de la construction de plans de joints simples et complexes.
- Principe de la conception hybride (volumique/surfacique)

PRÉREQUIS :

Maîtrise de la lecture de dessins techniques.(Cf Fiche 1A-601)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

PLM – Ateliers CATIA – Modélisation – Esquisses – Fonctions volumiques – Fonctions surfaciques – Fonctions assemblage – Ateliers Part design, Drawing, sketcher

Key words

PLM - Catia workshop - Modeling - Sketches - Volumetric functions - Surface functions- Assembly functions - workshops Part design, Drawing, sketcher

.../...

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD, DM et TP inclus)

Etre capable de :

- **Modéliser** à partir d'un plan 2D une pièce mécanique.
- Adopter une modélisation **méthodique** respectant des contraintes imposées.
- Adopter une modélisation **robuste**.
- Concevoir à partir des **surfaces fonctionnelles** une pièce de fonderie ou de forge en respectant les **règles métiers**.
- Maîtriser l'**assemblage** de produits simples.
- Réaliser une **mise en plan** respectant les normes.

PLAN DÉTAILLÉ

Conception Assistée par Ordinateur Jérôme DUCHEMIN

Séances basées sur la « pratique » du logiciel en découvrant la « logique » des différentes fonctions. (TP et DM)

Modélisation 3D à partir de plans 2D.

Conception de la pièce 3D à partir des surfaces fonctionnelles numérisées en surfaciques.

Cf tableau page 3.

BIBLIOGRAPHIE

Documentation en ligne du Logiciel.

	PLANS 2D SUPPORTS	ATELIER(S) CATIA	APERÇU DES FONCTIONS	OBJECTIFS
Séance n°1	• Plaque (Démonstration) • Lyre	- Sketcher	Ligne, contour, contours oblongs, contraintes d'esquisse, fonction symétrie.	Tracés d'esquisses à géométries simples et moyennes
Séance n°2	• Levier	- Sketcher	Lignes de construction	Tracés d'esquisses à géométries complexes
	• Support équatorial	- Sketcher - Part Design	Extrusion, poche, congé, trou, répétition de fonction	Pièce mécanique à volumes élémentaires
Séance n°3	• Lunette support	- Sketcher - Part Design	Symétrie des fonctions	Pièce type fonderie/forge (sans dépolis)
	• Equerre simple	- Sketcher - Part Design	Raidisseur	Pièce type fonderie/forge (sans dépolis)
Séance n°4	• Equerre de montage	- Sketcher - Part Design	Raidisseur	Pièce type fonderie/forge (sans dépolis)
	• Glissière articulée	- Sketcher - Part Design	Raidisseur	Pièce de fonderie (sans dépolis)
Séance n°5	• Mandrin	- Sketcher - Part Design	Répétition circulaire	Pièce mécanique entièrement usinée
	• Corps de vanne	- Sketcher - Part Design	Rainure, nervure, Symétrie de volume	Pièce de fonderie complexe en corps creux (sans dépolis)
Séance n°6	• Corps coudé	- Sketcher - Part Design	Rainure, nervure	Pièce de fonderie complexe (sans dépolis)
	• Manche de poêle	- Sketcher - Part Design - Shape Design	Congé variable, Combinaison Surfactive Conception hybride	Pièce type plastique moulée
DM	• Carter mécanisme de tension	- Sketcher - Part Design	Synthèse	Pièce de fonderie complexe (sans dépolis)
Evaluation Séance n°7	• A définir	Synthèse	Synthèse	- Pièces de fonderies de difficultés moyennes (sans dépolis) - Mise en plan simple - Assemblage simple

 1A isi 203	Projet Simulation Numérique Intervenant : Jean-François LOCATELLI, Patrick PRIOT et Mathieu MOERCKEL	CM : 3 h TD : 7 h TP : 16 h PROJET : - h Evaluation : 4 h
--	--	---

OBJECTIFS

La conception des pièces et des systèmes a largement débordé le cadre de la représentation strictement géométrique des pièces. L'évolution rapide du marché exige une réactivité importante des entreprises face au cahier des charges "client". Une réduction drastique du temps séparant la conception initiale de la pré-série de qualification est actuellement un facteur prédominant de la compétitivité.

La nécessité, pour les industriels de répondre rapidement aux exigences d'un marché en perpétuelle évolution, les pousse à développer des méthodes de conception de plus en plus efficaces pour leur permettre de trouver des solutions fiables aux critères contradictoires : délai et coût minimums pour une juste qualité.

L'objectif de cet enseignement est de former le futur ingénieur à la mise en œuvre de l'outil de simulation numérique afin de concilier efficacement les fonctions de la pièce avec les contraintes d'un procédé de production de fonderie.

Le cours s'inscrit donc dans le cadre d'une stratégie P.L.M. (Product Lifecycle Management) afin d'utiliser des modèles comportementaux basés sur les propriétés de la matière et des procédés.

Une première étape de présentation des principes fondamentaux de la simulation numérique process, permet au futur ingénieur d'appréhender les capacités de l'outil tant du point de vue théorique (conservation de la masse, équations de Navier-Stokes, etc.), que du point de vue conditions de mise en œuvre (maillage éléments finis, volumes finis, conditions limites, etc.) et exploitation (analyse des écoulements, prédiction de la santé interne post-solidification, etc.).

Dans un second temps, l'élève ingénieur sera accompagné au cours de plusieurs TP pour apprendre à manipuler un outil de simulation numérique (VisualCAST/QuikCAST). Il sera alors sensibilisé à la pertinence de la modélisation pour permettre de répondre à des besoins dans un souci d'efficacité industrielle.

Enfin, après une mise en œuvre assistée sur la méthodologie d'utilisation du logiciel de simulation process au cours et pour la conception d'une nouvelle pièce de fonderie, l'élève ingénieur se verra confier un projet d'études complet.

Ce projet sera défini par une problématique décrite au travers d'un cahier des charges spécifique et représentatif d'un cas industriel. Pour mener à bien son projet, l'élève ingénieur devra appliquer toute la chaîne de conception, depuis le choix des matériaux, à la conception de la grappe de coulée, en passant par les différentes étapes de conception d'une pièce (fonctionnel/détail). Afin de développer sa propre solution dans un cadre QCD, il devra mettre en œuvre toutes les méthodologies numériques apprises précédemment (simulation de la compatibilité produit/process, simulation de l'efficacité de la mise en grappe et de la santé interne)

PRE-REQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

CAO, Notions sur les procédés de fonderie et sur la métallurgie, Règle de tracé des pièces de fonderie, Notions sur la mécanique des fluides et les échanges thermiques, Dimensionnement des système de remplissage et d'alimentation en fonderie sable.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Base de données matériaux – Maillage surfacique – Maillage volumique – Conditions Limites – Conditions initiales – Transferts thermiques (conduction/convection/rayonnement) – Perméabilité – Frottements – Modélisation remplissage en gravité vs. Sous-pression – Paramètres de calcul – Simulation Process – VisualCAST/QuikCAST – Remplissage/Solidification – Prévion de défauts – Décollement de veine – Oxydation du métal liquide – Malvenue – Turbulences – Nombre de Reynolds – Retassure – Micro-retassure – Critère de Nyiama – Saturation thermique – Itérations – Optimisation – Fonderie Sable.

Key words

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Avoir une vision d'ensemble des applications numériques dans un bureau d'études ou des méthodes.
- Comprendre l'importance du choix de stratégie de modélisation (calcul en pression ou en vitesse, avec ou sans moule ou définition partielle, symétrisations du problème...) en fonction de la problématique à étudier.
- Réparer ou simplifier un maillage surfacique dans QuikCAST en choisissant une stratégie permettant d'aboutir à un résultat correct.
- Réaliser une grille volumique dans QuikCAST en respectant les critères minimum d'acceptation permettant l'aboutissement du calcul et adaptée au besoin.
- Choisir stratégiquement l'ordre des matériaux en ayant conscience de l'impact sur le résultat.
- Réaliser une mise en donnée de remplissage et/ou de solidification en moulage sable (choix des conditions limites appropriées en fonction de l'objectif de la simulation).
- Placer des capteurs ou des traceurs pour une exploitation plus fine et locale des résultats.
- Analyser des résultats de simulation : pression, vitesse, température, module thermique, retassure... (verniss).

Simulation numérique en Fonderie

Mathieu MOERCKEL

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) Présentation du projet et prise en main de l'outil développé par ESI : Quickcast.
TD 2-3 (7 h) -

Simulation numérique en Fonderie

Jean-François LOCATELLI

TD 1 (4 h) **UTILISATION DE L'OUTIL DE SIMULATION NUMERIQUE QUIKCAST**

Les étapes de mise en œuvre d'un calcul : CAO, maillage, mise en données, calcul, analyse des résultats.

Exercice 1 : Réalisation d'une mise en données complète par l'intervenant sur un cas simple en moulage sable.

Résultats : Discussion sur les résultats de simulation, discussion sur les remèdes à mettre en œuvre.

PRISE EN MAIN DU LOGICIEL QUIKCAST

Exercice 2 : Réalisation d'une première mise en données sur un cas de moulage gravitaire sable.

TD 2 (4 h) **PRISE EN MAIN DU LOGICIEL QUIKCAST (suite)**

Fin de l'Exercice 2 si besoin

Résultats : Discussion des résultats, mise en évidence de l'insuffisance de la masselotte seule car subsistance d'un défaut dans la pièce en fin de solidification.

Exercice 3 : Reprise de l'exercice précédent avec ajout d'un manchon et rapport sous Power Point

Résultats : Mise en évidence de l'effet du manchon sur l'efficacité de la masselotte. Présentation d'un rapport type de simulation.

Travail individuel noté sur une mise en données gravitaire sable et réalisation d'un rapport Power Point, avec mise en œuvre des pratiques vues en TD.

Simulation numérique en Fonderie

Patrick PRIOT

TD 3 (4 h) APPRENDRE A SIMPLIFIER UNE MODELISATION

Exercice 1 : Simulation d'une solidification seule

Objectif : Etablir une situation de référence sur la pièce complète en moule entièrement virtuel

Résultats : Observation de l'évolution de la fraction solide durant la solidification et parallèle avec la prédiction de la retassure (introduction des fractions solide critique)

Exercice 2 : Effet de la symétrie

Objectif : Démontrer qu'une modélisation d'une demi-pièce par symétrie fournit les mêmes résultats qu'une modélisation en pièce complète

Résultats : Comparaison des résultats de prédiction de la retassure des deux simulations et conclusion par les étudiants sur le fait que la symétrie est une solution viable et plus efficace (cet exercice permet également de présenter les fonctions de comparaison de résultat de l'outil)

Exercice 3 : Effet des noyaux

Objectif : Démontrer que selon les conditions locales de moulage, le recours au moule virtuel n'est pas toujours adapté

Résultats : Comparaison des résultats de prédiction de la retassure des deux simulations et conclusion par les étudiants sur le fait que la modélisation en moule virtuel fausse les résultats si son utilisation n'est pas justifiée (introduction des coefficient d'échanges, des théories sur les moules thermiquement fini et infini, de la saturation thermique par convergence de flux thermique et/ou du fait des propriétés physiques des différents matériaux)

TD 4 (4 h) DEVELOPPER UNE PIECE A L'AIDE DE LA SIMULATION NUMERIQUE

Exercice 1 : Détermination des modules thermiques

Objectif : Utiliser l'outil de simulation numérique durant la phase de conception de la pièce pour anticiper les difficultés de production qui seraient liées au design de la pièce

Résultats : Observation des modules thermiques et des points chauds avec analyse des solutions process qui pourront être mises en œuvre. Cette analyse permet de conduire indirectement une analyse critique du design avec remise en cause du tracé de la pièce

Exercice 2 : Vérification du masselottage

Objectif : Utiliser l'outil de simulation numérique durant la phase d'industrialisation de la pièce pour concevoir et vérifier un système de masselottage

Résultats : Observation des modules thermiques, des points chauds, de l'évolution de la fraction solide, de la retassure et du critère de Nyiama pour critiquer la solution de masselottage et vérifier la santé interne de la pièce post-solidification. A partir de ces analyses proposer un nouveau système de masselottage.

Exercice 3 : Vérification du masselottage

Objectif : Seconde itération sur un système de masselottage amélioré

Résultats : Observation des modules thermiques, des points chauds, de l'évolution de la fraction solide, de la retassure et du critère de Nyiama pour valider la santé interne de la pièce post-solidification

Exercice 4 : Validation d'une mise en grappe

Objectif : Utiliser l'outil de simulation numérique durant la phase d'industrialisation de la pièce pour valider une mise en grappe complète

Résultats : Observation du remplissage (température, écoulement, pression, etc.) et de la solidification (évolution de la fraction solide, de la retassure et du critère de Nyiama) pour valider la mise en grappe

EVAL (4 h) DEVOIR SURVEILLE EN SALLE AVEC TOUT SUPPORT DE COURS

Comporte une partie écrite d'environ 45mn (mise en application de formules de calcul pour déterminer certaines conditions limites) et une partie manipulation de l'outil VisualCAST/QuikCAST.

Objectif : Evaluer le degré d'assimilation des méthodes de mise en œuvre et la capacité à choisir des stratégies de modélisation adaptées au problème posé.

BIBLIOGRAPHIE

Support de cours documents CTIF

 1A isi 204	Simulation numérique en forge Intervenant : Jacques ABOUSEFIAN – Régis BIGOT	CM : TD : 6 h TP : 9 h Evaluation : 3 h
--	--	---

OBJECTIFS

Utilisation du code de simulation par éléments finis Forge®, outil de simulation le plus répandu dans l'industrie de la Forge. Présentation de cas concrets d'utilisation et de la pertinence de l'outil numérique dans l'aide à la décision.

Chaque élève lance plusieurs calculs pour apprendre à utiliser l'outil dans un premier temps, puis par l'exploitation des résultats de son calcul, analyse les gammes de forgeage. L'approche par modification des conditions de calcul, permet d'apprécier la robustesse des résultats fournis par le logiciel.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Forge – Forge libre – Estampage – Ebauche – Refoulement – Laminage – Cambrage – Gamme de forgeage

Simulation d'une pièce axisymétrique – Ajustement des conditions de forgeage
Exemples de simulation à froid et à chaud en 2D et 3D

Key words

Forging - Open die forging - Die forging - Preform - Rolling - Stretching - Heading - Lamination - Bending - Gamut of forging

Simulation of an axisymmetric casting - Setting forging conditions – Examples of cold and hot forging simulations (2D and 3D)

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Lancer une simulation 2D/3D à chaud ou à froid pour tous les matériaux présents dans l'outil
- Exploiter les résultats de son calcul : pertinence du choix de gamme (géométrie, choix de machine...)
- ...

PLAN DÉTAILLÉ

Simulation Forge *Jacques ABOUSEFIAN*

TP 1 (3 h) Rôle et apport de la simulation numérique, son intérêt, ses avantages, ses limites.

Techniques de forgeage d'un galet en acier

Construire une simulation – Exploiter les résultats de la simulation

Comparer 3 méthodes de forgeage sur un cas simple

Evaluer l'effet de la vitesse de forgeage sur l'évolution de l'effort

Analyse du remplissage de la gravure "Aplafil"

Exploiter les résultats d'une simulation déjà calculée concernant le remplissage d'une gravure destinée à la fabrication d'une pièce estampée. Le remplissage de la gravure présente une compétition d'écoulement entre le filage et l'aplatissement.

TP 2 (4 h) **Estampage d'un moyeu de roue**

Enchaîner des opérations de forgeage successives

Etudier les différentes solutions de transport de données

Matriçage d'un fond à collerette en laiton pour échangeur thermique "air/eau de mer". Simulation en 3D :

Préparer la simulation de forgeage d'une pièce en une opération

Observer le remplissage de la gravure

Comparer ces simulations à des essais réalisés en atelier.

TP 3 (2 h) **Plan d'expériences sur l'étirage en deux coups**

Etudier l'influence de grandeurs géométriques choisies dans la démarche de dessin d'un tas d'étirage sur la qualité de celui-ci.

Augmenter l'efficacité de cette définition en utilisant une forme de tas "fermée" à la différence de ce qui est proposé et qui correspond à un profil large droit "ouvert".

Modéliser les résultats en fonction des grandeurs paramétrées.

Etablir une définition optimale en fonction du besoin.

Evaluation (3 h) **Contrôle de connaissances / Construction d'une modélisation 2D en autonomie**

Contrôle des connaissances théoriques acquises en 10 questions simples.

Cas concret issu de l'industrie représentant une succession d'opérations et donc de calcul. Utilisation de cas présentant des défauts de manière à obliger l'étudiant à se positionner sur la robustesse de gamme / proposition d'améliorations de celle-ci.

Simulation Forge
Régis BIGOT et Camille DURAND

TD (6 h) Simulation d'une opération d'étirage (phase d'ébauche, réalisation d'éprouvette, prototypage...)

L'étude se divise en deux parties : la première partie est consacrée à la note de calcul permettant d'identifier les paramètres pilotant la gamme de déformation et de caractériser le produit final (taux de corroyage, allongement, etc.). La seconde partie se centre sur la mise en données et le lancement de calcul afin de retrouver les valeurs calculées analytiquement. L'évaluation s'appuie sur l'analyse effectuée sur les résultats obtenus et les hypothèses formulées.

BIBLIOGRAPHIE

 1A phy 301	Thermodynamique générale Intervenantes : Armelle RINGUEDÉ, Marie-Laurence GIORGI	CM : 18 h TD : 12 h TP : Evaluation : 4 h
--	---	--

OBJECTIFS

Les diagrammes de phases constituent la base nécessaire à l'étude des traitements thermiques des métaux et de leurs alliages, d'où leur aspect fondamental en métallurgie. L'objectif essentiel de ce cours est d'amener l'élève à comprendre l'origine thermodynamique de ces diagrammes afin d'en maîtriser parfaitement l'utilisation (on se limitera ici aux diagrammes binaires). Pour ce faire, il faut dominer la thermodynamique des solutions, ce qui n'est envisageable qu'après l'acquisition de bases solides concernant les réactions chimiques et les notions d'énergie de Gibbs et de potentiel chimique, ce qui passe par la compréhension des principes de la thermodynamique.

Ce cours est donc très dense et contient de nombreux concepts souvent nouveaux pour l'étudiant. On ne peut donc demander qu'il soit complètement maîtrisé dès la première année. Toutefois il permettra d'aborder dans de bonnes conditions les cours de deuxième année.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Quelques outils mathématiques : fonctions à plusieurs variables, dérivation partielle, fonctions exponentielles et logarithmes.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Thermodynamique – Variable d'état – Fonctions d'état – Équation d'état – Premier et deuxième principe – Notion d'entropie – Énergie de Gibbs – Potentiel chimique – Thermochimie – Déplacement d'un équilibre selon conditions expérimentales – Solutions – Diagrammes de phases – Diagrammes d'Énergie de Gibbs

Key words

Thermodynamics - State variables - State functions - State equation - First and second law - Notion of entropy – Gibbs free energy - Chemical potential - Thermochemistry - Equilibrium displacement in relation with experimental conditions – Solutions - Phase diagrams – Gibbs free energy diagrams

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**Être capable de :**

- Décrire un système et de calculer les grandeurs extensives associées.
- Définir le potentiel chimique et l'enthalpie libre
- Exprimer le potentiel chimique pour toute phase
- Définir et calculer des grandeurs molaires partielles
- Définir l'équilibre d'un système et calculer la constante associée
- Calculer un avancement de réaction
- Prédire les déplacements d'équilibre
- Définir et calculer des grandeurs de mélanges idéales et réelles
- Appliquer les modèles de Raoult et de Henry

Thermodynamique générale*Armelle RINGUEDE***PLAN DÉTAILLÉ**

CM 1 (2 h)	Introduction et généralités. Description d'un système : système ouvert, fermé, isolé – Propriétés macroscopiques : grandeurs intensives, extensives – Equilibre thermodynamique – Variables d'état, fonctions d'état, équation d'état – Implications mathématiques Transformation d'un système : Travail (mécanique, autre), Chaleur – Réversibilité – Différents types de transformations – Dimensions et unités.
TD 1 (1 h)	Exercices

CM 2 (2 h)	Premier principe (conservation de l'énergie) : énoncé – Capacités calorifiques (à volume constant, à pression constante – enthalpie) – Ordres de grandeurs – Relation entre C_p et C_v pour un gaz parfait.
TD 2 (1 h)	Exercices

CM 3 (2 h)	Deuxième principe et notion d'entropie : énoncé – Transformations isothermes (détente d'un gaz parfait, chauffage à P puis à V constant, transformations adiabatiques) – Changement d'état. Troisième principe , « mesure » de l'entropie.
TP 3 (1 h)	Exercices

CM 4 (2 h) **Les différentes fonctions d'état** : Energie libre de Helmotz (F) et de Gibbs (G) – Energie utilisable (libre) – Equation fondamentale – Propriétés de G : variation de G avec la température – Equation de Gibbs/Helmoltz, variation de G avec la pression – Potentiel chimique – Différentes expressions du potentiel chimique : corps purs (gaz parfait, gaz réel, phases condensées, solution idéale, solution réelle)...

TD 4 (1 h) Exercices

CM 5 (2 h) **Grandeur de réaction** : Thermochimie : réaction endo et exothermique – Enthalpie de formation standard – Enthalpie de réaction standard – Loi de Hess – Loi de Kirchhoff – Différence entre $\Delta_r H$ et $\Delta_r U$.

TD 5 (1 h) Exercices

CM 6 (2 h) **Réactions chimiques** : Conditions d'équilibre – Degré d'avancement d'une réaction, ξ : cas simple $A \leftrightarrow B$, cas général – Enthalpie libre d'une réaction, $\Delta_r G$ – Notion d'affinité chimique.

Constante d'équilibre d'une réaction : Loi d'action des masses.

TD 6 (1 h) Exercices

Marie-Laurence GIORGI

CM 7 (2 h) **Déplacement d'un équilibre** en fonction des conditions expérimentales : effet d'un catalyseur, effet de la pression, effet de la température (équation de Van't Hoff) – Principe de Le Chatelier.

Changement d'état des corps purs : stabilité des phases – Diagrammes de phases – Équation de Clapeyron (équilibre liquide-solide, liquide-vapeur, solide-vapeur) – Classification des transitions de phases.

TD 7 (1 h) Exercices

CM 8 (2 h) Thermodynamique des solutions : grandeurs molaires partielles – Relation d'Euler – Relation de Gibbs/Duhem – Grandeurs de mélange – Les solutions idéales – Les solutions régulières – Lois des solutions diluées (loi de Henry pour le soluté, loi de Raoult pour le solvant) – Diagrammes activité/composition – Règle des phases.

TD 8 (1 h) Exercices

CM 9 (2 h) Diagrammes énergie libre – composition : introduction – Critère général de stabilité – Lacune de miscibilité – Application aux diagrammes de phases binaires – Étude de cas.

TD 9-10 (4 h) Exercices

BIBLIOGRAPHIE

A. Durupthy, C. Mesnil, T. Zobiri, Thermodynamique chimique, Hachette, Paris, 1996

P. Arnaud, cours de chimie physique, dunod, Paris, 1993

R. Gaboriaud, Physico-chimie des solutions, Masson, Paris, 1996

A. Boutin, G. Dosseh, A. Fuchs, Eléments de thermodynamique, Masson, Paris, 1997

 1A phy 303	Introduction à la commande des machines de production Intervenant : Olivier BAVAY – Adel OLABI	CM : 18 h TD : 6 h TP : Projet: Evaluation : 2 h
--	---	---

OBJECTIFS

Ce cours a pour objectif de fournir les bases générales dans le domaine de l'automatique linéaire en temps continu. Il doit permettre aux élèves apprentis du domaine de la Fonderie ou plus largement de celui de la Transformation du Métal, d'appréhender les systèmes de contrôle/commande existants et/ou de travailler à l'élaboration d'un cahier des charges en collaboration étroite avec un ingénieur automaticien dans le cadre du développement de la commande d'un système dynamique.

Ce cours s'appuie sur les notions élémentaires liées à la modélisation physique (mécanique, électronique, thermique...). Les exemples pratiques sont principalement sélectionnés dans le domaine de la robotisation/automatisation avancée des process associés au contexte de l'Usine du Futur. Ainsi, une première partie vise un apport de connaissances en robotique (structure mécanique, type de capteurs exploités) et cobotique (intégration de l'humain dans la boucle, nouveaux scénarios de production). La seconde partie concerne l'automatique linéaire et permet de fournir aux étudiants les outils nécessaires pour caractériser les performances d'un système automatique, en abordant notamment les critères de performance (stabilité, précision statique et dynamique, temps de cycle) puis les méthodes de régulation industrielle (commande PID, boucles imbriquées).

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Lois sur la physique en générale (Mécanique, Électricité, Thermodynamique, Electrotechnique, ...) – Bases mathématiques (Intégrale, Transformée de Laplace, Nombre Complexe).

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Contrôle automatique – Systèmes de contrôle automatique – Systèmes de contrôle industriel - Systèmes continus – Transformée de Laplace – Fonction de transfert – Boucle d'asservissement – Etude de stabilité, de rapidité et de précision – Principes de la régulation industrielle – Description d'un système automatisé – Robotique et cobotique industrielle.

Key words

Automatic control – Automatic control systems – Industrial control systems - Continuous systems – Laplace transform – Transfer function – Control loop – Stability, productivity, accuracy – Principles of industrial regulation – Description of an automated system – Industrial robotics and cobotics.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

Partie 1

- Appréhender les enjeux et piliers associés aux évolutions technologiques et digitales actuelle (contexte Industrie du Futur).
- Connaître les principales évolutions technologiques en robotique et cobotique industrielle.
- Identifier des scénarios d'automatisation/robotisation économiquement viables.

Partie 2

- Appliquer les principes mathématiques (Transformées de Laplace, Complexe, etc.) permettant d'étudier les systèmes continus.
- Calculer les "Fonctions de Transfert" en se basant sur des équations différentielles ou des "Schéma-Bloc".
- Etudier les 3 critères d'analyse (rapidité, stabilité et précision) d'un système Automatique.
- Maîtriser les méthodologies pour appliquer l'analyse temporelle et fréquentielle.
- Appliquer la méthodologie adaptée suivant les besoins d'un cahier des charges.
- Réaliser et interpréter les diagrammes de BODE pour l'étude fréquentielle.
- Maîtriser le Critère de Routh pour étudier la Stabilité.
- Maîtriser les principes des limites pour étudier la Précision.
- Interpréter les courbes mathématiques dans un contexte technique.
- Connaître les différents "Correcteurs" (P., P.I., P.D., P.I.D., etc.).
- Connaître les méthodologies de réglage « industrielle » (placement de pôle et boucles imbriquées).

Machines de production : état de l'art et évolutions

PLAN DÉTAILLÉ

Adel OLABI

CM 7 (2 h)	Robots manipulateurs industriels : architecture
TD 7 (1 h)	Etude de cas n°1 : choix de l'architecture d'une machine de perçage pour l'aéronautique.

CM 8 (2 h)	Robots manipulateurs industriels : performances
TD 8 (1 h)	Etude de cas n°2 : Démonstration de limitations d'espace de travail de différentes architectures en simulation numérique.

Machines de production : partie commande (18h)**PLAN DÉTAILLÉ**

Olivier BAVAY

CM 1 (2 h)	Commande des systèmes : principes généraux, cahier des charges. Outils d'analyses : Transformée de Laplace, représentation fréquentielle (diagrammes de Bode). Caractéristiques des systèmes du 1 ^{er} et du 2 nd ordre. Illustrations par l'études de cas industriels.
TD 1 (1 h)	Exercices : Modèle pour la commande d'un robot manipulateur de presse

CM 2 (2 h)	Fonction de transfert et schéma bloc. Expression d'un cahier des charges de commande (plan complexe).
TD 2 (1 h)	Exercices : Placement de capteur - Aide à la décision par analyse d'un diagramme fréquentiel

CM 3 (2 h)	Commande des systèmes linéaires en temps invariant
TD 3 (1 h)	Etude de cas n°1 (théorique) : Commande d'un axe de positionnement

CM 4 (1 h)	Commande des systèmes de positionnement : boucles imbriquées
TP 4 (2 h)	Etude de cas n°1 (pratique) : Simulation de la commande d'un axe de positionnement

CM 5 (2 h)	-
TP 5 (1 h)	-

CM 6 (2 h)	-
TP 6 (1 h)	-

BIBLIOGRAPHIE

Automatique : Systèmes linéaires, non linéaires, à temps continu, à temps discret, représentation d'état - Yves Granjon – Dunod (Partie système linéaire et continu).

Automatique : Du cahier des charges à la réalisation de systèmes - René Husson, Claude Iung, Jean-François Aubry, Didier Wolf, Jamal Daafouz et al. – Dunod

L'usine du futur - Stratégies et déploiement Industrie 4.0, de l'IoT aux jumeaux numériques - Nathalie Julien, Éric Martin – Dunod

 1A chi 401	Structure de la Matière Intervenants : Philippe VERMAUT et Sophie NOWAK	CM : 18 h TD : 9 h TP : Evaluation : 4 h
--	---	---

OBJECTIFS

Ce cours a pour objectif de décrire la structure de la matière depuis les particules élémentaires constituant l'atome jusqu'à la liaison chimique. La cohésion du noyau atomique est introduite à partir de la relation masse-énergie. La stabilité des noyaux est abordée permettant d'introduire les réactions nucléaires de fusion, de fission et les différentes radioactivités. Par la suite, une première description de l'atome classique est fournie par la mécanique ondulatoire afin d'introduire, à partir de postulats, les nombres quantiques et les règles de construction de l'édifice atomique. La classification périodique est alors reconstituée avec une mise en regard des propriétés chimiques (électronégativité) des éléments.

Dans un deuxième temps, le cours suit les différentes révolutions qui ont permis d'aboutir au modèle ondulatoire de l'atome par Schrödinger. Cela permet de débiter la discussion sur les liaisons chimiques avec les connaissances pré-requises nécessaires. En introduction, le modèle classique de Lewis est présenté mais la conclusion de cette partie montre les limites d'un tel modèle. Cela conduit ainsi à aborder la liaison dans le modèle ondulatoire avec les notions d'orbitales moléculaires et de géométrie de la molécule.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Peu de prérequis nécessaires. Seulement quelques connaissances élémentaires générales comme les unités internationales et comprendre les notions de force, énergie, charge, etc.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Structures atomique et moléculaire de la matière – Modèles atomiques – Mécanique ondulatoire (2ème principe) et généralisation (Equation de Schrödinger) – Liaisons chimiques et modèle de liaisons – Propriétés des atomes et des molécules

Key words

Structure of atoms and molecules – Atomic models – Wave particles duality – introduction to quantum mechanics (Schrödinger equation) – Chemical bonding models – Properties of atoms and molecules

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Décliner les particules élémentaires constituant l'atome avec une échelle de taille, de masse et de charge
- Faire le bilan d'une réaction nucléaire et de calculer le défaut de masse correspondant
- Retrouver la structure électronique des éléments
- Calculer des énergies de transitions électroniques en prenant en compte les effets d'écran (approximation de Slater)
- Reconstruire la classification périodique des éléments par blocs
- Etablir le lien entre position d'un élément dans la classification et électronégativité
- Donner les caractéristiques d'un photon et décrire l'effet photoélectrique
- Appliquer le principe d'incertitude d'Heisenberg
- Comprendre le concept de dualité onde-corpuscule de Louis de Broglie
- Extraire les idées fondamentales du modèle de Schrödinger (densité de probabilité de présence, forme des orbitales,...).
- Dessiner une molécule suivant le modèle de Lewis (doublets liants et non liants, liaisons multiples,...).
- Construire le diagramme d'énergie des orbitales moléculaires
- Donner la géométrie d'une molécule

Introduction à la Structure de la matière*Philippe VERMAUT***PLAN DÉTAILLÉ**

CM 1 (2 h)	Introduction générale – Représentation de l'atome – Les isotopes. Analyses des particules élémentaires de l'atome : atome à l'état fondamental, autres particules – Les unités à l'échelle atomique.
TD 1 (1 h)	Manipulation des grandeurs et unités employées à l'échelle des particules élémentaires. Calcul de la densité du noyau atomique et comparaison avec la densité des différents métaux. Calcul de la masse molaire de différents éléments incluant plusieurs isotopes.

CM 2 (2 h)	Défaut de masse – Energie de cohésion du noyau. Contenu énergétique par nucléon pour différents atomes. Réactions nucléaires de fission et de fusion.
TD 2 (1 h)	Calculs de la masse des différents isotopes d'un élément à partir de l'énergie de cohésion par nucléon dans le noyau. Etude du spectrographe de masse de J. J. Thomson et de l'expérience de Rutherford. Mise en évidence de la faible taille du noyau

CM 3 (2 h)	Modèle de Perrin et de Rutherford – Bilan des forces agissant sur l'électron. Calcul de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique. Calcul de l'énergie totale de l'électron sur l'orbitale – Conclusions. Modèle de Böhr – Postulat mécanique de 1913 – Conséquences. Postulat optique de Böhr – Conséquences – Application à l'analyse chimique.
TD 3 (1 h)	Etude de l'expérience de Rutherford. Mise en évidence de la faible taille du noyau. Calcul de l'énergie libérée par une réaction nucléaire

CM 4 (2 h)	Compléments au modèle de Böhr – Travaux de Balmer, Rydberg et Ritz L'atome poly-électronique et travaux de Moseley - Approximation de Slater Modèle de Sommerfeld – Effet Zeeman – Expérience de Stern et de Gerlach. Répartition des électrons sur les couches et les sous-couches. Règles et principes de la construction de la classification périodique des éléments.
TD 4 (1 h)	Etude de l'expérience de Rutherford. Mise en évidence de la faible taille du noyau. Calcul des longueurs d'onde des raies première et limite du spectre d'émission d'un ion hydrogénoïde.

CM 5 (2 h)	Classification périodique des éléments dans leur état fondamental. Les différentes périodes et propriétés remarquables de la classification de Mendeleiev Energie d'ionisation – Affinité électronique – Rayons atomiques et ioniques – Polarisation des atomes.
TD 5 (1 h)	Application de la loi de Moseley. Entraînement à retrouver la structure électronique des différents éléments et ions Calculs d'énergies d'ionisation pour des ions hydrogénoïdes et mise en application des approximations de Slater pour les ions polyélectroniques

Structure de la matière

Sophie NOWAK

CM 1 (3 h) **L'atome quantique**
Quelques rappels sur la révolution des quanta (Planck, Einstein, Bohr)
Naissance du modèle ondulatoire (Heisenberg, De Broglie)
Présentation du modèle ondulatoire de l'atome (Schrödinger)

CM 2-3 (3 h) **La liaison chimique**
1. Le modèle classique : Introduction
 Un modèle simple de la liaison chimique, le modèle de Lewis
 Liaison covalente simple
 Les états de Valence: exemple du carbone
 La polarité des liaisons chimiques
 Les liaisons multiples – Les limites du modèle de Lewis

CM 4 (2 h) 2. La liaison dans le modèle ondulatoire : Introduction
 Le recouvrement des orbitales atomiques
 La construction des orbitales moléculaires
 La notion d'ordre (ou d'indice) de liaison
 La géométrie des orbitales moléculaires
 Extension aux autres molécules diatomiques symétriques
 Extension aux molécules hétéro-nucléaire A-B
 Extension aux molécules poly-atomiques

TD 5 (4 h) Application des modèles expliqués en cours
 Exercice sur la constante de Madelung (cristaux ioniques)

BIBLIOGRAPHIE

Livres :

- Chimie Générale – Raymond Chang
- Atomes et liaison chimique – Abdillahi Omar Bouh
- Atomistique et liaison chimique : cours et exercices corrigés – Yves Jean
- Structure électronique et liaison chimique – Jean-René Lalanne
- La liaison chimique : le concept et son histoire – Bernard Vidal
- Leçons de chimie – Pierre Laszlo
- Théorie quantique de la liaison chimique – Raymond Daudel
- Understanding Solids, The science of materials – Richard Tilley
- Des Matériaux – Jean-Paul Bailon et Jean-Marie Dorlot

 1A chi 402	Physico-chimie Intervenant : Corine SIMONNET	CM : 12 h TD : 3 h Evaluation 2 h
--	--	---

OBJECTIFS

Les connaissances de la chimie des solutions ont pour but de préparer les étudiants à comprendre les réactions physico-chimiques susceptibles d'intervenir à la surface ou au cœur des métaux et de leurs alliages.

L'objectif de ce cours est de communiquer aux étudiants les notions fondamentales concernant les équilibres acido-basiques, les équilibres de précipitation, les équilibres d'oxydoréduction, ceci afin d'avoir accès aux diagrammes de Pourbaix : diagrammes potentiels – pH, utiles pour les métallurgistes.

Ce cours a pour ambition d'aider les élèves de première année à revoir ou à découvrir pour certains ce qu'apporte la chimie à la métallurgie.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Notions sur les éléments chimiques et la classification périodique
- Nomenclature de base des espèces chimiques
- Calcul de concentration
- Lois quantitatives (stœchiométrie)
- Utilisation des logarithmes en base 10

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Ions métalliques – Solutions ioniques – Electrolytes – Equilibres – Constante d'équilibre – Acide, base – Oxyde, réducteur – Oxydoréduction – Précipitation – Diagrammes de Pourbaix

Key words

Metallic ions - Ionic solutions - Electrolyte solutions - Equilibria - Equilibrium constant - Acid, base - Oxide, reductant - Oxydoréduction - Precipitation - Pourbaix's diagrams -

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD inclus)

Etre capable de :

- Calculer le pH d'une solution
- Calculer le produit de solubilité des Hydroxydes
- Savoir équilibrer des équations des réactions d'oxydo-réduction
- Prévoir dans quel sens une réaction d'oxydo-réduction va se dérouler
- Aborder la notion de solubilité
- Etablir un diagramme de Pourbaix

Physico-Chimie

Corine SIMONNET

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) La classification périodique : place des métaux – Structure électronique – Nombres d'oxydation des ions métalliques – Propriétés générales sur les métaux en solution aqueuse - Les solutions ioniques ; électrolytes forts et électrolytes faibles. Les constantes d'équilibres - Déplacement d'équilibre : loi de Le Chatelier

CM 2 (2 h) Notions de pH : Définition - pH des acides forts - pH des bases fortes. pH des acides faibles – pH des bases faibles - Solutions tampons – Echelle des constantes d'équilibre - Force des acides et des bases faibles – Courbes de dosage des acides forts ou faibles et des bases fortes.

TD (1 h) Exercices

CM 3 (3 h) Equilibres d'oxydoréduction : nombre d'oxydation – Oxydant, réducteur, couple oxydo-réducteur – Potentiel d'électrode – Notion de potentiel standard – Echelle des potentiels standards – Rapport entre énergie libre standard, potentiel standard et constante d'équilibre.

CM 4 (2 h) Oxydoréduction (suite) – Les piles : piles Daniell – Piles avec électrodes différentes – Précipitation des hydroxydes en fonction du pH, couples oxydo-réducteurs en fonction du pH.

TD (1h) Exercices

CM 5 (2 h) Equilibres de précipitation : notion de solubilité, expression du produit de solubilité fonction de la solubilité Précipitation des hydroxydes en fonction du pH, couples oxydo-réducteurs en fonction du pH.

Etude du fer : établissement du diagramme potentiel - pH des systèmes Fe(II)/ Fe, Fe(III)/ Fe(II) – Diagrammes de Pourbaix.

TD (1h) Exercices

BIBLIOGRAPHIE

Les cours de Paul Arnaud, Chimie Générale,
7^{ème} édition du cours de chimie physique, Dunod Edition

 1A sdm 501	Résistance des matériaux Intervenant : Eric BONEL	CM : 18 h TD : 9 h Projet : 6h encadré; 12h travail autonome Evaluations : 2 h; 2 rapports projet
--	---	--

OBJECTIFS

Les structures utilisées dans les ensembles en mécanique doivent être capables de transmettre des forces, des couples, de l'énergie ou de la puissance sans être victimes d'endommagements qui les rendent inutilisables ou impropres à leur utilisation.

Leur dimensionnement optimum est une priorité au vu des cahiers des charges associées.

La Résistance des Matériaux permet dans le cas des poutres d'apporter des solutions analytiques simples et exactes et de procéder à une première approche de posttraitement de données issues de calculs par éléments finis.

Cette discipline est indispensable pour tout ingénieur pour comprendre le dimensionnement des pièces.

Le cours permet la compréhension des phénomènes réversibles résultants de l'application d'un système de forces à un milieu solide (élasticité, notion de plasticité).

Le cours est étoffé par l'étude d'exemples se rapportant aux notions présentées et suivi d'un projet en binôme.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Outils mathématiques (calcul vectoriel, calcul matriciel, produit scalaire, produit vectoriel)

Notion de mécanique : Forces, moments, transport des moments (relation de Varignon) ; Principe fondamental de la statique

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Courbe de traction – Forces – Moment – Tenseurs de contraintes et de déformations (3D) – Cercle de Mohr – Elasticité linéaire : généralités sur la RDM – Etats de contraintes et de déformations dans les poutres – Plasticité – Dépouillement de rosettes – Eléments finis.

Projet : pré-dimensionnement, conception préliminaire, vérification du dimensionnement

Key words

Traction curve – Loading – Stresses – Strains – Tensors of constraints and deformations (3D) – Linear elasticity : generalities on mechanics of materials – Constraints and deformations path 1D – Plasticity – Experimental mechanics of materials – Strain gage

Practical works : Extensometry

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et Projet)

Etre capable de :

- Mettre en œuvre une démarche de dimensionnement de composants assimilés à des poutres :
 - Calculer en toute section courante d'une poutre : les caractéristiques géométriques, les efforts de cohésion, les contraintes normales et tangentielles
 - Connaître les relations contraintes - déformations (la loi de HOOKE en élasticité),
 - Utiliser les critères à la limite d'élasticité
- Post-traiter des données dans le cas d'un état de contrainte (ou de déformation) quelconque (3D), accéder aux directions et contraintes (déformations) principales, aux contraintes de cisaillement (distorsion) maximales.
- Mettre en œuvre une démarche de conception (pré-dimensionnement, conception préliminaire, vérification du dimensionnement) à partir d'un projet.

Résistance des matériaux

Eric BONEL

PLAN DÉTAILLÉ

9 Séances de 3 heures avec 2/3 cours et 1/3 TD (étude de cas) :

Evaluation de 2h

- Résistance des Matériaux (Généralités, hypothèses, tenseur de cohésion, notion de contrainte)
- Sollicitations simples :
 - Traction, compression
 - Cisaillement, torsion
 - Flexion pure et plane
- Sollicitations composées : Flexion composée
- Critères de limites élastiques (critères de limites élastiques : Von Mises et Tresca)
- Etude des structures hyperstatiques (Méthode de superposition, Méthode d'intégration)
- Analyse des contraintes planes (contraintes principales, cercle de Mohr, Tenseur de contrainte)
- Analyse des déformations (Déformations principales, jauges de déformations : Loi de Hooke généralisée)

Projet de conception : Tir Bouchon

Eric BONEL

Séquence 1 : **Pré-dimensionnement (3h encadré ; 6h travail autonome)**

- Etude statique paramétrée, détermination des efforts aux liaisons
- Dimensionner les poutres et les axes d'articulation par la RDM (section, matériaux, coefficient de sécurité)
- Valider le dimensionnement après prise en compte des concentrations de contraintes

Séquence 2 : **Conception préliminaire (travail autonome)**

- Modéliser le mécanisme en CAO

Séquence 3 : **Vérification du dimensionnement (3h encadré ; 6h travail autonome)**

- Mener une étude par éléments finis
- Comparer les résultats RDM et éléments finis

Les séquences 1 et 3 seront évaluées à partir de deux rapports (rédigés en binôme).

BIBLIOGRAPHIE

Elasticité – HENRY – Dunod 1982

Résistance des matériaux – KERGUIGNAS – Dunod

Résistance des matériaux – Tomes I et II – TIMOSHENKO – Dunod 1968

Encyclopédie de mesures des contraintes – VISHAY

Mécanique des structures – TROMPETTE

Guide de Mécanique – FANCHON - Nathan

 1A sdm 502	Métallurgie structurale Intervenants : Georges CHAPPUIS, Crystèle LAGUERRE, MM. MEDDOURI, RAOULT, MANIERE	CM : 20 h TD : 12 h TP : 16 h Evaluation : 3 h
--	---	---

OBJECTIFS

Les matériaux métalliques sont présents dans des domaines techniques très divers : construction mécanique, industrie aéronautique et spatiale, armement, centrales thermiques, réacteurs nucléaires, industries chimiques, cryogénie... Dans ces mêmes domaines, les progrès effectués sur les matériaux utilisés ont largement contribué à l'amélioration des performances.

L'objectif de ce cours est de communiquer aux élèves apprentis les connaissances fondamentales concernant la structure des matériaux métalliques ainsi que l'évolution de leurs propriétés, physiques et mécaniques, en fonction de certains paramètres. L'acquisition de ces connaissances devrait leur permettre à la fois de mieux appréhender les solutions technologiques qui sont actuellement retenues dans les différents domaines techniques évoqués et de les aider ultérieurement à résoudre le problème toujours très délicat du choix d'un matériau en vue d'une nouvelle réalisation.

Ce cours a également pour but de donner aux élèves les notions indispensables à la compréhension des cours de métallurgie de deuxième année, beaucoup plus ciblés par famille d'alliages.

Il est illustré par des travaux pratiques visant à comprendre les corrélations structures/propriétés d'alliages.

PRÉREQUIS au cours de Métallurgie (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Pour les mathématiques : connaissance des fonctions classiques (fonction affine, logarithmique, exponentielle, trigonométrie), nombres complexes, relations métriques dans le triangle rectangle et quelconque, produit scalaire, produit vectoriel, calcul intégral et différentiel.

Pour la physique : notions de mécanique, de force, de pression, de densité, de masse volumique, notions de thermodynamique, d'échanges énergétiques, règles de base en optique.

Pour la Chimie : notions sur les particules élémentaires, la liaison chimique, la classification périodique des éléments (structure des atomes, famille d'éléments, électronégativité, électropositivité, valence), oxydation, réduction, acidité, basicité, pH.

Liens avec d'autres enseignements : Structure de la matière (1A), Thermodynamique (1A), Résistance des matériaux (1A) + tous les cours sur les familles d'alliages de 2A.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Cristallographie et diffraction des rayons X – Solutions solides, phases intermédiaires – Diagrammes d'équilibre, diagrammes TTT et TRC – Transformations structurales par diffusion et cisaillement – Déformation plastique des alliages – Propriétés mécaniques (traction, résilience, dureté).

TP Supméca : métallographie et propriétés mécaniques – TP CTIF : MEB et diffraction X.

Key words

Cristallography – Solid solutions – Metallic materials – Diffusion – Equilibrium diagrams – TTC et TRC diagrams – Static mechanical properties.

.../...

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- reconnaître les sept systèmes cristallins et les quatorze réseaux de Bravais
- classer les métaux et les principales phases métalliques en fonction de leur structure cristallographique
- indiquer un atome, une direction et un plan dans un réseau cristallographique (indices de Miller Bravais)
- calculer une distance inter-réticulaire dans les réseaux cristallins définis par un système d'axes orthogonaux 2 à 2 (orthorhombique, quadratique, cubique) ainsi que dans le système hexagonal
- établir la loi de Bragg
- reconnaître les principaux défauts rencontrés dans les réseaux cristallins et prévoir leur incidence sur les propriétés et le comportement des métaux et alliages
- décliner les propriétés physiques des principales mailles cristallines
- identifier pour un métal pur ou pour un alliage monophasé, à partir de la suite des angles des raies de diffraction obtenues sur un diagramme de diffraction de Rayons X, la structure cristallographique de la phase métallique étudiée
- calculer, toujours à partir d'un diagramme de raies de diffraction X, dans le cas d'un mélange de plusieurs phases métalliques, les proportions de chacune d'entre elles
- exploiter un diagramme d'équilibre binaire avec reconnaissance de la nature des différentes solutions solides, prévision des effets alpha-gène ou gamma-gène entre métaux, utilisation des règles de la variance et des segments inverses pour le calcul des proportions des différentes phases métalliques constitutives d'un alliage
- citer et de commenter les principales phases constitutives des aciers
- distinguer à l'échelle du microscope optique, dans le cas des aciers faiblement alliés, les structures d'équilibre (ferrite, cémentite, perlite) des structures hors d'équilibre (bainite, martensite)
- décrire les différents phénomènes physico-chimiques (diffusion, cisaillement) qui se produisent au cours des principaux traitements thermiques des aciers (recuit, trempe, revenu)
- expliquer à partir d'un modèle simplifié de germination et croissance la forme des diagrammes TTT (et en particulier l'existence d'un nez correspondant à une position optimale)
- prédire à partir de la lecture des diagrammes d'équilibre ou des diagrammes TTT (ou encore des diagrammes TRC) les microstructures obtenues et l'influence des traitements thermiques sur les caractéristiques mécaniques de celles-ci
- dépouiller et interpréter les résultats expérimentaux obtenus avec les principaux tests d'essais mécaniques (dureté, résilience, traction)
- expliquer, à l'échelle du réseau cristallographique, les mécanismes physiques intimes de déformation plastique justifiant de l'allongement rémanent des métaux et alliages avant leur rupture finale (glissement, maclage)
- établir la loi de Schmid et Boas et l'appliquer aux calculs de la contrainte critique à atteindre pour déclencher le mécanisme de glissement
- définir et calculer un taux de maclage
- justifier le choix de certains alliages utilisés pour la conception et la réalisation de pièces mécaniques isolées ou d'ensembles plus complexes.

Métallurgie Structurale

Georges CHAPPUIS

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (2 h)	Présentation de l'état cristallisé – Réseaux de Bravais – Systèmes cristallins – Indices d'une direction, d'un plan cristallographique (notation de Miller) – Cas du système hexagonal (4 ^{ème} indice) – Angles entre directions, entre plans cristallographiques – Directions et plans cristallographiquement équivalents – Distance inter-réticulaire – Loi de Bragg – Diagrammes de diffraction X.
TD 1 (1 h)	Exercices

CM 2 (2 h)	Mailles cristallines CC, CFC et HC – Nombre d'atomes par maille – Directions et plans de plus haute densité atomique – Coordinence, compacité – Tenseur métrique d'une maille – Défauts réticulaires : ponctuel (lacune, atome "étranger"...), linéaire (dislocations, coins et vis) et plan (fautes d'empilement).
TD 2 (1 h)	Exercices

CM 3 (3 h)	Application de la diffraction des rayons X au dosage de phases métalliques – Notion de phase métallique – Présentation d'un diagramme de diffraction X, d'un matériau monphasé – Identification de la structure et calcul du paramètre de maille – Calcul du facteur de structure pour les mailles CS, CC et CFC – Dosage de phases : Application à la détermination de la fraction volumique d'austénite dans un acier inoxydable austénito-martensitique par la méthode des couples et des intensités normalisées.
------------	--

CM 4 (2 h)	Solutions solides – Miscibilité totale ou partielle – Concentration limite de solubilité – Solution solide d'insertion – Sites interstitiels octaédrique et tétraédrique – Taille de sites – Calcul des rapports r_i/R_s dans les structures CC, CFC et HC – Solutions solides de substitution – Règles de Hume Rothery – Effet de solution solide – Phases intermédiaires – Solutions solides secondaires – Composés définis – Solutions solides ordonnées.
TD 3 (1 h)	Exercices

CM 5 (3 h)	Diagrammes d'équilibre – Influence de la température et de la composition chimique sur la structure d'un alliage – Composition pondérale et composition atomique – Règles régissant les diagrammes d'équilibre : règle de la variance (Gibbs), règle des segments inverses – Présentation de différents diagrammes d'équilibre binaires simples : diagramme à fuseau simple, diagramme avec eutectique, avec péritectique, avec solution solide secondaire ou composé défini.
------------	---

CM 6 (2 h)	Diagrammes d'équilibre complexes – Transformations allotropiques du fer – Diagrammes Fe-C et Fe-Fe ₃ C – Définition des aciers et des fontes, des termes austénite, ferrite, cémentite, perlite – Description des transformations structurales qui se produisent au cours du refroidissement lent d'un alliage (cas du recuit) – Autres cas de traitements thermiques : la trempe et le revenu – Diagrammes Fe-Ni et Fe-Cr – Effet alpha-gène ou gamma-gène.
TD 4 (2 h)	Exercices

CM 7 (2 h) Transformations structurales par germination et croissance – Modèle de germination – Diffusion dans l'état solide (lois de FICK) – Evolution du coefficient de diffusion avec la température – Mécanismes élémentaires de la diffusion – Approche thermodynamique : calcul de l'énergie à fournir pour transformer un embryon en germe stable – Synthèse des aspects diffusion et thermodynamique de Becker – Cinétique de germination – Morphologie de la germination – Application à la construction d'un diagramme TTT – Diagrammes TRC – Vitesse critique de trempe.

TD 5 (2 h) Exercices

CM 8 (2 h) Déformation plastique des alliages – Définition de la plasticité – Résistance à la traction du matériau polycristallin – Courbe de traction expérimentale – Caractéristiques mécaniques conventionnelles : limite d'élasticité, charge et allongement à la rupture, striction – Courbe de traction rationnelle – Grandeurs réelles ou vraies – Loi d'Hollomon – Coefficient et taux de consolidation – Résistance à la traction du monocristal : glissement, systèmes de glissement, loi de Schmid et Boas, notion de contrainte critique – Mécanismes élémentaires du glissement – Maclage : présentation d'un maclage dans un CFC de données cristallographiques (111) [112].

TD 6 (2 h) Exercices

Travaux pratiques réalisés au Laboratoire de Métallurgie de CTIF

Bertrand MANIERE – Jacques RAOULT

- TP 1 (4 h) Métallographie et traitement thermique
- TP 2 (4 h) Examen de structures à l'état d'équilibre et hors d'état d'équilibre, bases Al, Fe, Cu
- TP 3 (4 h) Détermination des propriétés mécaniques conventionnelles et rationnelles en traction
- TP 4 (4 h) Caractérisation mécanique par essais de dureté et par élasticimétrie pendulaire Le Rolland-Sorin
-

MEB et diffraction X – TP au Ctif

Crystèle LAGUERRE – Rachid MEDDOURI

- CM (1h30) Principe de fonctionnement d'un MEB – Interactions rayonnement matière –
C. Laguerre Détecteur d'électrons secondaires – Détecteur d'électrons rétrodiffusés – Résolutions – Exemple d'imagerie – Principe de la microanalyse X – Comparatif WDS et EDS – Principe de la diffraction X
- TD (1h30*3gr) Présentation générale du MEB et de la microanalyse X avec manipulations dans
R. Meddouri le but d'illustrer plus concrètement la théorie présentée lors du cours
- TD (1h30*3gr) Principe de fonctionnement d'un diffractomètre
C. Laguerre Exemples d'application et illustration du cours théorique.
-

BIBLIOGRAPHIE

Introduction à la métallurgie générale de J. LEVY – Les Presses de l’Ecole des Mines de Paris.

Métallurgie générale (2^{ème} édition) de J. BENARD, A. MICHEL, J. PHILIBERT et J. TALBOT – Edition MASSON.

Précis de métallurgie (élaboration, structures, propriétés et normalisation) de J. BARRALIS et G. MAEDER – AFNOR-Nathan.

Matériaux industriels – Matériaux métalliques de M. COLOMBIÉ et COLL – DUNOD.

Théorie et Technique de la Radiocristallographie de A. GUINIER – DUNOD.

Constitution of binary alloys - HANSEN – Mc GRAW HILL BOOK COMPANY.

Atlas des COURBES de TRANSFORMATION des aciers de fabrication française – IRSID.

Des matériaux (3^{ème} édition) de J.P. BAILON & J.M. DORLOT– Presses Internationales Polytechnique (Montréal).

 1A cpm 601	Conception et fabrication mécanique (dessin industriel) Intervenant : Jérôme DUCHEMIN	CM : 12 h TD : 3 h TP : Evaluation : 3 h
--	--	---

OBJECTIFS

Les "plans papiers" sont encore, à ce jour, très présents dans l'industrie.

A partir de ce constat, il est nécessaire de maîtriser la lecture traditionnelle du dessin technique en exerçant la « vision dans l'espace » sans l'aide de l'outil informatique.

A l'issue de cette formation, l'élève ingénieur doit être capable d'interpréter sans ambiguïté la géométrie des pièces étudiées afin de procéder à leur industrialisation.

Pour parvenir à ce résultat, le cours présentera donc les notions de :

Géométrie descriptive :

- Principes et rappels.
- Représentation du point, de la droite, du plan.

Intersections :

- Méthode de la surface auxiliaire (plan ou sphère).
- Les points limites- Les points intermédiaires - Tracé sur les plans de projection.
- Intersection cylindre/plan, Cylindre/cylindre.
- Tracé point par point de l'ellipse.

Dessin industriel :

- Principes et rappels - La norme - Les vues - Les types de traits - Les spécifications (dimensionnelles, géométriques, de formes).
- Les coupes par plan unique, par plans parallèles ou sécants.
- Représentations normalisées.
- Perspective cavalière et isométrique

PRÉREQUIS :

Maîtrise des définitions de surfaces géométriques dans le plan et l'espace

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Géométrie descriptive – Intersections – Lecture de plan – Vues extérieures – Coupes – Sections – projection orthogonale – vues annexes – normes NF E - Perspective

Key words

Descriptive geometry – Intersections – Blueprint reading – Outside views – Section views – Orthogonal projection – secondary views - standards NF E – Perspective views

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD, DM)**Etre capable de :**

- A partir de plans 2D (papier ou numérique formats PDF, DXF, DWG), être capable d'interpréter sans ambiguïté les volumes de pièces complexes.
- L'enseignement dispensé doit permettre de s'appropriier les techniques graphiques traditionnelles liées à la conception de pièces mécaniques, sans pour autant devenir des dessinateurs à "l'ancienne".
- De reconnaître les formes complexes relatives aux pièces de fonderies et de forges.
- Être capable d'exprimer convenablement et à main levée la forme générale d'une pièce en perspective.

Conception et fabrication mécanique**PLAN DÉTAILLÉ***Jérôme DUCHEMIN*

Les séances sont basées sur la pratique où le dessin "crayon / papier" et la "vision dans l'espace" représentent l'essentiel de la formation. Chaque CM (cours magistral), comporte 1 heure de TD. Ils seront complétés par des DM (devoirs maison)

CM 1 (3 h) Les différents types de représentation des produits en vues extérieures (Correspondance des vues - projections orthogonale - perspectives) : 8 exercices basiques + Cale de réglage et chape

CM 2 (3 h) Vues projetées extérieures : corps de butée, support de guidage, commande de mors

CM 3 (3 h) Vues extérieures et typologie des coupes (planes, partielles, sections, rabattues, sorties...), 5 exercices basiques +, bloc support, corps de contre-pointe

CM 4 (3 h) Lecture de spécifications dimensionnelles et géométriques d'un dessin de définition : support d'axe
Coupes par plans parallèles : corps de pompe main

CM 5 (3 h) Synthèse : corps de pompe main, corps de mandrin

Examen (3h) Synthèse : Vues extérieures, coupes, intersection

 1A cpm 602	Initiation à la conception de pièces moulées (études de moulage au sable) Intervenant : Philippe COSTES – Didier TOMASEVIC – Claude BLAQUE – Serge ROOSE	CM : 14 h TD : 42 h Projet : 16 h Evaluation : 8 h
--	---	--

OBJECTIFS

L'étude de fabrication d'une pièce de fonderie, appelée "étude de moulage" au sein de la Profession, correspond à la recherche et à la définition, à partir d'un plan et d'un cahier des charges d'une pièce finie, des méthodes et moyens à mettre en œuvre pour réaliser cette pièce dans un procédé de moulage en moule non permanent.

Situé à la base du dialogue entre le client, le modelleur et le fondeur, l'étude de moulage résulte d'un travail effectué par le bureau des méthodes en relation avec le bureau d'études.

A partir de la définition de la pièce fournie par le client, l'étude de moulage permet de définir le procédé de moulage retenu, de prévoir la conception des outillages, de déterminer les différentes opérations permettant la réalisation, l'organisation et le chiffrage de la fabrication.

Le caractère très professionnel de cette discipline nécessite un minimum de culture technique de fonderie. Les titulaires d'un BTS Fonderie (1/5 de l'effectif) possèdent en principe les bases qui leur permettent d'aborder les premières études, mais l'origine des élèves apprentis étant très diverse (DUT, Licence, Math Spé...), une remise à niveau est donc nécessaire dans le but "d'harmoniser" les connaissances de chacun et plus particulièrement la lecture de dessin.

Les objectifs de cours, qui s'adresse principalement aux non-initiés, sont : la découverte d'un vocabulaire technique et la présentation d'une méthode de travail qui leur permettront d'aborder ultérieurement des sujets orientés vers des fabrications de pièces moulées très diverses de formes de plus en plus complexes et dans différentes métallurgies.

Les études données en première année ont pour but d'initier les élèves apprentis à des notions importantes : étude des 6 sens, analyse commentée, choix et justification du sens retenu, dénombrement et découpage des noyaux, opération de remmoulage, dessin des boîtes à noyaux, calcul des systèmes de remplissage et d'alimentation (masselottage), industrialisation...

La progression des sujets proposés en étude de moulage doit permettre de :

- surmonter des difficultés croissantes dans les formes et la géométrie des pièces,
- prendre en compte les moyens techniques de la fonderie,
- établir un cahier des charges plus complet et détaillé,
- intégrer les aspects économiques de la production : cadence, implantation, organisation des postes de travail...
- étudier plusieurs nuances d'alliages différents.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Notions élémentaires de fonderie enseignées lors des travaux pratiques d'initiation au moulage sable (moulage main, moulage machine et noyautage), par Philippe MONTEL-MARQUIS à l'ENSAM de Châlons en Champagne. (en préalable du 1^{er} cours CM1)

Connaissances appliquées en dessin industriel, cours de Éric GIRAN. (notions de base : lecture de plan et cotation, souhaitables avant CM1 et TD1, indispensables à partir du TD2a)

Cours et travaux pratiques sur le dimensionnement des dispositifs d'alimentation et de remplissage des pièces moulées en sable, par Didier TOMASEVIC. (cours à programmer idéalement après le CM3, cours indispensables à partir du TD2b)

.../...

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Présentation graphique de l'étude de moulage – Plan de joint – Sens de moulage – Noyaux – Portée – Motte – Talon – Support – Surépaisseur d'usinage – Dépouilles – Dessin de pièce brute – Retrait – Modèles – Plaque modèle – Boîtes à noyaux – Châssis – Système d'alimentation – Masselottage – Masselottes – Retassure – Module – Refroidisseur – Système de remplissage – Descente – Canaux - Attaques – Echelonnement – Event – Sable de moulage – Bentonite – Couche/Enduit – Soufflure

Key words

Foundry methods drawing – Parting line – Molding position – Cores – Core print – Inset core – Strengthened coreprint – Chaplet – Machining allowance – Drafts – Drawing of rough casting – Shrinkage – Patterns – Pattern plate – Core boxes – Flask – Feeding system – Feeding – Feeders/Risers – Shrinkage cavity – Modulus – Densener – Running system – Sprue – Gate – Spread – Whistler – Molding sand – Bentonite – Coating – Blowhole

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Définir le sens de moulage le mieux adapté et le justifier en tenant compte de la facilité d'alimentation de la pièce, de la position des parties usinées, de la stabilité des noyaux, des points de départ d'usinage, d'un remplissage calme, de la possibilité d'évacuer les gaz des noyaux, ...
- Représenter au plan, sur plusieurs vues, à partir de la définition de la pièce finie, le tracé de la pièce brute, en tenant compte des surépaisseurs d'usinage, la coupe du moule remmoulé comprenant le ou les joints de moulage, le découpage des noyaux avec les portées et leur ordre de remmoulage, les démontabilités du modèle, ...
- Calculer le poids de la pièce brute par décomposition de la forme en volumes élémentaires.
- Déterminer le procédé de moulage et de noyautage retenus compte tenu de la quantité de pièces à réaliser, des dimensions, des tolérances imposées, ...
- Définir complètement les outillages, modèle et boîtes à noyaux, en fonction de la quantité de pièces à réaliser et de la durée d'utilisation, en indiquant le retrait linéaire à prévoir.
- Dessiner la boîte à noyau sur au moins deux vues, pour le noyau le plus complexe, en précisant les faces de remplissage, de raclage et de stockage.
- Prévoir et schématiser les accessoires nécessaires tels que calibre de remmoulage, armature spéciale, système de manutention, ...
- Calculer complètement les systèmes de remplissage et d'alimentation, suivant la méthode du CTIF enseignée, et les représenter au plan.
- Indiquer la composition exacte des matériaux qui devront constituer les moules et les noyaux.
- Proposer éventuellement l'alliage le mieux adapté aux conditions d'utilisation de la pièce, si celui-ci n'est pas imposé, en indiquant la composition chimique et les caractéristiques mécaniques.
- Critiquer la géométrie de la pièce et proposer des aménagements de forme afin d'optimiser la fabrication de la pièce moulée sans nuire aux caractéristiques imposées.

Initiation à l'étude de moulage au sable

Philippe COSTES

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3h)	Objectifs et contenu de l'étude de moulage Relations Concepteur / Méthodes fonderie / Modeleur – Cahier des charges (contenu, normalisation) Rappels : Synoptique de fabrication en moulage non permanent - Les sables de moulage et de noyautage (classification, utilisation, composition, caractéristiques) - Classification des procédés de moulage destructible - Principe des différents procédés et outillages associés Définition des bruts : surépaisseurs d'usinage et tolérances dimensionnelles, dépouilles, représentation des plans de joints
CM 2 (3h)	Modèles : classification, construction, plaques modèles - Retrait linéaire : valeurs usuelles, retrait anisotrope, modèle corrigé (ingénierie inverse) Noyaux : rôle et représentation – Portées de noyaux : fonctions, différents types, tracé, cotation et jeux Boîtes à noyaux : classification, normalisation, accessoires, représentation Démarche de l'étude de moulage : étude des 6 sens de moulage et points fondamentaux à analyser pour assurer santé, exactitude, économie. Exemples
CM 3 (3h)	Défauts de fonderie : défauts courants (retassures, soufflure, piquûres, criques, retirures d'angle, gales, reprise, mal venue, ...), causes et solutions. Calcul du poids de la pièce Système d'alimentation : objectif et règles générales de dimensionnement*, solidification dirigée, masselottes (différents types, tracé), refroidisseurs Dispositif de remplissage : rôle, description des différents composants, éléments de calcul*, tracé Chargement des moules : calcul du poids de charge (* : Ces 2 chapitres particulièrement importants font l'objet par la suite de cours spécifiques)
TD 1 (3h)	Etude de moulage : présentation graphique, recommandations et conseils pour mener une étude de moulage Pièce «corps de robinet» (étude dirigée de moulage, définition des outillages) : - Cas du moulage de petite série / pièce unitaire - Cas du moulage en grande série
TD 2a (3h)	Présentation du moulage et des outillages en petite, puis grande série, de pièces pédagogiques : «boîtier carter», «tubulure» Etude de moulage en grande série de la pièce « support de broche pour tour à bois » (étude accompagnée puis travail personnel hors séances TD2 avec <u>compte-rendu évalué</u>) : Surépaisseurs d'usinage, analyse critique des 6 sens de moulage, définition du brut, dimensionnement des portées de noyau, mise en plaques modèles avec dispositifs de masselottage et de remplissage (sans calcul de ces derniers).

-
- TD 2b (3h) Poursuite de l'étude de moulage du « support de broche pour tour à bois » : Décomposition de la pièce et calcul des différents modules puis de la masselotte (voire aussi du refroidisseur sur le bossage), calcul du dispositif de remplissage (avec chenal dégressif pour plusieurs empreintes), dessin coté du moule, détermination de la mise au mille, préparation de la fiche de fabrication
-
- CM 4 (2h) Les principaux alliages coulés en fonderie : normalisation, présentation des caractéristiques et aptitudes de fonderie (choix de l'alliage), composition chimique
Règles de base pour l'optimisation du tracé des pièces moulées
- TD 3 (1h) Etude dirigée sur pièce « support de console » (étude de moulage et optimisation du tracé de pièce)
-
- TD 4a (3h) Etude de moulage en petite série de la pièce « noix d'assemblage » (étude accompagnée puis travail personnel hors séances TD4 avec compte-rendu évalué) :
Surépaisseurs d'usinage, analyse critique des 6 sens de moulage, définition du brut, dimensionnement des portées de noyaux, dessin du moule
-
- TD 4b (3h) Poursuite de l'étude de moulage de la « noix d'assemblage » : dimensionnement de la masselotte (voire aussi des refroidisseurs) puis du dispositif de remplissage, dessin coté du modèle et des deux boîtes à noyaux.
-

Domaine d'application des matériaux et procédés



Didier TOMASEVIC

-
- CM 1 (3h) Matrice de choix des alliages de coulée et des procédés en fonderie
Exemple de choix alliage/procédé
-

Etudes de Moulage

Quatre études de moulage pilotées :

- EMP 1 et 2 : TD2ab (6h) & TD4ab (6h) (*Philippe COSTES*)

Les 1^{ère} et 2^{ème} études correspondent chacune à un travail piloté de 3 heures (TD), suivi d'un corrigé de 3 heures (TD).

- EMP 3 : Etude de moulage sans système d'alimentation : choix justifié du sens de moulage; découpage des noyaux (cohérence, fonctionnalité, stabilité au remmoulage et à la coulée) ; calcul du dispositif de remplissage; définition des sables de moulage et de noyautage).
- EMP 4 : Etude de moulage complète avec identification du système d'alimentation.

Les EMP 3 et EMP 4 sont réalisées en binôme, en 7 h. Les documents corrigés sont rendus avec une solution-type. (Claude BLAQUE)

Deux études de moulage à domicile : Elles correspondent chacune à un travail personnel de 8 h suivi d'un corrigé de 3 heures, réalisé en travaux dirigés (TD). (*Claude BLAQUE*)

- EMD 1 : Etude de moulage sans système d'alimentation : choix justifié du sens de moulage, découpage des noyaux (cohérence, fonctionnalité, stabilité au remmoulage et à la coulée), calcul du dispositif de remplissage; définition des sables de moulage et de noyautage, calcul de la masse de la pièce brute.
- EMD 2 : Etude de moulage complète avec identification et calcul partiel du système d'alimentation.

Les EMD 1 et EMD 2 sont réalisées en binôme.

Une étude moulage – Examen en 8 heures (Ev) : Elle contient une synthèse des éléments abordés au cours des EMP 1 à 4 et EMD 1 et 2. Elle est suivie d'un corrigé de 6 heures, réalisé en TD avec approfondissement des connaissances. (*Claude BLAQUE et Serge ROOSE*)

BIBLIOGRAPHIE

Norme NF EN 12890 : modèles, outillages et boîtes à noyaux pour la production des moules et noyaux en sable.

Norme NF EN ISO 8062-3 : tolérances dimensionnelles et géométriques générales et surépaisseurs d'usinage pour les pièces moulées.

Norme NF EN ISO 10135 : indications sur les dessins pour pièces moulées dans la documentation technique de produits.

Techniques de l'Ingénieur :

Réf. : M3510 "Techniques de fabrication - Généralités" – Pierre CUENIN

Réf. : M3512 "Moulage - Noyautage" – Pierre CUENIN

Réf. : M3575 "Sables et matériaux de moulage de fonderie" – Philippe JASSON

Réf. : M3535 "Outillages de fonderie" – Pierre CUENIN

- Réf. : M3585 "Outillage de fonderie - Conception" – Sylvain PERRET
- Réf. : M3586 "Outillages de fonderie - Fabrication et évolutions" – Sylvain PERRET
- Réf. : M751 "CFAO en fonderie" – Daniel AUTHELET
- Réf. : M3638 V2 "Fonderie d'aluminium : défauts et conception des pièces" –
Michel GARAT et André LE NÉZET
- Réf. : M59 "Solidification - Macrostructures et qualité des produits" – Gérard LESOULT
- Réf. : M3530 "Contrôle. Qualité" – Pierre CUÉNIN
- Réf. : M3540 "Spécification des pièces de fonderie. Normalisation. Ingénierie" –
Pierre CUENIN
- Réf. : M3659 "Parachèvement en fonderie - Ébarbage. Finition" – Jean-Marie BRIARD
- Réf. : M3660 "Contrôles en fonderie - Principes" – Gérard FACY
- Réf. : M3661 "Contrôles en fonderie - Mise en oeuvre" – Gérard FACY
- Réf. : B7025 "Conception des gammes d'usinage" – Roland D. WEILL
- Réf. : M3565 "Remplissage des pièces moulées en sable. Notions fondamentales" –
Gilbert BELLANGER
- Réf. : M3566 "Remplissage des pièces moulées en sable. Système d'attaque" –
Gilbert BELLANGER
- Réf. : M3567 "Remplissage des pièces moulées en sable. Filtration en moule" –
Gilbert BELLANGER
- Réf. : M3631 "Fonderie d'acier. Coulée des grosses pièces" – Gilbert BELLANGER
- Réf. : M753 V2 (Archives) "Remplissage des pièces moulées en sable" –
Gilbert BELLANGER

Mémento de technologie de moulage (moules non permanents) – Marcel DUDOUET – Syndicat Général des Fondeurs de France

Initiation à l'Etude de Moulage – Cours à l'ESFF de François MOLLET et Lionel CAUX

"Conception et tracé des pièces en acier moulé - Guide pratique" par Gilbert BELLANGER – ouvrage ETIF, octobre 2003 ; 450 illustrations et tableaux + CD Rom

"Conception et tracé des pièces moulées en fonte - Guide pratique" par Gilbert BELLANGER – ouvrage ETIF, 2010 ; 313 pages

Masselottage et remplissage des pièces moulées en sable – Cours à l'ESFF de Didier TOMASEVIC

"Le remplissage des empreintes de moules en sable" – ouvrage ETIF, 2^{ème} édition 1984

"Masselottage en moulage sable" – ouvrage ETIF, 1994

"Précis de Fonderie : méthodologie, production et normalisation" par Gérard FACY et Michel POMPIDOU – ouvrage AFNOR, 2^{ème} édition

"Précis de Métallurgie : élaboration, structures-propriétés, normalisation" par Jean BARRALIS et Gérard MAEDER – ouvrage AFNOR/NATHAN, 1997

Cours et Travaux Pratiques de Fonderie à l'ENSAM, campus de Lille et de Châlons-en-Champagne

Etudes et Travaux Pratiques en section BTS Fonderie aux lycées d'Armentières, de Nancy et de Nogent-sur-Oise + section fonderie du lycée de Chartres.

 1A cpm 603	Initiation à la conception de pièces forgées (études de forgeage) Intervenant : Nicolas NEBOUT et Dominique CHALIGNE	CM : 9 h TD : 12 h TP : 18 h ESI : Evaluation : cc
--	--	--

OBJECTIFS

Le forgeage représente un procédé d'obtention de pièces mécaniques par déformation plastique à partir de matériaux métalliques massifs. Les principales techniques de forgeage sont :

- le forgeage à chaud qui comprend :
 - le forgeage libre utilisé pour les pièces unitaires ou en faible série et les ébauches
 - le forgeage par estampage pour les pièces en plus grandes séries produites dans des métaux ferreux
 - le forgeage par matriçage qui se distingue du forgeage par estampage du fait qu'il utilise des métaux non ferreux
- le forgeage à froid ou à mi-chaud, appelé le forgeage par extrusion.

L'objectif du cours est d'aborder ces différentes techniques de forgeage.

Le comportement des différents matériaux est présenté. Le cours s'appuie sur des concepts métallurgiques en reliant les températures de chauffage aux diagrammes d'équilibre de ces différents alliages. Les lois de comportement sont abordées en faisant notamment la liaison entre les contraintes, les vitesses et les températures de déformation. Les différentes machines de forgeage sont également présentées.

Suivant les différentes techniques de forgeage, l'objectif du cours est également de concevoir une pièce forgée et de connaître les règles élémentaires de tracé. Le tracé d'une pièce de forge est détaillé suivant les différentes techniques. Les abaques nécessaires sont fournis pour utilisation en autonomie. A partir du tracé de la pièce forgée l'objectif est aussi de prévoir sa gamme de fabrication. Seules quelques gammes élémentaires sont étudiées dans ce cours de première année.

Les pièces forgées présentent certaines caractéristiques mécaniques propres à ce procédé et dues aux effets du corroyage. Des exemples d'évolution des propriétés mécaniques sont exposés.

Une étude pilotée permet de mettre en application le cours avec notamment le tracé d'une pièce forgée à produire, ainsi que l'élaboration de sa gamme de fabrication.

Les travaux pratiques permettent de réaliser des pièces suivant différentes techniques de forgeage.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Aucun

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Forge – Forge libre – Estampage – Matriçage – Extrusion – Gamme de forgeage – Corroyage

Key words

Forge – Open die forging – Closed die forging – Closed die forging of non ferrous – Extrusion – Production process – Forging ratio

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**Etre capable de :**

- distinguer et définir les différentes techniques de forgeage
- concevoir une pièce forgée en utilisant les différentes règles de tracé
- comprendre les phénomènes métallurgiques mis en jeu lors de la déformation plastique
- connaître les différentes machines de forgeage ainsi que leurs principes de fonctionnement
- concevoir une gamme simple de fabrication
- aborder les principes de conception des différents outillages nécessaires
- connaître l'évolution des caractéristiques mécaniques dues à l'opération de forgeage
- appréhender la pratique de l'obtention des pièces : moyens de chauffage, machines de forgeage, montage et réglage des outillages

Initiation à la conception de pièces forgées**PLAN DÉTAILLÉ***Nicolas NEBOUT*

		S5-A
CM (9 h)	Les procédés de forgeage : - différentes techniques de forgeage - les trois sous-systèmes d'une opération de forgeage Conception d'une pièce forgée – Exemples : - Cas du forgeage libre - Cas du forgeage par estampage - Cas du forgeage par matriçage - Cas du forgeage par extrusion Le corroyage – influence sur les propriétés mécaniques	
TD (12 h)	Étude pilotée et correction : - Forge libre - Estampage	S6

S5-B

TP "Forge" au Lycée Marie Curie de Nogent/Oise*Nicolas NEBOUT et Dominique CHALIGNE*

TP 1 (6 h)	Estampage d'une pièce sur presse mécanique. Evolution de l'effort de forgeage Fabrication d'une pièce par forgeage libre.
TP 2 (6 h)	Matriçage d'une pièce sur presse à vis. Préparation du lopin sur presse annexe. Matriçage ébauche. Matriçage finition
TP 3 (6 h)	Estampage d'une pièce sur marteau pilon, avec préparation de l'ébauche par forgeage libre, laminage ou roulage.

BIBLIOGRAPHIE

La forge en France AFF : Association Française de Forge – 92038 Paris la Défense Cedex
(ex SNEF : Syndicat National de l'Estampage et de la Forge)

Estampage et Forge A. CHAMOUARD, Tome 3, Dunod (épuisé)

Procédés de formage J. TRIOULEYRE, Delagrave (épuisé)

Précis de métallurgie BARRALIS, MAEDER, Nathan

Publications CETIM – 52 avenue Félix-Louat – BP 67 – 60304 Senlis Cedex

Tolérances et écarts admissibles Norme EN 10243-1

Publications AFF

Conception et tracé des pièces en alliage d'aluminium

L'extrusion

Logiciel Forge ® TRANSVALOR – Parc de haute technologie – Sophia Antipolis – 694 avenue
du Dr Maurice Donat – 06255 Mougins Cedex

Revue : la forge AFF – Christian DUMONT : le forgeage des superalliages base nickel (n°32)

Cours sur les alliages d'aluminium ESFF – 44 avenue de la Division Leclerc – 92310 Sèvres
(Guy HIERNAUX)

Brochures constructeurs machines

Brochures entreprises de forge

Vidéos de réalisation industrielles

 1A gdp 701	Sensibilisation aux métiers : Fonderie et Forge Intervenants : Jacques ABOUSEFIAN – Pierre-Yves BRAZIER – Philippe MONTEL-MARQUIS	CM : 6 h TD : TP : 24 h ESI : 4 h Evaluation : cc
--	--	---

OBJECTIFS pour la Fonderie

L'objectif de cet enseignement est de donner un aperçu très global des techniques de fonderie et une connaissance concrète de base dans les différentes techniques de production des ouvrages moulés. Il s'agit d'un cours d'introduction illustré par des travaux pratiques qui mettent les élèves en situation devant des problèmes concrets à réaliser.

Un des premiers objectifs de ces TP est de montrer aux élèves apprentis de 1^{ère} année et en particulier à tous ceux qui n'ont aucune notion de fonderie, le principe et la méthode de réalisation d'une pièce en moulage sable au travers des différentes phases de sa fabrication.

A partir de ces informations et en fonction des outillages proposés, les élèves sont amenés à réaliser des moules dont une grande partie couvre les difficultés et techniques de fabrication rencontrées en moulage sable, de manière unitaire ou en série.

Ces travaux pratiques ont également pour but d'informer et de faire utiliser les différents procédés de moulage en sable les plus utilisés en fonderie. Tous les moules réalisés sont coulés en alliages d'aluminium ou en fonte. Ces deux familles d'alliages permettent de mettre en évidence les contrôles, les traitements, les défauts et les remèdes à mettre en œuvre pour garantir et assurer la qualité et les contraintes du cahier des charges des pièces à réaliser.

Notion de moule : étude de moulage, fiches de fabrication, moulage, démoulage, système de coulée, noyautage, remmoulage, décochage, déburrage, grenaillage, ébarbage, finition.

Procédés : sables silico-argileux (synthétique, organophile), silicate de soude / CO₂, résines furaniques (malaxeur continu et discontinu), plaques modèles, machines à mouler et à noyauter.

Fusions et coulées : traitements et contrôles des alliages liquides, contrôle des pièces, défauts et remèdes proposés, sécurité individuelle et collective.

OBJECTIFS pour la Forge

L'objectif de cet enseignement est de donner un aperçu très global de la forge par :

- Une approche de l'historique de la métallurgie,
- Les éléments actuels de répartition des marchés et secteurs d'activité,
- La démonstration des avantages conférés par les procédés de forgeage,
- Un aperçu de métallurgie et des cycles de traitement thermique,
- Une introduction aux équipements de forgeage,
- Une introduction aux différents métiers et aux flux d'information dans une entreprise.

Ce cours présente de façon complémentaire les marchés et les raisons qui conduisent un client à opter pour cette technologie et l'étendue des domaines sur lesquels les apprentis vont devoir acquérir des connaissances.

Notion de métallurgie et de mécanique : Histoire, métaux de base des alliages, structures métallurgiques, fibrage et corroyage, traitement thermique, caractéristiques mécaniques, tenue en fatigue.

Critères de choix des Procédés : estampage, matriçage, forge à froid, forge libre, outillages.

Flux de l'entreprise : création des composants, création des process, chaîne numérique, organisation, liens avec clients et fournisseurs.

PRÉREQUIS pour le domaine d'application des matériaux et procédés

Connaissances générales des différents procédés de fonderie et des alliages de coulée.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Principaux alliages – Techniques de fusion, de moulage et de forgeage – Finition et parachèvement –

Moulage – Démoulage – Dépouille – Noyautage – Remmoulage – Préparation des sables – Contrôles des sables – Fusion – Traitement du métal liquide – Coulée – Décochage – Ebarbage – Finition – Contrôle – Evaluation –

Initiation - Alliages – Métallurgie – Techniques de forge – Forgeage – Finition – Parachèvement

Key words

Main alloys – Melting techniques – Moulding techniques – Forging techniques – Moulding – Stripping – Draft – Core fabrication – Assembling – Preparation of moulding sands – Control of moulding sands – Melting process – Treatment of liquid metal – Pouring – Shake-out – Snagging – Finishing and cleaning – Control – Evaluation

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable (en fonderie) de :

- Décoder les indications sur un dessin de définition ou de brut
 - Tolérances, états de surface, référentiel de départ d'usinage
- Choisir le meilleur sens de moulage et de coulée
 - Position du joint de moulage
 - Position et valeur de la surépaisseur d'usinage ainsi que des dépouilles
 - Tracé des portées de noyaux (longueur/hauteur, dépouilles, jeux)
- Décrire, justifier et réaliser les différentes étapes de la réalisation d'un moule
 - Moulage, démoulage
 - Noyautage, remmoulage
 - Fusion, coulée,
 - Décochage, déburrage,
 - Grenailage, sablage, ébarbage, finition et contrôle visuel
- Comprendre et justifier les différentes solutions utilisées pour faciliter le moulage et le démoulage :
 - Fausse partie, parties démontables, pièces battues,
 - Joint décroché, chape
 - Noyaux extérieurs, moulage en pavés
 - Plaques modèles
- Connaître la composition, les propriétés et les contrôles des sables utilisés en fonderie
 - Sables silico-argileux synthétiques et organophile
 - Sable à prise chimique (auto-durcissant et par gazage)
 - Contrôle de l'humidité, compression, cisaillement, aptitude au serrage, granulométrie, argile active)

- Décrire, justifier les différentes étapes pour réaliser une fusion fonte au four à induction
 - Préparation de la charge, chargement, préchauffage
 - Fusion, traitements et les contrôles associés (température, inoculation, éprouvette de trempe, analyse thermique, analyse spectrographie)
- Décrire, justifier les différentes étapes pour réaliser une fusion d'alliages légers
 - Préparation de la charge, chargement, préchauffage
 - Fusion, traitements et les contrôles associés (température, gazage, analyse thermique, analyse spectrographie)
- Reconnaître les principaux défauts sur les pièces et proposer les remèdes
 - Les défauts dus au sable (queues de rat, gales, abreuvage...)
 - Les défauts dus à l'alliage (retassures, criques...)
 - Les défauts dus aux gaz (piqûres, soufflures, refus...)

Etre capable (en forge) de :

- Comprendre l'intérêt de la forge
- Identifier les différences entre types d'équipements
- Disposer de notions culturelles de base
- Identifier l'étendue des connaissances à acquérir
- Connaître les acteurs français et leur localisation

Sensibilisation aux métiers : Fonderie

PLAN DÉTAILLÉ

Pierre-Yves BRAZIER

CM 1 (3 h)	Présentation générale du métier de la fonderie Principaux alliages mis en œuvre : métaux de base – alliages industriels : compositions types, propriétés spécifiques (physico-chimiques, mécaniques, capacité au moulage). Techniques de mise en fusion : alliages ferreux (fonte, acier), alliages non ferreux (base Cu, base Al, base Zn, base Mg), spécificités des moyens de fusion. Techniques de moulage : principe du moulage (en moule destructible, en moule permanent) – principe du remplissage des moules (gravitaire, sous effet de pression) – procédés spéciaux (modèles perdus, etc.). Techniques de finition et de parachèvement : ébarbage, traitements thermiques – opérations de contrôles (dimensionnel, défauts externes et internes, structures). Exemples d'applications et perspectives d'évolution.
------------	---

Sensibilisation aux métiers : Forge

Jacques ABOUSEFIAN

CM 2 (3 h)	Présentation générale de la forge Données et marchés de la forge La Forge : définitions, historique, objectifs, procédés, équipements et matériaux, équipements annexes
------------	--

TP "Fonderie" ENSAM

Philippe MONTEL-MARQUIS

TP 1 (6 h)	Moulage au sable à vert main Support n°1 : Crapaudine A partir du modèle et de la boîte à noyau, découverte des étapes de fabrication d'une pièce moulée. Appropriation du vocabulaire technique. Découverte des réfractaires Moulage au sable machine Support n°2 : Guide de tour à bois Plaques modèles Masselottes Machine secousse - pression
TP 2 (4 h)	Moulage coquille Support n°3 : Tortue et gond de porte Découverte du procédé en moule permanent
TP 3 (4 h)	Moulage V process Support n°4 : Médaille Découverte du procédé en moulage V process
TP 4 (4 h)	Moulage Lost Foam Support n°5 : Echangeur thermique Découverte du procédé en moulage à modèle perdu
TP 5 (6 h)	Les contrôles normalisés en fonderie Les propriétés des alliages de fonderie : -Coulabilité -Aptitude à la retassure et à la crique -Gazage des alliages d'aluminium Le labo sable : -Granulométrie, perméabilité des sables à vert -Viscosité des résines -Essais mécaniques : cisaillement, traction, flexion 3 points

Enseignement sur Site Industriel

Pierre-Yves BRAZIER

ESI (4 h)	Découverte d'une entreprise
-----------	-----------------------------

BIBLIOGRAPHIE

Fonderie – Mémento de métallurgie appliquée – Paul BALANCHE – Syndicat Général des Fondeurs de France.

La Forge – N^{os} 1 à 45 – Centre d'Information de la Forge.

CD 30 questions – réponses – Association Française de Forge

Données statistiques issues de l'Association Française de Forge et d'Euroforge

Code de construction UR-M53

Cost-effective steels for hot forging to provide solutions on a comprehensive range of applications, International Forging Congress, Chicago 2008, F. Chevaleyre et al.

Development of Forging Technology in Toyota, Yutaka Kato, Toyota Motor Company, Japan, Asiaforge 2010

 1A gdp 702	Masselottage et Remplissage des empreintes de pièces moulées en sable Intervenant : Didier TOMASEVIC	CM : 21 h TD : 9 h TP : Evaluation : cf cpm 602
--	--	--

OBJECTIFS

L'étude de moulage correspond à l'étude de fabrication d'une pièce de fonderie. Elle permet de choisir la solution la mieux appropriée pour fabriquer la pièce, d'un point de vue à la fois technique et économique. C'est l'étape indispensable à la réalisation d'une pièce moulée. Elle recense les différentes opérations à exécuter (moulage, noyautage, remmoulage, coulée, contrôles...) les outillages et les moyens à mettre en œuvre. Parmi les différentes possibilités techniques à étudier, il y a le *masselottage* de la pièce et le *remplissage* du moule. L'étude de ces dispositifs constitue deux points fondamentaux de l'étude de moulage.

L'étude de *masselottage* aborde les solutions auxquelles le fondeur pourra recourir pour réaliser une pièce moulée, dont la "santé", devra répondre aux critères de qualité imposés dans le cahier des charges, autrement dit aux exigences du client. Le *masselottage* constitue un point de passage obligé, auquel les élèves seront confrontés non seulement pendant leur scolarité, mais surtout tout au long de leur carrière professionnelle, directement ou indirectement, selon leur fonction dans l'entreprise.

L'étude de *remplissage* consiste à déterminer l'ensemble des conduits qui permettent d'acheminer le métal liquide, depuis l'extérieur du moule, jusqu'à l'empreinte de la pièce, en prenant en considération un certain nombre de contraintes telles que : la fragilité du moule, l'oxydabilité éventuelle de l'alliage coulé, la notion de série, la réduction de la mise au mille (aspect économique)...les exigences du cahier des charges. L'étude du *remplissage* des moules représente une part importante de l'étude de moulage, autrement dit de l'étude de fabrication d'une pièce de fonderie.

L'objectif de ce cours est de transmettre aux élèves apprentis les connaissances fondamentales relatives aux phénomènes physiques (mécanique des fluides), métallurgiques et thermiques qui se produisent pendant et après le *remplissage* des moules et qui régissent par la suite la solidification d'une pièce après sa coulée. Les problèmes de non qualité sont abordés en optimisant les techniques liées à la détermination des dispositifs de *masselottage et de remplissage*. Ce cours traite non seulement des méthodes de calcul et des recommandations pratiques relatives aux masselottes (dimensionnement, tracé, emplacement...), mais aussi de la détermination des refroidisseurs. Il intègre également les notions de modification du dessin de la pièce, afin d'en améliorer la qualité. Ce cours concerne les systèmes de coulée "moulés".

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Un minimum de notions élémentaires de fonderie serait apprécié (initiation pratique à l'ENSAM Châlons-en-Champagne).

Quelques bases fondamentales de physique, notamment relatives à la thermique et à la mécanique des fluides.

Notions élémentaires sur les sables et les différents alliages de fonderie (cours d'initiation à l'étude de moulage).

Niveau de connaissance en dessin industriel très apprécié (cours de conception et fabrication mécanique).

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Masselottage (dispositif de) – Alimentation (dispositif d') – Solidification – Masselotte – Manchon - Retrait volumique – Module thermique – Module géométrique – Plaque équivalente – Distances d'alimentation – Tracé – Refroidisseur – Phénomènes métallurgiques et thermiques liés à la solidification (retrait volumique, écoulement de la chaleur) – Analyse de la forme – Plaques équivalentes – Les 3 règles de masselottage – Exemples didactiques de pièces industrielles

Remplissage – Coulée – Attaque (système d', dispositif d', méthode d') – Descente (de coulée) – Chenal (ou canal) – Attaque (de coulée) – Bassin – Entonnoir (ou godet) – Fonctionnement d'un système d'attaque – Régimes d'écoulement – Remplissage calme : calcul section de descente – Echelonnement des systèmes de coulées – Exemple didactique de pièces industrielles

Key words

Risering (system) – Feeding (system) – Solidification – Riser (or head or feeder) – Sleeve – Volumic contraction – Thermal modulus – Geometrical modulus – Equivalent plate – Feeding distances – Design – Chill – Metallurgical and thermal phenonemous due to the solidification (volumic shrinkage, heat flow) – Shape analysis – Equivalent plates – Three rules of risering – Castings didactic examples

Running – Gatering (system, method) downgate – Sprue – Runner – Ingate (or gate) – Bush (or cup) – Tundish – Running system working – Flow rates – Quiet flow rate – Sprue cross section calculation – Cross sections ratios of running systems – Castings didactic examples

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Comprendre le rôle et la fonction des systèmes de coulée et des dispositifs de masselottage.
- Déterminer l'origine des problèmes de non qualité en rapport avec le remplissage des moules en sable et la solidification des pièces et en déduire les solutions pour y remédier.
- Calculer, tracer, positionner et dimensionner les dispositifs de remplissage et de masselottage des pièces de fonderie, de même que les refroidisseurs éventuels et les évents à mettre en place sur la pièce.
- Proposer les éventuelles modifications de tracé qui permettent d'améliorer la solution choisie d'un point de vue à la fois technique mais aussi économique... (mais pas de cours fondamental sur ce thème).

Masselottage des pièces moulées en sable

PLAN DÉTAILLÉ

Didier TOMASEVIC

CM 1 (3 h) Phénomènes métallurgiques au cours de la solidification : Variations de volume au cours de la solidification et du refroidissement – Répartition des défauts dus aux variations de volume – Valeurs pratiques des retraits volumiques globaux – Modes de solidification des alliages et tendance à la retassure – Solidification dirigée, rôle de la masselotte et du refroidisseur – Temps de solidification des pièces dans les moules – Phénomènes thermiques – Ecoulement de la chaleur à travers les moules.

CM 2 (3 h) Notion de qualité : pièces saines et pièces bonnes – Faciès de retassure – Notion de module géométrique – Notion de coefficient de forme – Notion de module de refroidissement (ou thermique) et de plaque équivalente infinie – Action des refroidisseurs – Coefficient de sécurité et forme à donner aux masselottes.

CM 3 (3 h) Valeur du rapport d'élancement – Tracé du col de liaison masselotte-pièce – Précisions concernant l'action des manchons isolants et exothermiques – Méthode pratique de masselottage – Aide à l'utilisation d'outils numériques pour calculer les modules (application à des exemples didactiques – Méthode élaborée par l'analyse de la forme de la pièce – But de l'analyse de la forme.

CM 4 (3 h) Figures de référence pour l'analyse de la forme d'une pièce – Cas des corps pleins – Cas des corps creux – Cas des raccords et des bossages – Modalités et données numériques – Marche à suivre pour l'analyse de la forme – Diagramme thermique de la pièce – Modifications de tracé – Les 3 règles de masselottage – La règle des modules (de refroidissement) – La règle des distances d'alimentation (ou des rayons d'action) – La règle des retraits.

TD 1-2 (6 h) Selon la difficulté des pièces à étudier, 2 ou 3 cas sont traités. Un exemple didactique et 1 ou 2 pièces industrielles réalisées dans deux métallurgies différentes. Les travaux sont menés par les élèves sous la direction du professeur.

Remplissage des empreintes de pièces moulées en sable

Didier TOMASEVIC

CM 5 (3 h) Systèmes de remplissage moulés : Fonctionnement d'un système d'attaque – Modes de coulée : en chute, en source, mi-chute / mi-source – Calcul de la section de la descente – Aide à l'utilisation d'outils numériques pour calculer les sections – Réduction de la vitesse d'écoulement du métal dans l'empreinte – Echelonnement des systèmes de coulée.

CM 6 (3 h) Hauteur métallostatique moyenne – Notion de pertes de charge – Rendement hydraulique – Influence du tracé sur les pertes de charge – Répartition du débit entre attaques – Régime d'écoulement – Conditions de remplissage : Débit global à réaliser – Temps de remplissage – Les défauts imputables aux systèmes de remplissage (causes et remèdes).

CM 7 (3 h) Exercices de démonstration - Marche à suivre pour l'application de la méthode – Les poches de coulée par basculement et quenouille – Les bassins et les godets de coulée – Les systèmes avec canaux secondaires – **Film CTIF : "Une étude sur le fonctionnement des systèmes d'attaques"**.

TD 3 (3 h) Application de la méthode pour systèmes d'attaque "moulés" sur un exemple purement didactique et à une pièce industrielle en alliage non-ferreux ou en fonte, selon le cas.
Travail en binôme, sous la conduite du professeur, suivi d'une correction et de nombreux échanges et questions-réponses.

BIBLIOGRAPHIE

G. BELLANGER : Fonderie d'acier – Moulage des grosses pièces – Les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages – Volume M3 – mémoire M 630, sept. 2008, p. 1- 8.

G. BELLANGER : Remplissage des pièces moulées en sable – Notions fondamentales – Les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages – Volume M3 – mémoire M 565, juin 2006, p. 1- 20.

G. BELLANGER : Fonderie d'acier – Coulée des grosses pièces – Les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages – Volume M3 – mémoire M 631, déc. 2008, p. 1- 17.

G. BELLANGER : Remplissage des pièces moulées en sable – Système d'attaque – Les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages – Volume M3 – mémoire M 566, sept. 2006, p. 1- 24.

G. BELLANGER et H. DEVAUX : Le remplissage des empreintes de moules en sable – ETIF – 1984, 76 pages, 2 Tableaux, 54 figures, (édition révisée par).

Rappel de quelques notions d'hydraulique – Introduction aux calculs des systèmes d'attaque – ETIF – octobre 1982 – 27 pages.

BELLANGER et H. DEVAUX : La dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement – Communication présentée à la tribune de l'A.T.F le 15 octobre 1985 – Fonderie et Fondateur d'Aujourd'hui n° 56, juin-juillet 1986, p. 29-41, 9 tab; 15 figures, 23 réf.

P POYET, F ELSEN et E. BOLLINGER : Etude des phénomènes de dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide. Compte rendu de fin d'étude DGRST – MIR contrat n° 81 P 0679, février 1984, 46 pages.

H. DEVAUX et G. BELLANGER : Etude des phénomènes de dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide. Compte rendu de fin d'étude DGRST – MIR contrat n° 81 P 0680, mai 1984, 39 pages (à la bibliothèque du CTIF).

H. DEVAUX et M. JEANCOLAS : Le remplissage des pièces d'acier – Fonderie fondeur d'aujourd'hui n° 24, avril 1983, p. 17-23.

Standardisation des dimensions des éléments en réfractaire utilisés pour la confection de systèmes de remplissage en fonderie d'acier – recommandation technique n° 249-01 du bureau de normalisation des industries de la fonderie, décembre 1978.

H. DEVAUX : Remplissage des empreintes à la poche à quenouille (par des systèmes constitués d'éléments réfractaires) – brochures CTIF – 1^{ère} édition, juillet 1984 – 68 pages.

G BELLANGER : "Conception et tracé des pièces en acier moulé – guide pratique" ETIF, octobre 2003 ; 450 illustrations et tableaux + CD Rom.

G BELLANGER : "Conception et tracé des pièces moulées en fonte – guide pratique" – ETIF 2010. 313 pages.

S. JACOB : "Guide de masselottage des pièces moulées au sable en alliages d'aluminium" – ETIF, 1^{ère} édition, 1977, 36 pages.

H. DEVAUX : "Etudes de moulage de pièces diverses ; exemples d'application des méthodes CTIF de masselottage et de remplissage" – ETIF, 1^{ère} édition, 1982, 128 pages.

H. DEVAUX : "Traité pratique de masselottage des pièces moulées en sable" – ETIF, division des pièces moulées en sable du CTIF, édition 1984, 152 pages;

G. BELLANGER et J.J. MONCEAU : "Contribution au masselottage des pièces moulées en cire perdue" – communication T 22 présentée au 63^{ème} Congrès Mondial de Fonderie du CIATF, Budapest, 12 au 18 septembre 1998, 21 pages.

G. BELLANGER et J.J. MONCEAU : "Contribution au masselottage des pièces coulées en carapaces céramiques – Fonderie fondeur d'aujourd'hui n° 181, janvier 1999, p. 15-35.

B. BELPERCHE : "Simulation de la solidification à l'aide de naphtalène, paraffine et hexachloréthane" – Hommes et fonderie août-septembre 1984, p. 19-26.

G. DEFRETIN : "Simulation de la solidification à l'aide de stéarine" Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A) – film en couleurs, Mémoire présenté au 44^{ème} Congrès National de Fonderie – Arles 1975.

G. DEFRETIN : "Calcul des modules de solidification apparents des pièces de fonderie – modification des modules par emploi de refroidisseurs et d'isolants et par chauffage ou refroidissement des moules" Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A) – Fonderie n° 384, décembre 1978, p. 361-365.

A. REYNAUD et S. PARENT-SIMONIN : "Alimentation des fontes à haute teneur en chrome (3% C, 27% de Cr), moulées en sable à vert" – Fonderie fondeur d'aujourd'hui n° 49, nov. 1985, p. 19.

H. DEVAUX : "Optimisation du taux de masselottage suivant la direction de l'alimentation des pièces moulées en sable" – Fonderie fondeur d'aujourd'hui n° 50, décembre 1985, p. 12.

H. DEVAUX : "La rigidité des moules pour pièces en fontes GS" – Fonderie fondeur d'aujourd'hui n° 68, octobre 1987, p. 33.

H. DEVAUX : "Pièces bonnes, pièces saines en fonte GS, moulées en sable auto-durcissant et en sable à vert" – Fonderie fondeur d'aujourd'hui n° 64, avril 1987, p. 10.

H. DEVAUX : "Emploi rationnel des matériaux refroidisseurs, isolants et exothermiques" – Fonderie fondeur d'aujourd'hui n° 23, p. 23-27 1^{ère} partie et n° 25 ; p. 24-25, 2^{ème} partie.

D. ARNAUD : "Etude du masselottage des alliages cuivreux coulés en sable" – Fonderie fondeur d'aujourd'hui n° 4, p. 29.

Masselottage en moulage sable – brochure CTIF - ETIF – 1^{ère} édition, août 1994 – 176 pages.

D. TOMASEVIC et Y. HEMON : Homogénéisation des débits aux attaques d'un canal horizontal en moulage sable – Fonderie Fondeur d'aujourd'hui n° 167, août-septembre 1997, p. 35-41.

D. TOMASEVIC : Calcul des rendements hydrauliques des systèmes de remplissage en moulage sable – Fonderie Fondeur d'aujourd'hui n° 184, avril 1999, p. 33-41.

D. TOMASEVIC et S. MICHEL : Masselottage en moulage sable des pièces coulées en fonte GS – Fonderie Fondeur d'aujourd'hui n° 234, avril 2004, p. 12-25.

D. TOMASEVIC et J-M. DRACON et Y. LONGA : Les contrôles thermiques des manchons au service de la maîtrise de la qualité – Fonderie Fondeur d'aujourd'hui n° 259, novembre 2006, p. 31-38.

 1A com 901	Activation des comportements professionnels Intervenants : Olivier DAVID – Jacques LOIGEROT	CM : 9 h TD : 6 h TP : Evaluation : cc
--	---	--

OBJECTIFS

Cette formation a pour but de développer les relations et les comportements professionnels chez l'élève ingénieur.

Il s'agit d'accompagner l'individu dans son évolution ou transition professionnelle en stimulant son potentiel existant afin de le préparer à devenir acteur de la dynamique d'entreprise en mettant en place une action de professionnalisation. Il s'agit aussi de lui faire prendre conscience de l'environnement de l'entreprise qu'il soit lié à l'international, à la concurrence et au tissu technico-économique existant.

Les points clés de la formation consistent à :

- apprendre à se connaître
- lier connaissance et développer l'estime de soi (centres d'intérêt, valeurs, aspirations, personnalité, priorités professionnelles et forces essentielles)
- rechercher les compétences liées à son poste
- s'ouvrir à l'environnement et s'adapter au changement
- développement des qualités relationnelles grâce à un engagement personnel et à l'appropriation de méthodes qui permettent de conjuguer intérêts personnels et intérêts professionnels
- développement de sa créativité
- Développer l'autonomie par la recherche de compétences et savoirs externes

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Avoir effectué un stage en entreprise
- Maîtrise d'outils informatiques
- Bases de connaissance de l'environnement technico-économique d'une entreprise

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Expression orale – Expression corporelle – Comportement professionnel

Choix du métier – Responsabilité de l'ingénieur – Expression écrite et orale dans la vie professionnelle – Recherche d'informations – Analyse bibliographique – Entretiens – Culture générale – Débats – Stratégie de communication – Augmenter son niveau de conscience

Key words

Choice of the career – Responsible attitude - Written and oral expression in professional life – Meetings – General knowledge – Meeting behaviours – Discussions – Communicating strategy – Increase his awareness

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- opérer des choix de parcours professionnel en cohérence avec ses aspirations
- appréhender le rôle du futur ingénieur dans la Société et l'entreprise
- prendre en compte, les contraintes qui l'attendent : disponibilité, exactitude, écoute, humilité, impartialité
- préparer la présentation orale d'un projet puis convaincre un auditoire, en tenant compte du contexte du projet et des caractéristiques et des attentes des interlocuteurs
- trouver les sources d'informations nécessaires au développement d'un projet et en faire la synthèse
- réaliser une analyse bibliographique en suivant une démarche efficace et structurée
- qualifier une information, une connaissance
- faire évoluer son savoir
- accorder une place accrue à ses collaborateurs
- prendre conscience des signes parasites que l'on envoie en situation de stress et en limiter l'émission
- être écouté et compris lors d'une prise de parole en public (en contrôlant tout à la fois son débit de paroles, son articulation et son volume sonore, mais aussi ses regards, voire ses gestes)

Activation des comportements professionnels

PLAN DÉTAILLÉ

Olivier DAVID

CM 1-2 (6 h) **Analyse comportementale**
Gestion du stress

CM 3-4 (6 h) Stratégie de communication et gestuelle
Sécurité de soi et des autres.
Présentation à réaliser devant la promotion en respectant certaines contraintes.

Jacques LOIGEROT

CM 5 (3 h) **Recherche et mise forme de l'information**
Les informations utilisées dans l'entreprise
Les méthodes de collectes de l'information.
La réalisation d'une analyse bibliographique

BIBLIOGRAPHIE

L'éthique de l'Ingénieur entre conviction et responsabilité, Dominique VERMERSCH -
Conférence débat ISF, Supagro Montpellier, Février 2010

Technique de l'expression écrite et orale, Denis BARIL

Method Sirey, Editeur SIREY, 2010

Formation à l'expression orale et écrite, Jacques LAVERRIERE, Editions d'Organisation, 2004

La conduite de réunion, Bertrand POULET, Editions Demos (1999)

La conduite des réunions, Roger MUCCIELLI, Formation permanente Sciences Humaines,
Editions ESF, 2011

 1A com 903	Anglais Intervenant : Marc PONROY – Alex LEVESQUE	CM : 40 h TD : 20 h TP : Evaluation : 3 h
--	---	---

OBJECTIFS

Optimiser les conditions pour démarrer le projet de formation langues. Pour ce faire, les cours de 1^{ère} année visent avant tout à faire prendre conscience à l'étudiant de l'importance capitale de *son rôle personnel* dans ce projet. Des stratégies et techniques dites *d'apprentissage* spécifiques à l'acquisition de compétences en langues seront identifiées et déployées. Dans le même temps, le programme vise un ensemble de points de savoir et de savoir-faire qui seront développés de façon concomitante, amenant les étudiants à accéder à un niveau de plus en plus élevé. Le travail personnel constitue une condition *sine qua non* pour que ces objectifs concrets soient atteints.

Ces objectifs se déclinent en 1^{ère} année de la façon suivante :

- Acquérir et/ou consolider un vocabulaire et des structures de base (temps simples, temps continus, modaux) ;
- Création et compréhension de dialogues de la vie courante ;
- Prendre la parole avec assurance devant un public (techniques de présentation orale) ;
- Familiarisation à l'examen externe (passage en fin de 3^{ème} année)

Le cours d'anglais technique, résolument tourné vers la vie professionnelle, a comme principaux objectifs :

- D'approfondir les connaissances des apprentis en anglais dans le but de les préparer au mieux à leur vie professionnelle
- D'apprendre aux apprentis à travailler de manière autonome
- D'aider les apprentis à être plus à l'aise dans leurs relations professionnelles (relations Clients / Fournisseurs)

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Acquisition du vocabulaire de base courant : se présenter, être capable de décrire sa fonction professionnelle et/ou apprentissage, formuler une question.

Savoir conjuguer au présent simple et continu, prétérit et futur.

Connaître les nuances d'utilisation des verbes modaux : May, Must, Ought to, Can, Should.

Connaître les principaux mots de liaison (linking words) nécessaires aux différentes phases d'argumentation (énoncé des différentes parties d'un plan, adhésion, opposition, conclusion).

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Expression et compréhension orale et écrite – Travail en laboratoire de langue – Consolidation des structures grammaticales et lexicales :

Anglais – Outils d'aide à la traduction

Key words

Understanding – Oral and written expression and comprehension – Practical laboratory work

Idiomatic expressions – Colloquialisms Terminology – Translation tools

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Différencier le present-perfect du preterit et acquérir les règles d'utilisation de ces 2 temps.
- Utilisation et maîtrise des pronoms relatifs : who, whose, whom, which.
- Maîtriser la forme active et la forme passive, directe et indirecte.
- Maîtriser les principaux phrasal verbs notamment pour les verbes de mouvement.
- A l'oral, distinguer les formes de « word distractors » (mots se ressemblant) et les faux amis.
- Lire et comprendre un document technique ou scientifique ayant trait à la métallurgie
- Repérer les pièges ou difficultés
- Utiliser les bons outils pour analyser un document
- Rédiger des courriers (proposition de prix et conditions générales de vente, renégociation de contrat, retard de livraison)
- Gagner en autonomie et en efficience dans leur future vie professionnelle

Anglais

PLAN DÉTAILLÉ

Marc PONROY – Alex LEVESQUE

- Expression orale (jeux de rôle, mises en situation)
- Compréhension orale (vidéo, audio, entretien, reportage)
- Compréhension écrite (textes, questions à trous, QCM, articles de presse)
- Expression écrite : synthétiser une information, rédiger un courrier professionnel
- Exercices de structure

Travaux à réaliser :

Certains travaux font l'objet d'une évaluation (*contrôle continu*), ce qui permet à l'enseignant d'apprécier les progrès de chaque étudiant.

Ces travaux sont de nature variée. Ils pourront être réalisés seul ou en petit groupe en fonction de l'objectif visé. Certains sont plus concrets tels les devoirs écrits et exposés, tandis que d'autres sont plus abstraits comme la participation aux discussions de groupe et jeux de rôle. Une initiation au travail en autonomie débouche sur la pratique hebdomadaire dans le Centre de Ressources Langues.

BIBLIOGRAPHIE :

Essential grammar in use / Raymond Murphy / intermediate level

Scientifically speaking

Introduction à l'anglais de la science et de la technologie, B.C. Brookes Editions

Websites : www.voiceofamerica
www.anglaisfacile.com
www.bbc.co.uk/learningenglish/english/features/6-minute-english
www.ted.com (Ted talks)
<https://breakingnewsenglish.com/>

 1A com 905	CSA-Visites, Conférences et colloques Evaluation des périodes d'apprentissage Coordinateur : Pierre-Yves BRAZIER	CM : TD : 18 h ESI : 3 h Evaluation : cc + 2 h
--	---	--

OBJECTIFS

Donner à nos élèves une ouverture sur le monde industriel et scientifique.

Les inciter à s'exprimer et à s'épanouir dans un cadre et un environnement différents de celui de l'Ecole.

Les préparer efficacement à leur future vie professionnelle.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

aucun

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Visite d'intégration : fonderie – Ctif – Conférences d'actualité

Conseil de suivi des apprentis

Key words

Study-visit for integration : Ctif foundry plant – Conferences on current events

Apprenticeship follow-up survey

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Intervenir de façon active et positive lors d'une visite en entreprise
- Réaliser une synthèse des éléments débattus lors d'une conférence
- Juger de la pertinence du choix du procédé et des matériels

Conférences et colloques

Pierre-Yves BRAZIER

PLAN DÉTAILLÉ

Fonctionnement de l'ESFF, présentation de l'apprentissage et des partenaires : CTIF, ATF, Association Amicale des Anciens Elèves (4 h)

Réunion des acteurs de l'apprentissage (2 h)

Conseil de suivi des apprentis : réunions d'évaluation des périodes école et entreprise, livrets, stage à l'étranger (10 h)

Cérémonie de remise des diplômes de la promotion sortante (2 h)

Enseignements sur Site Industriel

Visite du CTIF, et présentation des moyens spécifiques Fonctionnement du CTIF, présentation du centre de recherche et de bibliographie (3 h)

Apprentissage

Maître d'apprentissage – Tuteur Pédagogique

Rapports pour la première période "rapport d'étonnement" puis celui pour "Initiation au métier" (cc)

Rapport et soutenance pour la période "Etude spécifique n° 1" (1 h oral)

BIBLIOGRAPHIE

 2A mat 102	Statistiques et probabilités Intervenant : Lazhar HOMRI – Simon FAYS	CM : 30 h TD : 12 h TP : Evaluation : 2 h (Ie)
--	---	---

OBJECTIFS

La maîtrise des éléments de base des statistiques est indispensable à la pratique des métiers de l'Ingénieur lorsqu'il s'agit d'analyser et d'interpréter des résultats ou encore de satisfaire certaines approches qualité.

Plus précisément il s'agit :

- de mettre en forme et caractériser les distributions de données (Domaine des Statistiques descriptives à une variable)
- Connaître les fondamentaux de la régression-corrélation (Domaine des Statistiques descriptives à deux variables)
- Connaître les principales propriétés des probabilités ; les lois de distribution de probabilité et tout particulièrement la loi normale. (Domaine des Probabilités usuelles)
- Savoir passer d'une population à un échantillon et d'un échantillon à une population (Domaine de l'estimation et de l'échantillonnage)
- Connaître la mécanique des tests statistiques et savoir manipuler les plus simples.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Les pré-requis concernent le calcul algébrique, l'analyse combinatoire, les fonctions usuelles et le calcul intégral élémentaire

(Cf 1A- 101)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Distribution normale – Théorème de la limite variable – Analyse de la variance – Statistique descriptive à une ou deux variables – Axiome des probabilités – Théorème de Bayes – Variables aléatoires discrètes et continues – Distribution normale – Théorème de la limite centrale – Estimation et tests – Intervalles de confiance – Analyse de la variance – Tests non paramétriques – Plans d'expériences

Key words

Statistical-Probability – theorem of Bayes- Normal distribution – Central limit theorem – Hypothesis testing – Analyse of variance – Gauss's Distribution – Non parametrical-tests

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Calculer les paramètres de position et de dispersion d'une série statistique simple
- Tracer un histogramme ou un diagramme en bâtons
- Appliquer une régression linéaire en statistiques doubles et calculer une corrélation
- Linéariser un modèle non-linéaire afin de pouvoir utiliser la régression linéaire
- Dénombrer les différentes parties d'un ensemble et manipuler l'analyse combinatoire
- Calculer les probabilités de base (OU, ET et SI)
- Utiliser une arborescence et le théorème de Bayes
- Savoir définir correctement une variable aléatoire et donner ses caractéristiques (moments, fonction de répartition, densité de probabilité)
- Utiliser les lois discrètes de probabilité (Bernoulli, binomiale, Poisson, hypergéométrique)
- Utiliser les lois continues (uniforme, exponentielle, loi normale, loi normale centrée réduite)
- Appliquer le théorème de la limite centrée et l'inégalité de Bienaymé-Tchebychev
- Savoir mesurer la qualité d'un estimateur et "remonter" les données sur la population
- Déterminer un intervalle de confiance pour une moyenne ou une proportion
- Définir le cadre théorique d'un test statistique (bilatéral et unilatéral)
- Appliquer une procédure d'ANOVA
- Utiliser un test d'adéquation ou d'ajustement ou d'indépendance

Statistiques et probabilités*Lazhar HOMRI – Simon FAYS***PLAN DÉTAILLÉ**

CM 1 (3 h)	Statistique descriptive - Série statistique à une variable Vocabulaire – Variable quantitative discrète, continue Mesures de tendance centrale Mesures de dispersion et de forme - Série statistique à deux variables Régression linéaire Méthode des moindres carrés
TD 1 (1 h)	Exercices

CM 2 (2 h)	Analyse combinatoire Arrangement, permutation Combinaison (avec ou sans répétitions)
TD 2 (1 h)	Exercices

CM 3 (2 h)	Algèbre des probabilités Bases axiomatiques Règles de calcul Probabilité conditionnelle – Théorème de Bayes (Probabilités Bayésiennes)
TD 3 (1 h)	Exercices

CM 4 (3 h)	Variable aléatoire discrète Loi de probabilité – Espérance – Variance Loi binomiale Loi de Poisson Loi géométrique Loi hypergéométrique
TD 4 (1 h)	Exercices

CM 5 (3 h)	Variable aléatoire continue Fonction de répartition – Densité Loi uniforme – Loi exponentielle – Loi normale Loi de Pearson – Loi de Snedecor
TD 5 (2 h)	Somme et moyenne de variables aléatoires indépendantes Théorème de la limite centrée

CM 6 (1 h)	Echantillonnage - Estimation Méthodes d'échantillonnage Estimation – Qualité d'un estimateur
------------	---

CM 7 (3 h)	Intervalle de confiance Méthode – Intervalle de confiance pour une moyenne, pour une proportion
TD (1 h)	Exercices
CM 8 (4 h)	Tests d'hypothèses Principe – Types d'erreurs – Puissance d'un test Test d'hypothèses pour une moyenne, pour une proportion Test unilatéral – Test bilatéral Comparaison de deux moyennes Comparaison de deux proportions Comparaison de deux variances
TD 8 (1 h)	Exercices
CM 9 (4 h)	Analyse de la variance Analyse de la variance à une dimension, deux dimensions (sans ou avec répétitions) et à un nombre quelconque de dimensions Plan en carré latin
TD 9 (2 h)	Exercices
CM 10 (4 h)	Tests non paramétriques Problèmes à deux échantillons : test de Wilcoxon et test de Mann et Whitney Problèmes à k échantillons : test de Kruskal et Wallis Test d'adéquation : droite d'Henry, test du Khi-deux, test de Kolmogorov et Smirnov, test de Shapiro et Wilk
TD 10 (1 h)	Exercices
CM 11 (1 h)	Introduction aux plans d'expériences Plans fonctionnaires – Tables de Taguchi
TD 11 (4 h)	Exercices

BIBLIOGRAPHIE

Premiers pas en statistiques de Yadolah Dodge - Springer

Statistiques et probabilités de Saint Pierre et Verlant - Foucher

Statistiques : 100 exercices corrigés avec résumés de cours de Maurice Gaultier - Vuibert

Probabilités : 70 exercices corrigés avec résumés de cours de Maurice Gaultier- Vuibert

Statistique théorique et appliquée, tome 1 et 2 de Pierre Dagrallie – De Boeck

Les plans d'expérience dans la méthode Taguchi de Maurice Pillet – Les éditions d'organisation

 2A isi 202.a	Projet Numérique (2^{ème} année) 1^{ère} partie conception fonctionnelle Intervenant : Maxence ESPOSITO – Cédric BEAUVAIS PY BRAZIER – D. TOMASEVIC	CM : 4 h TD : 22 h TP : 8 h PROJET : - Evaluation : cc
--	---	--

OBJECTIFS

Dans le cadre du projet numérique et à partir des compétences acquises en 1^{ère} année. Les étudiants de 2^{ème} année formés en binôme, seront confrontés à une problématique de bureau d'étude. Ce travail se déroule sur le premier semestre et se concrétise sur la réalisation d'un rapport écrit où ils devront expliquer leur démarche et leur choix puis d'une soutenance permettant à chacun d'exposer ses solutions technico/économiques.

Dans le but de garder un lien avec le monde industriel, cette étude sera réalisée suivant un cycle itératif et permettra aux étudiants d'appréhender l'utilisation des outils numériques ainsi que les phénomènes physique (contrainte mécaniques, contrainte de fabrication, phénomènes thermiques...).

A partir d'un dossier complet (Cahier Des Charges, Plan de définition, documentations sur le tracé, choix matériaux...) les étudiants devront réaliser la conception fonctionnelle d'une pièce de fonderie.

Ce cycle de conception sera composé des étapes suivantes :

- Conception fonctionnelle et adaptation d'un tracé de fonderie à partir des fonctions existantes du modèle en prenant en compte des contraintes d'encombrement (CAO CATIA V5)
- Mise en place de calcul de pré-dimensionnement : maillage, mise en donnée, post-traitement (CATIA V5)
- Etude de solidification (QUIKCAST)
- Réalisation d'une optimisation topologique (INSPIRE).

Pour amener ce projet à bien, 16 h de TD seront dispensés leur permettant d'appréhender de nouvelles problématiques (logique de conception, calcul mécanique et optimisation topologique).

Enfin les étudiants bénéficieront de 8 heures d'accompagnement (assistance technique) pour l'utilisation des différents logiciels

PRE-REQUIS

CAO, Notions sur les procédés de fonderie et sur la métallurgie, Règle de tracé des pièces de fonderie, notions de mécanique

MOTS CLÉS

Outils d'esquisse – Eléments de base – opération issus d'un contour – dépouilles – rayons – plan de joint – mesure – historique de conception – habillage fonderie

Base de données matériaux – Maillage surfacique –Maillage volumique – Conditions Limites – Conditions initiales – Paramètres de calcul – Simulation Process – Remplissage/Solidification – Prévion de défauts – Optimisation – Simulation mécanique – Limite élastique – Contrainte de Von Mises

Utilisation du logiciel VisualCAST/QuikCAST – Modélisation du remplissage et de la solidification – Maillage et conditions aux limites – Simulation et visualisation des résultats

Utilisation du logiciel Inspire – Optimisation topologique – Paramètre d'optimisation

Key words

Sketch tools – Basic features– Volumic construction – Draft – Fillet – Parting line – history of design – Measure – Casting part

Materials Database – Surface Meshing volume -Meshing – Terms Limits – Initial conditions – Calculation parameters – Simulation Process – Filling / Solidification – Predicting faults – Optimization – Mechanical Simulation – Yield – Von Mises stress

VisualCAST / QuikCAST software - Filling and solidification modeling – Meshing and boundary conditions - Simulation and visualization of results

Using Inspire Software – Topology Optimization – Optimization Parameter

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- D'appréhender correctement les opérations du sketcher et du part design
- Concevoir des pièces de fonderie CAO avec une logique de conception
- Analyser et valider les dépouilles d'une pièce de fonderie
- Réaliser une mise en donnée d'une simulation de fonderie
- Analyser et critiquer les résultats de la simulation de fonderie
- Comprendre et interpréter un cahier des charges mécanique
- Réaliser une mise en donnée d'un calcul mécanique se rapprochant au mieux du cahier des charges
- Analyser et critiquer les résultats de la simulation mécanique
- Réaliser une optimisation topologique
- Appréhender l'ensemble des résultats et réaliser des modifications de design en conséquence.

PLAN DÉTAILLÉ

Projet numérique

Pierre-Yves BRAZIER

CM (1 h) Présentation du projet numérique

Domaine d'application des matériaux et procédés



Didier TOMASEVIC

CM 1 (3 h) Matrice de choix des alliages de coulée et des procédés en fonderie
Exemple de choix alliage/procédé

Conception Assistée par Ordinateur

Maxence ESPOSITO

PLAN DÉTAILLÉ

TD 1 (2 h) Rappels de 1^{ère} année et nouveautés :

- Interface
 - Manipulation
 - Arbre de construction
 - Atelier
 - Environnement des objets cachés
 - Module Sketcher
 - Outils d'esquisse
 - Contraintes
 - Astuce de conception
 - Eléments de référence
 - Opérations issues d'un contour
 - Outils de transformation
 - Opérations booléennes
 - Conception des pièces brutes simples
 - Retrait de faces
 - Surépaisseurs d'usinage
 - Dépouilles
 - Analyse des dépouilles
 - Rayons
 - Retraits linéaires
 - Historique de conception
 - Mesure
-

TP 1 (2 h) Reconception et habillage fonderie du carter

- Utilisation des outils de mesure sur une CAO au format .CGR
 - Création d'esquisse
 - Cotation
 - Utilisation des opérations issues d'un contour
 - Utilisation des opérations de transformation
 - Utilisation des opérations d'habillage
 - Analyse des dépouilles
-

TD 2 (4 h) Conception d'une pièce complexe suivant un tutoriel

TP 2 (4 h) Projet numérique

Calcul Mécanique

Cédric BEAUVAIS

TD 1 (2 h)	Rappel de la méthode éléments finis Présentation de la démarche d'une étude de simulation mécanique • Maillage (type de maillage, analyse et correction) • Matériaux et paramètres physiques (Module de Young, Coefficient de Poisson, Limite élastique) • Mise en donnée (Blocage, force, pression, utilisation d'éléments de connexion...) • Post traitement (Déplacement, Contraintes de Von Mises)
TD 1 (2 h)	Réalisation d'une simulation mécanique sur une pièce industrielle suivant un cahier des charges simple
TP 1 (2 h)	Projet numérique

Optimisation Topologique

Cédric BEAUVAIS

TD 2 (2 h)	Introduction à la méthode d'optimisation topologique Présentation de la démarche d'une étude d'optimisation topologique avec Inspire • Mise en données mécanique (maillage, blocages, efforts, pression, ...) • Prise en compte de contrainte de fabrication (symétrie, démoulage, épaisseur minimum) • Stratégie d'optimisation (Maximiser la raideur ou minimiser la masse) • Post traitement (Déplacement, Contraintes de Von Mises, Squelette fonctionnel)	
TD 2 (2 h)	Réalisation de plusieurs études d'optimisation topologique	
TD 3 (2 h)	Support	<i>avec Alexandre MOUILLET</i>
TD 4 (6 h)	Soutenance de la 1 ^{ère} phase du Projet numérique	<i>avec Alexandre MOUILLET</i>

BIBLIOGRAPHIE : -support de cours

 2A isi 202.b	Projet Numérique (2^{ème} année) 2^{ème} partie conception de détail Intervenant : Nicolas DE REVIERE	CM : 8 h TD : 7 h PROJET : 10 h Evaluation : <i>Présentation en salle</i>
--	--	--

OBJECTIFS

Dans le cadre du projet numérique et à partir des compétences acquises en 1^{ère} année. Les étudiants de 2^{ème} année formés en binôme, seront confrontés à une problématique de bureau d'étude. Ce travail se déroule sur le premier semestre et se concrétise sur la réalisation d'un rapport écrit où ils devront expliquer leur démarche et leur choix puis d'une soutenance permettant à chacun d'exposer ses solutions technico/économiques.

Dans le but de garder un lien avec le monde industriel, cette étude sera réalisée suivant un cycle itératif et permettra aux étudiants d'appréhender l'utilisation des outils numériques ainsi que les phénomènes physique (contrainte mécaniques, contrainte de fabrication, phénomènes thermiques...).

A partir d'un dossier complet (Cahier Des Charges, Plan de définition, documentations sur le tracé, choix matériaux, ... ainsi que de la conception fonctionnelle qu'ils auront réalisé en 1^{ère} partie de 2^{ème} année) les étudiants devront réaliser la conception détaillée d'une pièce de fonderie.

Ce cycle de conception sera composé des étapes suivantes :

- Tracé du plan de joint à partir de leur conception fonctionnelle (CAO CATIA V5)
- Conception détaillée de la pièce de fonderie à l'aide des outils numériques adaptés au tracé de pièce de forge et de fonderie (CAO CATIA V5)
- Conception détaillée des systèmes de remplissage et masselottage en lien avec le plan de joint défini par les étudiants
- Préparation d'un dossier de synthèse technico-économique (présentation PowerPoint, OpenOffice ou équivalent) incluant a minima les éléments suivants :
 - La note de calcul mécanique produit (choix matériau, maillage, mise en données, résultats)
 - La note de conception (choix procédé, plan de joint, respect fonctionnalités produit, analyse de dépouille)
 - L'étude de moulage (simulation pièce seule, masselottage, remplissage, simulation grappe)
 - Présentation de la pièce finie (écarts pièce fonctionnelle client vs pièce brute usinée, propositions d'amélioration Qualité / Coûts / Délai)
- Présentation en classe entière par chacun des binômes du dossier technico économique (présentation PowerPoint, OpenOffice ou équivalent)

Pour amener ce projet à bien, 8h de CM seront dispensés leur permettant d'appréhender de nouvelles problématiques (conception de détail d'une pièce forgée ou moulée, tracé d'un plan de joint avec des outils CAO surfaciques, solidification de surface, mise en plan).

Les étudiants bénéficieront de 4h de TD afin de finaliser leur étude.

La présentation en classe entière sera effectuée lors d'une séance de 3h de restitution (TD).

PRE-REQUIS

CAO, Notions sur les procédés de fonderie et sur la métallurgie, Règle de tracé des pièces de forge et de fonderie, Règle de tracé des outillages de forge et de fonderie, notions de mécanique, maîtrise des outils de bureautique pour les présentations, cours de conception fonctionnelle de 2eme année, règles de conception des systèmes de remplissage de pièces moulées par gravité sable, maîtrise des outils de simulation de remplissage et solidification

MOTS CLÉS

Dépouilles - ligne de reflet – élément neutre– rayons – historique de conception – conception hybride / non hybride - habillage de forge & fonderie – plan de joint – talus – conception surfacique – opérations surfaciques – solidification de surfaces – mise en plan

Key words

Draft – reflect line - Fillet – history of design – hybrid / non-hybrid design – casting & forging part design - Parting line – stepped parting line – surface operation – surface design – 2D drawing

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Concevoir de manière détaillée à l'aide d'outils de CAO des pièces de fonderie incluant plan de joint et systèmes de remplissage et masselottage avec une logique de conception
- Réaliser un dossier technico économique et le présenter à un client
- Appréhender l'ensemble des résultats et réaliser des modifications de design en conséquence

Conception de détail à l'aide d'outils de CAO

PLAN DÉTAILLÉ

Nicolas DE REVIÈRE

CM 1 (8h)	Rappels Dépouilles / Congés avancés & surfacique • Dépouilles solides avancées : prise en compte du plan de joint (exemple de l'aide de Catia) • Dépouilles surfaciques simples et avec ligne de reflet • Rayons / congés surfaciques Conception des pièces brutes avec joint décroché • Courbes 3D • Surfaces • Opérations surfaciques • Dépouilles avancées : interaction avec le plan de joint Exemple : Bielle • Création du plan de joint et du talus • Habillage de la CAO avec prise en compte du plan de joint • Vérification du démoulage pièce et talus Mise en plan
-----------	---

TD 1 (3h)	Projet Numérique (soutien visio-conférence)
-----------	---

Projet (10h)	Travail en salle
--------------	------------------

TD 2 (4h)	Présentation en classe entière de l'étude technico économique
-----------	---

BIBLIOGRAPHIE

- Support de cours
- Aide de Catia V5

 2A isi 202.c	Projet Simulation numérique en Fonderie Intervenant : Jean-François LOCATELLI et Patrick PRIOT	CM : TD : 8 h PROJET : ESI : Evaluation : NdeRevière
--	--	---

OBJECTIFS

La conception des pièces et des systèmes a largement débordé le cadre de la représentation strictement géométrique des pièces. L'évolution rapide du marché exige une réactivité importante des entreprises face au cahier des charges "client". Une réduction drastique du temps séparant la conception initiale de la pré-série de qualification est actuellement un facteur prédominant de la compétitivité.

La nécessité, pour les industriels de répondre rapidement aux exigences d'un marché en perpétuelle évolution, les pousse à développer des méthodes de conception de plus en plus efficaces pour leur permettre de trouver des solutions fiables aux critères contradictoires : délai et coût minimums pour une juste qualité.

L'objectif de cet enseignement est de former le futur ingénieur à la mise en œuvre de l'outil de simulation numérique afin de concilier efficacement les fonctions de la pièce avec les contraintes d'un procédé de production de fonderie.

Le cours s'inscrit donc dans le cadre d'une stratégie P.L.M. (Product Lifecycle Management) afin d'utiliser des modèles comportementaux basés sur les propriétés de la matière et des procédés.

Une première étape de présentation des principes fondamentaux de la simulation numérique process, permet au futur ingénieur d'appréhender les capacités de l'outil tant du point de vue théorique (conservation de la masse, équations de Navier-Stokes, etc.), que du point de vue conditions de mise en œuvre (maillage éléments finis, volumes finis, conditions limites, etc.) et exploitation (analyse des écoulements, prédiction de la santé interne post-solidification, etc.).

Dans un second temps, l'élève ingénieur sera accompagné au cours de plusieurs TP pour apprendre à manipuler un outil de simulation numérique (VisualCAST/QuikCAST). Il sera alors sensibilisé à la pertinence de la modélisation pour permettre de répondre à des besoins dans un souci d'efficacité industrielle.

Enfin, après une mise en œuvre assistée sur la méthodologie d'utilisation du logiciel de simulation process au cours et pour la conception d'une nouvelle pièce de fonderie, l'élève ingénieur se verra confier un projet d'études complet.

Ce projet sera défini par une problématique décrite au travers d'un cahier des charges spécifique et représentatif d'un cas industriel. Pour mener à bien son projet, l'élève ingénieur devra appliquer toute la chaîne de conception, depuis le choix des matériaux, à la conception de la grappe de coulée, en passant par les différentes étapes de conception d'une pièce (fonctionnel/détail). Afin de développer sa propre solution dans un cadre QCD, il devra mettre en œuvre toutes les méthodologies numériques apprises précédemment (simulation de la compatibilité produit/process, simulation de l'efficacité de la mise en grappe et de la santé interne)

PRE-REQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

CAO, Notions sur les procédés de fonderie et sur la métallurgie, Règle de tracé des pièces de fonderie, Notions sur la mécanique des fluides et les échanges thermiques, Dimensionnement des système de remplissage et d'alimentation en fonderie sable.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Base de données matériaux – Maillage surfacique – Maillage volumique – Conditions Limites – Conditions initiales – Transferts thermiques (conduction/convection/rayonnement) – Perméabilité – Frottements – Modélisation remplissage en gravité vs. Sous-pression – Paramètres de calcul – Simulation Process – VisualCAST/QuikCAST – Remplissage/Solidification – Prévion de défauts – Décollement de veine – Oxydation du métal liquide – Malvenue – Turbulences – Nombre de Reynolds – Retassure – Micro-retassure – Critère de Nyiama – Saturation thermique – Itérations – Optimisation – Fonderie Sable.

Key words**COMPÉTENCES ACQUISES** à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**Etre capable de :**

- Avoir une vision d'ensemble des applications numériques dans un bureau d'études ou des méthodes.
- Comprendre l'importance du choix de stratégie de modélisation (calcul en pression ou en vitesse, avec ou sans moule ou définition partielle, symétrisations du problème...) en fonction de la problématique à étudier.
- Réparer ou simplifier un maillage surfacique dans QuikCAST en choisissant une stratégie permettant d'aboutir à un résultat correct.
- Réaliser une grille volumique dans QuikCAST en respectant les critères minimum d'acceptation permettant l'aboutissement du calcul et adaptée au besoin.
- Choisir stratégiquement l'ordre des matériaux en ayant conscience de l'impact sur le résultat.
- Réaliser une mise en donnée de remplissage et/ou de solidification en moulage sable (choix des conditions limites appropriées en fonction de l'objectif de la simulation).
- Placer des capteurs ou des traceurs pour une exploitation plus fine et locale des résultats.
- Analyser des résultats de simulation : pression, vitesse, température, module thermique, retassure... (verniss).

Simulation numérique en Fonderie**PLAN DÉTAILLÉ***Jean-François LOCATELLI et Patrick PRIOT*

TP 1 (4 h) ASSISTANCE A LA MISE EN ŒUVRE DE LA SIMULATION LORS D'UN DEVELOPPEMENT DE PIECE

Objectif : Aider les étudiants à mettre en œuvre correctement l'outil de simulation numérique pour dimensionner et valider un système de masselottage qu'ils auront conçu

TP 2 (4 h) ASSISTANCE A LA MISE EN ŒUVRE DE LA SIMULATION LORS D'UN DEVELOPPEMENT DE PIECE

Objectif : Aider les étudiants à mettre en œuvre correctement l'outil de simulation numérique pour dimensionner et valider une mise en grappe qu'ils auront conçue

BIBLIOGRAPHIE : Support de cours documents CTIF

 2A isi 204	Simulation numérique en Forge Intervenants : Régis BIGOT	CM : 3 h TD : 3 h TP : 12 h Evaluation : 1 h
--	--	---

OBJECTIFS

Des démonstrations permettent de montrer, au travers d'exemples industriels concrets, l'état de l'art de la modélisation et de la simulation numérique de mise en forme des pièces forgées. Chaque élève pourra lancer plusieurs calculs pour apprendre à optimiser les gammes de forgeage et aussi pour mieux comprendre l'influence des paramètres intervenant dans la simulation. –

L'objectif du cours de caractérisation du comportement des nuances d'aciers pour la forge est de montrer quelques essais simples (torsion, traction, compression...) permettant de choisir et/ou de hiérarchiser une ou des nuance(s) d'acier par rapport au procédé de mise en forme retenu. On aborde les notions d'écrouissage et de ductilité de manière concrète en présentant des courbes de traction et des lois de comportement (rhéologies) à chaud et à froid. On aborde également les méthodologies d'acquisition des lois de comportement à froid et à chaud. L'accent est mis sur les difficultés expérimentales rencontrées. A l'issue de cet exposé, les élèves devront avoir des notions concrètes des essais simples de caractérisation en mise en forme et appréhender leur mise en place en entreprise. Pour clore l'exposé, quelques exemples concrets de simulation numérique réalisés dans le monde de la sidérurgie (laminage, solidification, coulée continue, dressage, traitement thermique...).

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Forge – Forge libre – Estampage – Habillage – Ebauche – Roulage – Etirage – Refoulement – Laminage – Cambrage – Gamme de forgeage.

Acier – Lois de comportement – Rhéologies – Aptitude au forgeage.

Tutoriel Simulation numérique en forge

TP ENSAM Metz - Schématisation des outillages avec cinématique - Confrontation simulation/expérience en mise en forme par forgeage - Présentation des résultats à l'ESFF

Caractérisation et modélisation des aciers en forge - Méthodologies d'acquisition des lois de comportement - Modélisation des procédés sidérurgiques

Key words

*Forge – Open die forging – Die forging – Preform – Rolling – Stretching – Heading – Bending.
Steels – Behavior law – Rheology – Forging ability.*

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**Etre capable de :**

- Identifier les processus de fabrication d'une pièce forgée à froid
- Décrire un essai de caractérisation des matériaux
- Identifier les paramètres d'une loi de comportement
- Analyser une simulation numérique de mise en forme des matériaux
- Confronter une simulation numérique à des données expérimentales
- Identifier les paramètres clefs d'une simulation numérique
- Décrire une chaîne d'acquisition

Simulation numérique en Forge*Régis BIGOT***PLAN DÉTAILLÉ****CM 1 (3 h) Présentation TP Metz**

A partir de cas préparé en amont du cours, une application de l'analyse des paramètres opératoires d'une opération de mise en forme. Le cours a pour but de préparer les outils numériques qui seront mis en œuvre sur le site de l'ENSAM de Metz sous forme de TP. La séance en cours sera conclue par la rédaction d'un rapport de calcul.

Schématisation des outillages avec cinématique***Travaux pratiques réalisés à l'ENSAM de Metz****Régis BIGOT, Alexandre FENDLER, Didier BOEHM et Tudor BALAN***TP (3*4 h) Simulation, expérience, analyse et identification**

A partir de résultats de simulation numérique et de résultats expérimentaux, identification des hypothèses et des facteurs influents mal identifiés.

1^{er} cas : **Filage**. Schématiser l'outillage avec la cinématique, les conditions aux limites en frottement et au niveau thermique. Analyser les différences entre les résultats numériques et la courbe expérimentale en effort. Quelles sont les différences, quelles sont les modifications à apporter au niveau de la mise en données ?

2^{ème} cas : **Ecrasement**. Schématiser l'outillage avec la cinématique, les conditions aux limites en frottement et au niveau thermique. Définir l'expérience permettant de confronter/valider la simulation. S'appuyer sur la mise en œuvre autour de la presse pour identifier les différentes phases sur l'acquisition en température.

-> 1^{er} TP : Tests de l'anneau et "notions" de R&R

-> 2^{ème} TP : Tas plan instrumentés

-> 3^{ème} TD : conférence T. Balan

Régis BIGOT

TD (3 h) Synthèse TP Metz
Cet étude dirigée revient sur l'interaction entre la simulation numérique et les essais expérimentaux en particulier sur les notions d'incertitude, de résolution, de justesse et de reproductibilité. Associé à des cas numériques, un échange est mené afin de structurer une démarche permettant de qualifier le résultat numérique d'un calcul sous éléments finis.

BIBLIOGRAPHIE

 2A phy 302	Thermodynamique appliquée à la métallurgie Intervenant : Lola LILENSTEN	CM : 6 h TD : 3 h TP : Evaluation : 2 h
--	--	--

OBJECTIFS

Les notions de thermodynamique acquises en première année ou lors de formations antérieures seront largement utilisées en métallurgie et surtout lors de l'étude de l'élaboration des alliages.

L'objectif de ce cours, sans revenir sur l'ensemble de la thermodynamique, est de rappeler ses principales utilisations en métallurgie.

La présentation sera volontairement accompagnée de nombreux exercices illustrant les différentes notions présentées. Ces exercices seront choisis à partir de cas industriels réels.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Principes de la thermodynamique : savoir calculer et interpréter les enthalpie, entropie, enthalpie libre d'un système. Définir les équilibres thermodynamiques et exprimer et calculer une constante d'équilibre.
- Savoir lire un diagramme de phase S/L, calculer une composition par la règle des segments inverses. Calculer une variance.
- Connaître les notions de base sur les grandeurs de mélange réelles (solutions régulières) et sur les équilibres redox (notion de degré d'oxydation, définition d'un réducteur et d'un oxydant)

(Cf 1A-301)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Enthalpie – Entropie – Enthalpie libre – Equilibres thermodynamiques – Constante d'équilibre – Diagrammes d'Ellingham – Diagramme de phase et modèle des solutions régulières.

Key words

Equation of state - Enthalpy - Entropy - free Enthalpy - thermodynamic equilibria - Ellingham diagrams - Phase diagram and model of regular solutions.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Appliquer les lois de la thermodynamique pour décrire et expliquer les équilibres chimiques dans les cas industriels réels et en particulier dans ceux de l'élaboration des alliages.
- Savoir tracer, expliquer et utiliser un diagramme d'Ellingham des oxydes.
- Expliquer et déterminer des température et pression de corrosion de métaux.
- Tracer qualitativement les variations d'enthalpie libre d'un diagramme de phase en utilisant la méthode de la tangente commune

Thermodynamique métallurgique

Lola LILENSTEN

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (2 h) Rappel de thermodynamique – Utilisation et élaboration du diagramme d'Ellingham des oxydes.

TD 1 (1 h) Exercices

CM 2 (2 h) Stabilité des composés des oxydes métalliques en température et en pression. Diagramme de stabilité des sulfures, carbures, hydrures, nitrures,... Notions de solution régulière (rappels).

TD 2 (1 h) Exercices

CM 3 (2 h) Applications aux diagrammes d'équilibres binaires. Tracer de l'enthalpie libre pour différentes compositions de diagrammes de phase à miscibilité totale ou partielle (eutectique, péritectique).

TD 3 (1 h) Exercices

BIBLIOGRAPHIE

R. Gaboriaud, Physico-chimie des solutions, Masson, Paris, 1996

A. Boutin, G. Dosseh, A. Fuchs, Elements de thermodynamique, Masson, Paris, 1997

A. Durupthy, C. Mesnil, T. Zobiri, Thermodynamique chimique, Hachette, Paris, 1996

Atkins, de Paula, Chimie physique, De Boeck Édition (3e édition), 2008.

Gaboriaud, Lelièvre, Lemordant, Thermodynamique appliquée à la chimie des solutions, Ellipses Marketing Editions, 1998.



2A phy 306

Transferts Thermiques

Intervenant : Marie-Laurence GIORGI -> à corriger

CM : 18 h

TD : 6 h

TP :

Evaluation : 2 h

OBJECTIFS

Le transfert thermique est l'un des modes d'échange d'énergie qui intervient dans la transformation de la matière. Il doit être compris et maîtrisé si l'on souhaite respecter les contraintes technico-économiques d'un procédé métallurgique par exemple.

La démarche pédagogique consiste à débiter par une approche académique pour conclure sur les choix pratiques.

Les différents modes de transferts d'énergie sont analysés de manière séparée en présentant les lois qui régissent la conduction (Fourier), la convection (naturelle et forcée) et le rayonnement (Stephan-Boltzmann, Planck, Wien, Kirchhoff).

L'analyse de la convection permet de considérer les transferts couplés (écoulement-énergie) et d'introduire la notion de nombres adimensionnels : Reynolds, Prandtl, Nusselt, Peclet...

Les corrélations selon la géométrie des parois en contact avec un fluide (métal liquide) sont exploitées dans le cas des échangeurs de chaleur à co-courant et contre courant.

L'étude du rayonnement est importante lorsque l'on s'intéresse par exemple au refroidissement d'un métal liquide. Il est détaillé en insistant sur les paramètres (longueur d'onde, état de surface, angle d'incidence) vis à vis des corps noirs, gris et des autres, et, sur le comportement d'une surface vis à vis du rayonnement réfléchi absorbé, ou transmis. Une analyse critique des données sur l'émissivité est enfin réalisée.

Des études de cas permettent de manipuler l'ensemble des lois en respectant le bilan d'énergie dans le cas du régime permanent et du régime transitoire.

L'exploitation de ces concepts est réalisée dans la dernière partie qui consiste à présenter les différentes techniques de mesure des températures (thermocouples, thermistances, pyromètre, peinture thermosensible, cristaux liquides...).

Le cours est rédigé sous la forme de deux photocopies (110 pages) permettant à l'étudiant de disposer des planches projetées par transparents et des commentaires dactylographiés pour travailler son cours.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Notions de mathématiques : équations différentielles, transformation de Laplace, analyse vectorielle

Notions de physique : les principes de la thermodynamique, la physique du rayonnement

Ces notions seront simplement rappelées durant la cours.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Transfert de chaleur – Mesures de la température – Introduction au transfert de chaleur – Bilan de chaleur – Conduction en régime permanent – Loi de Fourier – Conduction en régime transitoire – Convection thermique – Expression du flux de chaleur – Transfert thermique par rayonnement – Techniques de mesure des températures par pyrométrie optique

Key words

Heat transfer – temperature measurement – Introduction to heat transfer – Heat balance- Steady-state conduction – Fourier's law – Transient Conduction – Convection heat transfer mode – Expression of heat flow – Radiative heat transfer – Temperature measurement by optical pyrometry

.../...

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Ecrire l'expression d'un bilan de chaleur en régime permanent ou transitoire
- Ecrire les expressions d'un flux de chaleur par conduction, convection et rayonnement en régime permanent
- Connaître les propriétés de conduction de la chaleur des différents type des milieux (gaz, liquide, solides métalliques ou non métallique)
- Donner un encadrement du coefficient d'échange convectif en fonction de la nature du fluide (gaz ou liquide) et du type de convection (naturelle ou forcée)
- Calculer des flux de chaleur par conduction, convection et rayonnement en régime permanent
- Calculer l'évolution de température dans un milieu homogène soumis à un refroidissement (régime transitoire)
- Expliquer comment un logiciel de simulation calcule l'évolution de température dans un milieu solide soumis à un refroidissement en régime transitoire
- Déterminer si un gradient de température existe au sein d'un solide soumis à un refroidissement en calculant le nombre de Biot
- Calculer la surface d'un échangeur de chaleur toutes les autres contraintes étant fixées par ailleurs (débits du fluide d'intérêt et du fluide caloporteur, température d'entrée du caloporteur)
- Expliquer le fonctionnement des différents types de pyromètres optiques (citer les lois physiques utilisées dans chaque cas) et leurs avantages et inconvénients respectifs

Transferts Thermiques

Stéphanie OGNIER

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) Introduction au transfert d'énergie
Les différents modes de transfert d'énergie
Les unités d'énergie – Consommation d'énergie
Champs de température – flux thermique – régime permanent et transitoire
Ecriture d'un bilan d'énergie

CM 2-3 (5 h) **Conduction en régime permanent**
Loi de Fourier
- Conductivité thermique
- Notion de résistance thermique
- Cas particuliers : Mur à faces parallèles, Mur multi-composants,
Cylindre à faces isothermes, Cas d'une sphère creuse

TD (1 h)

CM 4 (2 h) **Convection thermique**

Expression du flux de chaleur par convection

- Echange autour d'une paroi plane
- Echange sur la paroi d'un tube cylindrique

Mise en évidence des nombres sans dimension

- Estimation du coefficient d'échange par convection
- Lois de l'écoulement des fluides
- Corrélation $Nu = f(Re, Pr)$

TD (1 h)

CM 5 (2 h) **Refroidissement d'un matériau en régime transitoire**

Signification et utilité du nombre de Biot

Introduction aux méthodes de calculs numériques

Application : Calcul de l'évolution de température dans une barre cylindrique soumise à un refroidissement convectif (utilisation du tableur Excel)

TD (1 h)

CM 6 (2 h) **Calcul d'un échangeur de chaleur**

Bilan d'énergie dans un échangeur

- Echangeur à co-courant
- Echangeur à contre courant
- Calcul d'un échangeur de chaleur

TD (1 h)

CM 7 (2 h) Transfert thermique par rayonnement

Rappel des notions de rayonnement

Comportement d'un rayonnement sur une surface

Flux : incident, réfléchi, transmis, absorbé

Définition du corps noir

Loi de Stephan-Boltzman

Loi de Planck

Lois de Wien

Emissivité – Loi de Kirchhoff

Application dans le cas d'un bain de métal en fusion

TD (1 h)

CM 8 (2 h) Techniques de mesure des températures

Introduction

- Rappel sur la notion de température
- Echelle de température – Unités
- Principe de mesure d'un capteur

Capteurs optiques

- Les pyromètres : pyromètre à radiation totale
 Pyromètre monochromatique
 Pyromètre bi-chromatique
 Choix du photomultiplicateur
 Précaution de mesure
- Les caméras infrarouges : Champs de température

Conclusion

- Domaine de température d'utilisation
- Conditions caractéristiques d'une mesure
- Critères de choix d'un capteur de température optique

TD (1 h)

BIBLIOGRAPHIE

Heat transfert, a basic approach de M. Necati Özisik – Mc Graw-Hill International editions 1985

Initiation aux transferts thermiques de JF Sacaduco – Edition Cast Lyon 1989

Techniques de l'ingénieur – Mesures et contrôles

La mesure des températures de F. Millet – PYC Edition 1988



2A chi 403

Solidification des métaux et alliages

Intervenant : Jean-Bernard GUILLOT

CM : 15 h

TD : 9 h

TP :

Evaluation : 3 h

OBJECTIFS

Le cours vise à montrer que les principes physico-chimiques de la solidification permettent de comprendre comment s'établissent les structures et naissent les défauts de fonderie dans les pièces coulées.

S'appuyant sur les connaissances générales des étudiants en thermodynamique et physique, il est en relations fortes avec les cours de Métallurgie structurale, de Thermodynamique métallurgique et de Thermique. Il est d'un niveau assez élevé en Physico-chimie.

Il débouche sur l'acquisition de connaissances pratiques sur les paramètres qui gouvernent la santé des pièces de fonderie.

L'objectif des travaux dirigés est de retravailler les sujets de cours pour consolider les différentes notions apprises et, par des études de cas, acquérir des ordres de grandeurs des paramètres fondamentaux des processus de solidification.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Notions de mathématiques : dérivation et intégration, équations différentielles, analyse vectorielle.

Notions de physique : thermodynamique chimique.

Expériences pratiques de coulée de métaux.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Germination homogène et hétérogène – Solidification hors d'équilibre – Surfusion chimique – Croissance équiaxe – Croissance dendritique – Solidification des eutectiques – Défauts de coulée – Solidification rapide.

Key words

Homogeneous and heterogeneous nucleation – Non-equilibrium solidification – Constitutional supercooling – Equiaxial growth – Dendritic growth – Solidification of eutectic alloys – Defects of castings. Rapid solidification.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**Etre capable de :**

- reconnaître l'importance des phénomènes accompagnant la solidification, non seulement en coulée mais également en soudage ;
- mesurer l'héritage de la solidification sur la structure et les propriétés (notamment mécaniques) des pièces coulées ;
- manipuler des diagrammes de phases hors équilibre ;
- relier les paramètres opératoires de la coulée à la nature (équiaxe, colonnaire, dendritique) et à la finesse des structures obtenues ;
- identifier les paramètres physico-chimiques de la solidification des structures eutectiques et péritectiques ;
- comprendre l'origine des défauts de fonderie ; retassure, ségrégations, soufflures, inclusions... et apprendre les remèdes qui peuvent améliorer la santé des pièces coulées ;
- reconnaître les conditions de solidification rapide, les relier aux structures obtenues ;
- comprendre l'intérêt et les limitations de la fabrication par solidification de structures micro-cristallisées ou amorphes.

Solidification*Jean-Bernard GUILLOT***PLAN DÉTAILLÉ**

CM 1 (3 h)	Introduction : l'héritage de la solidification Structure des liquides – Germination homogène et hétérogène
TD 1 (3 h)	Énergie de liaison entre atomes. Estimation de l'énergie de surface. Germination hétérogène – Germination dans les cavités des parois du moule.
CM 2 (3 h)	Partage d'un soluté – Solidus fictif et équation de Scheil – Surfusion chimique – Modèle du film
TD 2 (3 h)	Calcul de la distribution d'un soluté – Surfusion chimique
CM 3 (3 h)	Croissance des cristaux – Croissance équiaxe – Croissance dendritique – Formes des dendrites – Structure des pièces coulées
CM 4 (3 h)	Défauts de fonderie – Retassures – Ségrégations Inclusions – Soufflures
TD 3 (3 h)	Analyse de cas concrets de solidification.
CM 5 (3 h)	Solidification des eutectiques. Aperçus sur la solidification rapide.

BIBLIOGRAPHIE

Principles of Solidification. B. Chalmers, Wiley, 1964

An Introduction to the Solidification of Metals. W.C. Winegard, Institute of Metals, 1964

Solidification Processing. M.C. Flemings, McGraw Hill, 1974

Fundamental of Solidification. W. Kurz, D.J. Fischer, Trans Tech Publications, 1986

Theory of solidification. S.H. Davis, Cambridge University Press, 2001

Métallurgie : du minerai au matériau, J. Philibert, A. Vignes, Y Bréchet, Dunod, 2002

Solidification. J.A. Dantzing, M. Rappaz, EPFL Press, 2009

	Sables de moulage et de noyautage Intervenants : Patrick VERDOT, Jean-Bernard VIROLLE, Julien SORO	CM : 18 h TD : 3 h TP : Evaluation : 3 h
--	---	--

OBJECTIFS

La coulée de pièces métalliques en fonderie s'effectue dans un grand nombre de cas par les procédés de moulage sable. Les évidements des pièces sont généralement obtenus par des noyaux en sables réfractaires agglomérés par différents systèmes de liants.

L'objectif de ce cours est de communiquer aux étudiants apprentis les connaissances fondamentales concernant la nature et les propriétés des systèmes de liants utilisés tant en moulage qu'en noyautage et leur incidence sur la qualité des pièces obtenues. Ces connaissances doivent permettre d'effectuer un choix technico-économique de procédés en fonction des fabrications et de maîtriser le procédé de moulage/noyautage en tenant compte des contraintes d'hygiène, de sécurité et environnementales. Le cours abordera les procédés de moulage et noyautage en sable à prise chimique, les enduits, les additifs et le moulage en sable à vert.

Le moulage "sable à vert"

Le moulage "sable à vert" est le procédé de moulage le plus couramment employé en fonderie de par son très bon rapport qualité / coût d'utilisation. La compréhension et la maîtrise de ce procédé sont donc fondamentales dans le domaine du moulage des fontes, des aciers ou des non ferreux.

L'objectif de ce cours est également de communiquer les connaissances principales de composition et de mise en œuvre de ce procédé ; La première partie de ce cours permet de comprendre la nature de chacun des constituants, à savoir : le sable, la bentonite, les additifs carbonés et l'eau. La deuxième partie permet de comprendre le rôle physico-chimique de chacun de ces éléments. La troisième partie enfin, traitera des contrôles de sables et des constituants, de la mise en œuvre et des dangers associés.

Ce cours aborde également les questions d'équilibre de pressions au moment de la coulée du métal dans les moules.

Les questions d'équilibre de pressions au moment de la coulée du métal dans les moules seront également abordées.

Les sables à prise chimique

Apparus depuis les années 50, les procédés de noyautage et moulage des sables à prise chimique ont révolutionnés la fonderie. En effet, ces différents procédés vont permettre la fabrication de moules et de noyaux de plus en plus complexes et une maîtrise plus facile des paramètres de fabrication. Les procédés de noyautage et moulage des sables à prise chimique comprennent les procédés à prise thermique, les procédés autodurcissants et les procédés à prise par gazages. L'objectif du cours est d'une part de présenter la physico chimie des différents procédés, les matériaux, les paramètres à contrôle, d'autre part les enduits et les additifs nécessaires.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Connaissance des éléments et table de classification (Mendeleïev),
- Savoir équilibrer des équations chimiques,
- Connaissance des matériaux métalliques de base,
- Lois de Gauss, de Boyle-Mariotte, de Lavoisier (conservation des masses), de Curie, de Laplace.

.../...

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Moulage sable – Argile – Additifs – Contrôles sable – Défauts – Caractérisation – Réactions de polymérisation et de réticulation – Application aux sables à prise chimique – Problèmes d'incompatibilité – Sable à prise chimique – Liant – Résines – Noyautage – Enduits – Procédés – Hygiène et sécurité – Recyclage – Environnement.

Sable à vert – Moulage à vert – Bentonites – Noirs – Noirs poudres – Additifs carbonés – Eau – Contrôle des constituants des sables à vert – Pression métallo-statique – Carbone brillant – Contrôles des sables à verts – Stockage des noirs (additifs carbonés) – Risques au stockage.

Key words

Sand moulding – Additives – Process – Sand controls – Defects – Chemically bonded sand – Core making – Coating – Resin – Binder – Coring – Health and Safety – Recycling – Environment.

Green sand – Green sand casting – Clay – Coal dust – Powder coal dust – Lustrous carbon producer – Control of green sand raw material – Metallo-static – Pressure – Lustrous carbon – Control of green sand - Coal dust (carbonaceous producer) – Storage – Storage risk

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de (pour les sables de moulage et de noyautage) :

- Choisir le squelette réfractaire du sable en fonction du type de moulage
- Choisir le procédé de noyautage ou de moulage à prise chimique le plus adapté au besoin
- De contrôler les paramètres importants des procédés utilisés
- Choisir les enduits et les additifs appropriés
- Choisir le type de liant argileux : bentonite
- Choisir le type d'additif carboné
- Définir le cahier des charges pour la commande des produits précédents
- Effectuer le contrôle de réception de ces produits
- Appréhender l'évolution du sable de moulage en circuit pour minimiser les dérives
- Définir les contrôles nécessaires au bon suivi du sable à vert préparé
- Choisir les méthodes de contrôle
- Comprendre l'origine des défauts en relation avec le sable à vert
- Apporter les remèdes à ces défauts

Etre capable de (pour les sables à vert) :

- Reconnaître les éléments constitutifs du sable à vert
- Cerner les rôles directs et indirects de chaque composant du sable à vert.
- Comprendre la nature et les fonctions du liant de type argile ou bentonite
- Comprendre la nature et les fonctions des additifs carbonés
- Comprendre les rôles de l'eau dans le principe de liaison "sable à vert"

- Contrôler et critiquer la qualité des composants d'un sable à vert
- Appréhender les risques de sécurité et d'hygiène liés au noir minéral et à l'argile
- Comprendre les phénomènes physiques et chimiques intervenant lors de la coulée du métal dans un moule en sable à vert
- Comprendre les conséquences de la coulée du métal sur les sables à vert
- Identifier les points de contrôles à mettre en œuvre
- Lister les paramètres permettant le pilotage d'une sablerie à vert
- Connaître les leviers permettant de stabiliser le sable en circuit
- Créer un plan d'action pour anticiper les dérives du sable et les risques de défauts sur pièces
- Maîtriser la qualité du sable de moulage pour optimiser la qualité des pièces de fonderie.

Sables de moulage argileux

Jean-Bernard VIROLLE

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) Historique du moulage : moules permanents, moules non permanents
 Moulage en sable à vert, moulage à prise chimique
 Éléments technologiques, économiques et environnementaux du moulage
 Propriétés et caractéristiques du sable préparé
 Principaux défauts liés au sable à vert
 Contrôles des sables réfractaires (granulométrie, particules < 20µm, masse volumique apparente, masse volumique absolue, perte au feu, demande acide ou basique, teneur en eau, pH, surface spécifique, teneur en soufre, teneur en azote, conductivité électrique).

Sables à vert

Patrick VERDOT

CM 2 (3 h) Constituants des sables à vert : Sables réfractaires (silice) – Différentes argiles
 Additifs carbonés (propriétés et mise en œuvre, stockage, gestion des risques, hygiène et sécurité) – Eau – Contrôle des constituants (argiles : rétention au bleu de méthylène, teneur en eau, aptitude au gonflement, analyse granulométrique, test de cohésion, teneur en carbonates, teneur en fluor – noirs minéraux : matières volatiles, teneur en eau, teneur en cendres, granulométrie, teneur en soufre, teneur en azote, teneur en carbone brillant), réception des matières premières – Préparation du sable à vert et caractéristiques du sable préparé.

CM 3 (1 h) Mécanismes physico-chimiques intervenant sur le sable pendant la coulée.
 Evolution et suivi du sable de circuit pour le maintien de son équilibre.
 Détermination des paramètres intervenants et les méthodes pour minimiser les fluctuations du circuit de sable.

TD (2 h) Exemple de pilotage du volant de sable sur la base d'un cas concret.
 Etude des techniques et des règles à employer pour une maîtrise optimisée du circuit de sable et indirectement de la qualité des pièces de fonderie.

Sables de moulage argileux

Jean-Bernard VIROLLE

- CM 4 (3 h) Sable de moulage en circuit : Description du circuit – Evolution de la composition
Caractéristiques du sable préparé.
Contrôles du sable de circuit (teneur en carbone, teneur en eau, perte au feu, particules < 20µm, granulométrie, teneur en silice, teneur en matières volatiles, pH, conductivité, teneur en soufre, perméabilité, résistance à la compression, résistance au cisaillement, résistance à la fissuration, aptitude au serrage, masse volumique apparente, résistance à haute humidité, aptitude à l'écoulement, caractéristiques à sec, caractéristiques en fonction de l'humidité) – Caractéristiques – Cartes de contrôle – Régénération.
Les défauts en relation avec le sable à vert : causes et remèdes.
-

Sables à prise chimique

Julien SORO

- CM 5 (3 h) - Composés chimiques utilisés dans les liants de fonderie et mécanisme de condensation et Classification des procédés selon leur nature chimique et conditions de prise
- Les sables de fonderie : silice, zircon, chromite, olivine, les silico-alumineux
 - Les procédés auto-durcissant (furaniques, phénoliques, polyuréthane, résines alkydes, phénolate alcalin ester alpha-set) - Principe de base - Mise en œuvre - Hygiène et sécurité - Environnement - Avantages et inconvénients
 - Les procédés à prise par gazage (boîte froide polyuréthane, phénolate alcalin ester bêta-set, acrylate isoset, silicate-CO₂) - Principe de base - Mise en œuvre - Hygiène et sécurité - Environnement - Avantages et inconvénients
-
- CM 6 (3 h) - Les procédés à prise thermique : Croning, boîte chaude, boîte tiède, - Principe de base - Mise en œuvre - Hygiène et sécurité - Environnement - Avantages et inconvénients
- Les procédés à liant inorganique, - Principe de base - Mise en œuvre - Hygiène et sécurité - Environnement - Avantages et inconvénients
 - Contrôle des liants liquides (masse volumique, temps d'écoulement, viscosité, indice de réfraction, teneur en eau, teneur en azote, point trouble d'une résine phénolique, teneur en soufre dans les durcisseurs, extrait sec d'une résine phénolique, indice d'acide d'un durcisseur)
 - Contrôle des sables liés (durée de vie, évolution des caractéristiques, dégagement gazeux, perte au feu d'un sable cru ou polymérisé, point d'accrochage d'un sable préenrobé)
-

Enduits et additifs en sables à prise chimique

Julien SORO

- CM 7 (2 h) - Additifs pour pallier les défauts de gerces, abreuvage, soufflures, piqûres...
- TD (1 h) - Enduits : rôle, composition, éléments de rhéologie, mise en œuvre, séchage.
-

BIBLIOGRAPHIE

Manuel du sable à vert : de la mise en œuvre au recyclage – CTIF

Logiciel Adagio du CTIF.

Logiciel ALADIN du CTIF

Recommandations techniques sur le contrôle des sables de moulage – CTIF

Manuel des sables à prise chimique – CTIF.

Référentiel de l'AFNOR

Manuel du sable à vert : de la mise en œuvre au recyclage - CTIF

Articles de Franz HOFFMAN (société GF à Shaffhouse) : *Le circuit de moulage en fonderie et son influence sur les composants du sable*

- (1) P. Beauvais - Manuel des sables à prise chimique. Description des procédés de moulage et de noyautage Tome 2
- (2) Morrisson et Boyd - Organic Chemistry, 3ème édition, 1973.
- (3) M. Stevenson - Phenolic resins-their role in foundry coremaking, the British Foundryman, 1981, n° 12, p. VII.
- (4) D. Corniau - Les produits utilisés en fonderie pour la fabrication à chaud de moules et noyaux, procédé "boîte chaude", procédé "Croning", Hommes et Fonderies, décembre 1982, p. 35-39.
- (5) R.H. Kottke, A.E. Bloomquist, - new application for furan foundry binders. The warm box process, AFS Transactions, 78-25, p. 215-220.
- (6) B. Guironnet - Le procédé de noyautage en boîte tiède, conditions et possibilités d'application en fonderie de fonte grise, Hommes et Fonderie, décembre 1982, p. 31-33.
- (7) M. Rochier, J.P. Lahalle - Caractéristiques comparées des procédés de moulage et de noyautage, Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui, n° 60, décembre 1986, Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui, n° 61, janvier 1987, Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui, n° 62, février 1987.
- (8) Paul R. Carey -Today's Resin binder - Processus for core-making, Foundry Management and Technology, p. 32 - 39, novembre 1990.
- (9) M. Chevalier - Phénoplastes ou phénols - formol PF, Techniques de l'ingénieur, matériaux non métalliques, vol. AM2, 3435, février 1993.
- (10) M. Noël - Le procédé Ashland, Hommes et Fonderie, Décembre 1982, p. 27 - 28.
- (11) J. Truchelut - Procédé Ashland, Communication au Congrès International de Warwick "Liants chimiques en fonderie" 30 Mars - 1er avril 1976.
- (12) D.A. Broennle - Current gas generator practice in the core shop, communication au congrès international de Birmingham "Advances in technology and binders for gas-hardened moulds and cores", 18 mars - 20 mars 1986.
- (13) B. Torralba - Les émissions de composés organiques volatils à la coulée, en fonderie, Emission of volatile organic compounds during casting in foundries Fonderie Magazine, 01/2013, N° 31, p. 19-31

 2A sdm 503	Plasticité Intervenants : Tudor BALAN	CM : 12 h TD : 6 h TP : Evaluation : cc
--	--	--

OBJECTIFS

La plasticité des métaux est une propriété essentielle qui conditionne les déformations irréversibles créées lors de leur mise en œuvre à l'état solide ou bien le fluage des équipements sous contraintes et températures élevées.

Le cours de plasticité présente les propriétés mécaniques des métaux et leur incidence sur les efforts et les capacités de mise en forme à l'état solide à froid ou à chaud. L'enseignement comporte deux parties :

- Une présentation de critères pour l'approche macroscopique de la plasticité. Des applications à des cas concrets. Une description des mécanismes microscopiques faisant intervenir les dislocations, avec la relation avec la plasticité macroscopique.
- Une présentation des propriétés mécaniques des métaux en fonction de la température, de leur modification par des traitements thermomécaniques, des structures métallurgiques et des propriétés mécaniques obtenues en déformation à froid et à chaud ; ces notions sont ensuite utilisées pour présenter la mise en forme des métaux dans le cas de produits longs ou plats et notamment pour décrire, pour différents procédés, les contraintes et les limites liées aux propriétés des matériaux.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Résistance des matériaux – Métallurgie générale – Essais mécaniques de base (Traction, Dureté...)

(Cf 1A-501 et 1A-502)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Bases physiques de la plasticité – Etude de cas de déformation plastique - Définition et déplacement des dislocations – Durcissement par écrouissage - Adoucissement par traitement thermique - Mise en forme de produits plats et longs

Key words

Physical basis of the theory of plasticity – Study of cases of metal forming – Definition and movement of dislocations – Cold hardening – Annealing by heat treatment – Fabrication of bars and sheets

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**Etre capable de :**

- d'appréhender la force, le moment de flexion, le couple de torsion ainsi que l'énergie nécessaire permettant la déformation plastique des matériaux métalliques dans des cas simples ;
- comprendre les caractéristiques mécaniques anisotropes obtenues par déformation plastique ;
- comprendre le rôle joué par les défauts ponctuels, linéaires, surfaciques, volumiques lors de la déformation plastique ;
- d'avoir une vue d'ensemble des procédés de mise en œuvre des métaux et de comparer leur domaines d'utilisation ;
- de présélectionner un alliage métallique pour ses propriétés de mise en œuvre ;
- d'utiliser les bons critères de sélection d'une famille de matériaux et de procédés de mise en œuvre en vue d'une fabrication d'un produit particulier ;
- de choisir un état métallurgique après mise en œuvre et traitement en fonction de l'utilisation du produit ;
- d'avoir une approche sur l'incidence du matériau et du procédé sur le coût de la pièce.

PLAN DÉTAILLÉ***Plasticité****Tudor BALAN*

CM 1 (2 h)	Bases physiques de la plasticité : Notions de seuil, d'écrouissage, de lois d'écrouissage Critères de plasticité, grandes déformations homogènes
TD 1 (1 h)	

CM 2 (2 h)	Présentation du filage inverse, filage, tréfilage, pliage, torsion des barreaux : Calcul : - des déformations subies par le produit - du travail mis en œuvre - des forces à mettre en jeu.
TD 2 (1 h)	

CM 3 (2 h)	Introduction à la plasticité microscopique : Définition des dislocations : vecteur et circuit de Burgers Déplacement des dislocations par glissement et montée Application à la recristallisation
TD 3 (1 h)	

Plasticité

Tudor BALAN

CM 4 (2 h) Présentation et comparaison des procédés de mise en œuvre des métaux
Défauts et structures des métaux après fusion et déformation
Propriétés mécaniques en fonction de la température
Durcissement par écrouissage et adoucissement par traitement thermique
Structures et propriétés obtenues par déformation à froid et à chaud

TD 4 (1 h)

CM 5 (2 h) Application à l'obtention de produits plats et longs :
Types et propriétés des produits, équipements et types de fabrication
Intérêts, limites et complémentarité des procédés
Illustration et exercices sur la fabrication par laminage, extrusion, étirage

TD 5 (1 h)

CM 6 (2 h) Application à la mise en forme des matériaux en feuilles :
Types de mise en œuvre, problèmes liés aux matériaux (malléabilité, taille de grains, anisotropie, contraintes résiduelles, retour élastique...)
Illustration et exercices sur la fabrication par découpage, pliage, emboutissage, repoussage.

TD 6 (1 h)

BIBLIOGRAPHIE

Précis de construction mécanique, tome II, Méthodes de fabrication et de normalisation,
R.QUATREMER, J-P.TROTIGNON – AFNOR-NATHAN

Précis de métallurgie, J.BARRALIS, G.MAEDER – AFNOR-NATHAN

Plasticity for mechanical engineers, W.JOHNSON, P.B.MELLOR - VNR Company - London
1971.



2A sdm 504

Métallurgie et élaboration des aciers

Intervenants : Jean-Marcel MASSON et Laurent LANGLOIS

CM : 18 h

TD : 3 h

TP :

Evaluation : 3 h

OBJECTIFS

Dans le cadre de la présentation des différentes familles d'alliages métalliques, ce cours s'intéresse à l'ensemble des aciers et bases nickel.

Dans une première partie, sont rappelées les notions de métallurgie spécifiques mises en jeu dans la mise en œuvre de ces produits : effets des éléments d'alliage, mécanismes de durcissement intervenant lors des opérations de déformation plastique et de traitements thermiques. Leurs principales propriétés d'usage sont présentées : propriétés mécaniques, soudabilité, usinabilité, fragilisation par l'hydrogène.

Dans une deuxième partie, sont présentées les principales familles d'alliages industriels, leurs caractéristiques, leurs applications et leurs évolutions : aciers d'usage général, aciers spéciaux de construction ou de traitement thermique, aciers inoxydables, aciers à outils et résistant à l'abrasion, aciers rapides, alliages bases nickel et superalliages.

Dans une troisième partie, sont étudiés les processus d'élaboration de ces produits jusqu'au métal liquide : aciérie électrique, métallurgie en poche et sous vide, A.O.D., etc.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- ✓ RDM (Cf 1A-501)
- ✓ Transferts thermiques (2A-306)
- ✓ Métallurgie structurale (1A-502)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Métallurgie des aciers - Propriétés d'usage - Propriétés mécaniques, trempabilité, soudabilité, usinabilité, Fragilisation par l'hydrogène - Aciers d'usage général - Aciers de traitements thermiques- Aciers inoxydables – Aciers à outils – Aciers rapides - Elaboration au four à arc acide et basique - Fours HF - Métallurgie sous vide - Métallurgie en poche – AOD – VOD – Valeur des ferrailles

Key words

Steel metallurgy – Use properties - Mechanical properties – Hardenability - Weldability – Machinability – Hydrogen induced cracking – Steels for general uses - Steels for heat treatment – tool steels – high speed steels - Corrosion resistant steels – Melting in acid or basic electric arc furnaces - Melting in induction furnaces – Vacuum metallurgy – Ladle metallurgy – AOD – VOD - Scraps values

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Situer les propriétés physico chimiques des aciers par rapport à celles des autres matériaux industriels
- Classer les aciers par grandes familles en fonction de leur composition chimique et en fonction de leur structure cristallographique
- Citer les principales propriétés d'usage et de mise en œuvre des différentes catégories d'acier
- Lire les diagrammes TTTI et TTTRc
- Définir les conditions de traitement thermiques d'un alliage en fonction des caractéristiques à atteindre
- Reconnaître, dans le cas des aciers trempants, les structures d'équilibre (ferrite, cémentite, perlite) des structures hors d'équilibre (bainite, martensite)
- Distinguer la nature et la répartition des inclusions non métalliques et des phases intermétalliques
- Déterminer la nuance d'acier la mieux adaptée pour répondre à un cahier des charges envoyé par un client
- Connaître les différentes familles d'aciers à outils, leurs traitements thermiques et leurs domaines d'application.
- Connaître les grandes familles de superalliages, leurs propriétés physicochimiques et leurs principaux domaines d'application
- Analyser les processus de fabrication des moules en céramique, de l'élaboration et de la coulée sous vide
- Reconnaître les différentes structures micrographiques et les phases durcissantes en fonction des conditions de traitement thermique
- Citer les principales méthodes d'élaboration des aciers moulés
- Décrire les principaux éléments constitutifs des fours de fusion (arc, induction, convertisseur)
- Définir les principales étapes d'une élaboration dans un four à arc et à induction et les résultats métallurgiques
- Calculer le volume d'oxygène nécessaire à la décarburation et l'affinage d'un bain d'acier
- Indiquer le rôle et les spécificités des réacteurs de métallurgie secondaire
- Optimiser le coût des enfournements métalliques en fonction des fluctuations du prix de marché des ferrailles et des ferro-alliages
- Déterminer l'impact sur les teneurs en éléments résiduels et les propriétés mécaniques obtenues à l'issue d'une opération AOD, VIM, VAD, LF ou VOD
- Définir les paramètres d'élaboration des nuances d'aciers inoxydables à forte teneur en chrome et des aciers au manganèse
- Maîtriser les teneurs en gaz dans l'acier liquide pour éviter la formation de porosités ou de soufflures
- Calculer la température du liquidus du matériau et en déduire la température de coulée de l'acier, au four
- Valoriser les ferrailles et les retours de fonderie à leur juste niveau
- Choisir le garnissage réfractaire du four en fonction du type de métallurgie mis en œuvre par la fonderie
- Analyser l'origine de l'usure des réfractaires (fours, poches, convertisseurs) et y remédier

Métallurgie et élaboration des aciers

PLAN DÉTAILLÉ

Jean-Marcel MASSON

CM 1 (3 h) Introduction – Position des aciers parmi les matériaux industriels – Rappels de métallurgie – Propriétés d’usage et de mise en œuvre : propriétés mécaniques, soudabilité, usinabilité, influence de l’hydrogène- Les grandes familles d’aciers : désignation normalisation - Appareils à pression- Aciers réfractaires - Aciers d’usage général – Aciers de traitements thermiques –Aciers inoxydables – Usure.

CM 2 (3 h) Elaboration classique des aciers : aciers ordinaires, aciers d’usage général aciers peu alliés, aciers inoxydables et réfractaires – Elaboration aux fours à arc acide et basique – Evolution des fours à arc – Elaboration au four à induction – Garnissages réfractaires – Thermodynamique des processus de fusion et d’affinage – Maitrise des teneurs en gaz –Température de coulée en moules – Poches de coulée –Valorisation des ferrailles et des retours de fonderie – Calcul économique des enfournements

CM 3 (3 h) Métallurgie secondaire – Généralités, objectifs performances -- Métallurgie en poche, chauffante et sous vide : four poche, LF , ASV, RHOB, AOD- DH-RH VIM- VAR , ESR – Application : Aciers spéciaux - Inoxydables – Manganèse-Alliage cobalt -- Alliages bases nickel – Elaboration et métallurgie des poudres pré-alliées - Propreté inclusionnaire – Structure micrographique.

Métallurgie des aciers

Laurent LANGLOIS

CM 1 (2 h) Notion de trempabilité – Les différentes phases dans les aciers – Utilisation des diagrammes TTTI et TTTRc – Courbe Jominy
Impact des traitements thermiques sur les déformations et niveaux de contraintes résiduelles
Mécanismes de durcissement des alliages métalliques avec application particulière au cas des aciers

TD 1 (2 h) Application de l’utilisation des diagrammes TTTI, TTTRc et des courbes Jominy

CM 2 (2 h) Influence des éléments d’alliages sur les propriétés des aciers – Effet des éléments sur la trempabilité – Effet des éléments d’alliages sur les mécanismes de durcissement
Les traitements thermiques (les recuits, le revenu), thermomécaniques et mécaniques (laminage à chaud, laminage à froid, forgeage à chaud, forgeage à mi-chaud, forgeage à froid...)

CM 3 (2 h) Les aciers à outils – les principales propriétés recherchées en fonction des applications – leurs traitements thermiques – les principaux éléments d’alliages – aptitude aux traitements de surface

CM 4 (2 h) Les aciers inoxydables – leurs structures métallurgiques en lien avec leurs propriétés mécaniques et chimiques – leurs traitements thermiques et thermomécaniques
Les aciers moulés – leurs structures métallurgiques – les principaux éléments d’alliages et les propriétés métallurgiques associées – leurs traitements thermiques

TD 2 (2h) Application choix ou justification d’un choix d’acier et de son traitement pour les différentes catégories d’acier (acier micro-alliés, aciers à outil, aciers inoxydables, aciers moulés)

Evaluations : A l’issue du CM2, un DM sur la trempabilité et l’utilisation des diagrammes de transformation (TTTRc, TTTI, Courbe Jominy...)

A l’issue du CM4, Devoir sur l’ensemble du cours sous la forme de question de cours et de petites applications

BIBLIOGRAPHIE

Métallurgie générale (2ème édition) de J. BENARD, A. MICHEL, J. PHILIBERT et J. TALBOT – Edition MASSON.

Matériaux industriels – Matériaux métalliques de M. COLOMBIÉ et COLL – DUNOD

Elaboration et traitements thermiques des aciers moulés de JM MASSON- CYCLATEF 2011

Les Aciers Spéciaux – Editions Lavoisier – Décembre 1997

Fonderie et moulage de l’acier- les Techniques de l’Ingénieur

- M 3622 : Evolution des procédés d’élaboration, JM MASSON
- M 3623 : Elaboration de l’acier moulé, Fours fusion, JM MASSON
- M 3624 : Elaboration de l’acier moulé, Analyse des processus métallurgiques, JM MASSON
- M 3625 : Elaboration de l’acier moulé, Métallurgie secondaire, JM MASSON
- M 3626 : Elaboration de l’acier moulé, Cas pratiques, JM MASSON
- M 3632 : Traitements thermiques, JM MASSON

Evaluation des moyens d’élaboration des aciers moulés, ADEME, 1998, JM MASSON

Nouvelles techniques d’élaboration au four à induction, ADEME, 2000, JM MASSON

Fours à induction et métallurgie des aciers moulés, FFA, n°205, 2005, JM MASSON



2A sdm 505

Métallurgie des fontes lamellaires

Intervenant : Jacques FARGUES

CM : 24 h

TD :

TP : 6 h

Evaluation : 1 h (oral)

OBJECTIFS

Les pièces en fonte représentent une importante part de l'ensemble des pièces moulées. Elles couvrent non seulement les domaines de construction automobile, ferroviaire, navale, agricole, électrique mais également ceux de l'industrie chimique, du bâtiment, des appareils ménagers...

C'est par l'extrême diversité de leurs structures et de leurs propriétés que les fontes peuvent s'adapter à des domaines aussi variés.

Dans ce cours, et compte tenu de la situation tout à la fois complémentaire et concurrentielle des divers types de fonte, on prendra soin de distinguer l'approche métallurgique des fontes à graphite lamellaire, actuellement majoritaires sur le marché, et celle des fontes à graphite sphéroïdal. Ce dernier matériau, le plus « jeune » sera traité selon tous les aspects propres à un matériau en pleine expansion qui est amené à jouer un rôle de plus en plus prépondérant sur le marché.

L'objectif de ce cours est de donner aux élèves apprentis les connaissances fondamentales leur permettant de contrôler les structures des fontes et par là-même de régler les propriétés mécaniques et fonctionnelles adaptées aux diverses applications. Outre les considérations importantes sur la classification des fontes et sur l'état de la normalisation, ce cours abordera donc tous les aspects métallurgiques relatifs aux diagrammes d'équilibre, à l'élaboration des fontes liquides, au réglage de la composition chimique, aux traitements du métal liquide (désulfuration, sphéroïdisation, inoculation...) et aux propriétés d'utilisation.

Afin de disposer de tous les moyens permettant d'agir sur les structures le cours comportera un volet relatif aux traitements thermiques. Les élèves pourront ainsi définir les traitements nécessaires pour corriger d'éventuelles anomalies de structure et pour développer des propriétés particulières qui ne peuvent être atteintes que par l'application de traitements thermiques.

Les TP relatifs à ce cours donneront aux élèves apprentis les bases nécessaires pour reconnaître et décrire les structures. Ils illustreront, par des exemples concrets, les cours plus théoriques. Au-delà de la simple description des structures, cette partie du cours établira, lors de chaque examen, les relations étroites qui existent entre les aspects structuraux et les paramètres métallurgiques et thermiques gouvernant la solidification et les transformations à l'état solide.

Les connaissances acquises permettront aux futurs ingénieurs de résoudre ultérieurement les problèmes métallurgiques auxquels ils seront confrontés dans leur vie active et de proposer des solutions originales pour de nouvelles réalisations.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Thermodynamique générale (Cf 1A-301)
- Métallurgie structurale (Cf 1A-502)
- Masselottage et remplissage (Cf 1A-702)
- Physico-chimie fiche (Cf 1A-402)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Classification et structures des fontes – Définition – Normalisation – Microstructure – Diagrammes d'équilibre Fe-C, Fe-C-Si, Fe-C-Mn, Fe-C-S, Fe-C-P – Microségrégations – Influence des éléments chimiques – Surchauffe – Désoxydation – Inoculation – Désulfuration – Recarburation – Solidification – Germination - Désignation du graphite – Carbures – Matrice des fontes – Ferrite – Perlite – Bainite – Martensite – Cellules eutectiques – Eutectique phosphoreux – Inclusions – Propriétés d'utilisation – Propriétés mécaniques et physiques - Traitements thermiques des fontes – Stabilisation – Fonte malléable – Traitement d'adoucissement - Ferritisation - Globularisation de la perlite - Perlitisation - Trempe - Trempe et revenu - Fragilisation thermique réversible - Trempe étagée bainitique - Traitement intercritique.

Polissage métallographique - Attaque métallographique- Microscopie optique.

Key words

Classification of Iron – Definition – Standardization – Microstructure – Equilibrium diagrams – Microsegregation – Influence of chemical elements – Overheating – Desoxydation – Inoculation – Desulfuration – Recarburation – Freezing – Nuclei formation – Graphite characterization – Carbides – Cast iron matrix – Ferrite – Pearlite – Bainite – Martensite - Eutectic cells – Phosphide eutectic – Cast iron structures Inclusions – Properties of utilization – Mechanical properties – Physical properties.

Cast Iron heat treatments - - Stress relief treatment - Malleable iron - Softening treatment - Ferritisation - Pearlite globularizing - Normalization - Quenching - Quenching and tempering - Reversible thermal embrittlement - Austempering - Intercritical heat treatment.

Metallographical polishing- Metallographical etching - Optical microscope.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Classer les Fontes et comprendre leur désignation normalisée
- Maîtriser la lecture du diagramme Fer-Carbone selon ses formes stable et métastable
- Définir la composition chimique d'une fonte pour une application donnée
- Définir la notion de Carbone équivalent
- Préciser les effets des éléments constitutifs de la fonte et des divers éléments d'addition
- Définir les particularités de la cellule eutectique des fontes
- Décrire les profils de microségrégation des éléments dans la matrice des fontes
- Agir sur les divers facteurs qui commandent le mode de solidification des fontes
- Connaître les avantages des diverses méthodes d'élaboration des fontes
- Contrôler les principaux phénomènes d'oxydo-réduction qui se produisent dans le bain de fonte
- Définir les conditions de recarburation, de désulfuration et d'inoculation du bain de fonte
- Comprendre les phénomènes d'hérédité qui affectent les propriétés des fontes
- Connaître les propriétés mécaniques et d'utilisation des fontes
- Rechercher par le choix de la nuance élaborée le meilleur compromis convenant à une application déterminée
- Apprécier et maîtriser le phénomène de sensibilité à l'épaisseur des fontes
- Connaître les traitements thermiques correctifs des fontes
- Comprendre les principaux mécanismes de formation des défauts pour y porter remède
- Reconnaître les divers constituants de la microstructure des fontes
- Apprécier les perspectives de développement de fontes par l'application de traitements thermiques spécifiques
- Orienter les efforts d'adaptation des matériaux de type fonte face à la concurrence

Métallurgie des fontes lamellaires non alliées

PLAN DÉTAILLÉ

Jacques FARGUES

CM 1 (3 h) Etude du diagramme fer/carbone - Diagramme Fer-Cémentite – Diagramme Fer-Graphite – Frontières entre les fontes et les aciers – Lecture "dynamique" du diagramme Fer-Carbone

CM 2 (3 h) Notion d'ensemble sur les fontes : Classification générale des fontes – Définition des fontes d'après le mode de solidification – Classification selon la microstructure – Classification selon les propriétés mécaniques – Classification selon les propriétés d'utilisation – Classification selon la composition chimique – Désignation des fontes – Normalisation.

Importance de l'eutectique dans la constitution des fontes – Cellule eutectique des fontes à graphite lamellaire – Grain eutectique des fontes blanches – Constituants des systèmes Fer-Carbone – Diagramme d'équilibre et analyse thermique.

CM 3 (3 h) Rôle du silicium dans la composition des fontes : Diagramme Fer-Silicium – Diagramme Fer-Carbone-Silicium – Notions de carbone équivalent – Passage du système stable au système métastable – Microségrégation du silicium – Conséquences sur la microstructure de solidification.

CM 4 (3 h) Introduction du phosphore dans les systèmes Fe-C et Fe-C-Si : Diagramme Fe-P – Diagrammes Fe-C-P stable et métastable – Système Fe-C-Si-P – Steadite – Influence du phosphore sur la structure et les propriétés des fontes.

Rôle du manganèse : Diagrammes Fe-Mn et Fe-C-Mn – Rôle du soufre : Diagrammes Fe-S et Fe-C-S - Activité du soufre et tension superficielle du métal liquide – Modification de la structure par le soufre – Compensation du soufre par le manganèse – Défauts liés à un excès de soufre et à une insuffisance de manganèse – Réaction du soufre avec les autres éléments.

CM 5 (3 h) Influence et répartition des éléments non principaux dans les fontes : Eléments agissant par l'effet d'alliage – Eléments chimiquement réactifs – Eléments inertes et insolubles – Partage entre phases - Microségrégation.

Ajustements complémentaires du métal liquide : Additions dans le métal liquide, en poche. Principe de la recarburation – Principe de la désulfuration – Produits désulfurants – Techniques d'incorporation des agents de recarburation et de désulfuration – Effets secondaires – Autres comportements

CM 6 (3 h) Propriétés d'utilisation : Caractéristiques mécaniques fondamentales – Résistance à la traction – Module d'élasticité – Dureté – Sensibilité à l'épaisseur de la fonte – Caractéristiques dynamiques : résistance au choc, à la fatigue, accommodation – Propriétés mécaniques d'utilisation : usinabilité, mécanique de la rupture : variation des propriétés avec la température – Propriétés d'utilisations diverses.

TP1 (3 h) Généralités - Préparation métallographique - Découpage - Enrobage - Polissage
Attaques métallographiques - Examens macrographiques - Cellules eutectiques -
Désignation du graphite.

TP2 (3 h) Constituants de la matrice des fontes - Examen de l'eutectique phosphoreux -
Inclusions naturelles des fontes - Approches semi-quantitatives - Interprétation de
structures types - Notions relatives à l'examen des défauts.

Traitements thermiques des fontes non alliées

CM 7 (3 h) Particularités des diagrammes TRC et TTT des fontes - Conditionnement de
l'austénite - Intervalle critique - Traitement de stabilisation - Traitement et
propriétés des fontes malléables à cœur blanc et à graphite nodulaire - Traitements
d'adoucissement : ferritisation, graphitisation des carbures.

CM 8 (3 h) Traitement de globularisation de la perlite - Traitement de perlitisation (ou de
normalisation) - Traitement de trempe et revenu - Fragilité thermique réversible -
Traitement de trempe étagée bainitique - Propriétés des fontes traitées par trempe
étagée bainitique (fontes ADI) - Traitement intercritique des fontes.

BIBLIOGRAPHIE

Métallurgie des fontes grises non alliées : Cours établi par J.C. Margerie, modifié par
Mme S. Simonin et J. Fargues

	Métallurgie des fontes GS Intervenant : Olivier MOUQUET	CM : 9 h TD : 3 h TP : Evaluation : 2 h
--	---	---

OBJECTIFS

Les pièces en fonte représentent une importante part de l'ensemble des pièces moulées. Elles couvrent non seulement les domaines de construction automobile, ferroviaire, navale, agricole, électrique mais également ceux de l'industrie chimique, du bâtiment, des appareils ménagers et de l'énergie...

C'est par l'extrême diversité de leurs structures et de leurs propriétés que les fontes peuvent s'adapter à des domaines aussi variés.

Dans ce cours, et compte tenu de la situation tout à la fois complémentaire et concurrentielle des divers types de fonte, on prendra soin de distinguer l'approche métallurgique des fontes à graphite lamellaire, actuellement majoritaires sur le marché, et celle des fontes à graphite sphéroïdal. Ce dernier matériau, le plus « jeune » sera traité selon tous les aspects propres à un matériau en pleine expansion qui est amené à jouer un rôle de plus en plus prépondérant sur le marché.

L'objectif de ce cours est de donner aux élèves apprentis les connaissances fondamentales leur permettant de contrôler les structures des fontes et par là-même de régler les propriétés mécaniques et fonctionnelles adaptées aux diverses applications. Outre les considérations importantes sur la classification des fontes et sur l'état de la normalisation, ce cours abordera donc tous les aspects métallurgiques relatifs à l'élaboration des fontes liquides, au réglage de la composition chimique, aux traitements du métal liquide (désulfuration, sphéroïdisation, inoculation...) et aux propriétés d'utilisation : le tout étant basé sur la spécificité des fontes GS lors de leur solidification et la première partie du cours présentera une théorie sur la germination et la croissance du graphite.

Les TD sont organisés sous la forme de moments très interactifs au cours desquels les apprentis-étudiants sont placés dans des situations de réflexion et faces à des exemples concrets :

- Dimensionnement mécanique et tenue à la fatigue : grandes lignes et principes spécifiques aux fontes GS,
- mécanismes à expliquer : tenue à l'oxydation à chaud, à la corrosion,
- rôles et explications des contrôles associés : sur le produit, sur le procédé de fabrication,
- identification de quelques défauts des fontes GS : remèdes et conseils à formuler,
- situation d'échanges ou de négociation face aux bureaux d'études des donneurs d'ordre

Les connaissances acquises permettront aux futurs ingénieurs de résoudre ultérieurement les problèmes métallurgiques auxquels ils seront confrontés dans leur vie active et de proposer des solutions originales pour de nouvelles réalisations.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- métallurgie des fontes à graphite lamellaire (Cf 2A-505)
- métallurgie structurale (Cf 1A-502)
- lois de Clapeyron (changement de phases liquide → vapeurs Mg, Zn)
- loi de Sieverts portant sur la solubilité des gaz,
- management de la qualité (Cf 2A-801).

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Classification et structures des fontes – Définition – Normalisation – Microstructure – Diagrammes d'équilibre Fe-C, Fe-C-Si – Microségrégations – Influence des éléments chimiques – Surchauffe – Désoxydation – Inoculation – Désulfuration – Recarburation – Propriétés d'utilisation – Désignation du graphite – Carbures – Matrice des fontes – Ferrite – Perlite – Bainite – Martensite – Cellules eutectiques – Inclusions – Graphite sphéroïdal – Fonte ductile – Traitement de sphéroïdisation et inoculation – Solidification – Germination et croissance du graphite – Propriétés mécaniques et physiques.

Théorie de la solidification et formation des sphéroïdes - Elaboration - Traitement fonte de base et inoculation - Moulage - Finition/cassage/ébarbage - CND et contrôles destructifs - Evolutions récentes

Key words

Classification of Iron – Definition – Standardization – Microstructure – Equilibrium diagrams – Microsegregation – Influence of chemical elements – Overheating – Desoxydation – Inoculation – Desulfuration – Recarburation – properties of utilization – Cast iron structures – Graphite characterization – Carbides – Cast iron matrix – Ferrite – Pearlite – Bainite – Martensite – Eutectic cells – Phosphide eutectic – Inclusions – Nodular graphite – Ductile cast-iron – Ductile iron – Magnesium treatment – Inoculation – Inoculation treatment – Solidification – Nucleation – Mechanical properties – Physical properties.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Reconnaître une fonte GS par les micrographies d'échantillons aussi bien issus d'un morceau de pièce que d'un témoin.
- Recommander un fondeur voulant développer la fabrication de pièces en fonte GS en établissant un cahier des charges des processus à investir et/ou à développer.
- Détecter les défauts sur une pièce et d'établir une pré-liste des causes potentielles et des solutions à envisager
- Optimiser la productivité d'une fonderie de fonte de fonte GS, par des améliorations de l'élaboration et du traitement de la fonte de base mais aussi par des perfectionnements dans la chaîne d'inoculation
- Pouvoir former de jeunes embauchés sur les principes de bases à respecter pour la production de pièces en fonte GS
- Analyser et de coter une demande de prix d'une pièce en fonte GS en fonction des exigences métallurgiques et mécaniques
- Prendre en charge un atelier de fusion et d'assurer le niveau minimal de la qualité requise pour la fonte GS élaborée

Métallurgie des fontes à graphite sphéroïdal

PLAN DÉTAILLÉ

Olivier MOUQUET

CM 1 (3 h)	Généralités Caractérisation des fontes GS / forme du graphite Norme Différentes nuances de fonte GS non alliées Propriétés mécaniques et physiques Remarques importantes sur la tenue mécanique et à la fatigue des fontes GS Exemples de pièces. Incidences des parois minces ou fortes épaisseurs
CM 2 (3 h)	Elaboration et production Une théorie sur la solidification de la fonte GS : germination et croissance des nodules de graphite Synoptique de fabrication de pièces en fonte GS Fonte de base : élaboration et démarche qualité - Lit de fusion - Composition - Moyen de fusion Traitement de la fonte de base : rôle et différents procédés de sphéroïsation Inoculation : rôle et différentes étapes
CM 3 (3 h)	les fontes GS alliées : fontes SiMo, Ni-Résist, ADI ausferritique, normes conditions d'emploi attendues en service, tenue à l'oxydation à haute température, corrosion, performances des fontes GS ADI, traitement en bain de sels des fontes ADI Contrôle destructif et non destructif
CM 4 (3 h)	TD sur les Fontes GS non alliées et alliées : questionnements, raisonnements sur mécanismes ou sur des analyse de quelques avaries propres à la fonte GS Cas des fontes ferritiques à hautes résiliences à basse température Contrôles associés : notion d'incertitude de mesure, notion de représentativité, quelques remarques sur les statistiques, Fontes GS et énergies renouvelables Quelques remarques sur les défauts de graphite dans les fontes GS

BIBLIOGRAPHIE



2A sdm 507

Métallurgie des alliages légers

Intervenants : Michel STUCKY – Guy HIERNAUX

CM : 24 h

TD : 3 h

TP :

Evaluation : 2 h

OBJECTIFS

Les alliages légers à base d'aluminium et de magnésium sont les matériaux les plus utilisés dans l'industrie immédiatement après les produits moulés en alliages ferreux. Leur développement est en plein essor dans la recherche de la production de pièces performantes où les effets de masse sont influents. Ils sont donc incontournables dans de nombreux secteurs clés de l'industrie en particuliers les secteurs de l'automobile ou de l'aéronautique. Ces deux secteurs illustrent parfaitement l'aptitude des alliages légers, et plus particulièrement des alliages d'aluminium, à pouvoir être mis en forme en grande série ou en petite série en utilisant tous les procédés de mise en forme de la fonderie et du corroyage.

Afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, l'allègement des pièces est indispensable. On voit donc actuellement un transfert des métaux ferreux vers les alliages d'aluminium mais aussi des alliages d'aluminium vers le magnésium. Ce qui se traduit par une progression globale des alliages légers.

Le but de ce cours est non seulement de donner aux élèves de solides bases dans la connaissance de ces alliages sur le plan de leurs propriétés spécifiques et de leurs applications, mais aussi de situer leurs performances en comparaison avec tous les autres produits afin d'avoir une vue d'ensemble comparative de toutes les possibilités qu'offrent les procédés de transformation des métaux et alliages par fonderie.

Ce cours, assorti d'une documentation régulièrement actualisée assure la connaissance nécessaire en métallurgie et en moyens techniques pour permettre aux élèves sortant une intégration productive immédiate dans toutes les entreprises de transformation des alliages légers.

La métallographie des alliages d'aluminium est abordée aux fins d'analyse de conformité et d'analyse de défaillance, analyses très utiles à l'expertise, à la mise au point des pièces et au contrôle de fabrication. Le but de cette formation est d'apporter aux élèves une connaissance précise des structures des alliages d'aluminium en relation avec :

- la composition chimique de l'alliage, à cet égard, l'influence d'éléments en faible teneur est largement abordée,
- les phénomènes physiques et chimiques liés à la solidification
- les traitements métallurgiques des bains,
- les traitements thermiques des pièces.

La présentation en cours permet une approche théorique des structures macro et micrographiques. Lors de travaux dirigés, ces connaissances sont mises en application afin de résoudre des cas industriels. Cette double approche pratique et théorique assure une meilleure compréhension de l'influence des divers facteurs cités précédemment et confère aux élèves une méthodologie pour aborder les problèmes techniques qu'ils pourront rencontrer dans leur carrière.

Les méthodes de métallographie quantitative utilisées industriellement en contrôle sont également abordées ainsi que la prévision des structures par analyse thermique.

L'élève doit être capable, à l'issue de ces TD, de reconnaître facilement les phases des principaux alliages industriels ainsi que les anomalies ou défauts résultant d'écarts de composition ou d'erreurs lors de l'élaboration.

De même que dans le cas des aciers, les élèves de l'ESFF vont, au cours de leur activité professionnelle, côtoyer ou mettre en œuvre des procédés de transformation des alliages d'aluminium différents de ceux de la fonderie ou du moulage.

L'objectif de cette session est de communiquer aux élèves les connaissances technologiques sur les alliages d'aluminium forgés et sur leurs différents procédés de transformation.

L'observation de l'écoulement du métal dans le procédé de filage, à partir de matériau modèle ou de simulation numérique permet de visualiser l'évolution de la structure dans les principales variantes industrielles du procédé.

Ces connaissances leur permettront de comparer ce procédé par rapport aux autres procédés de transformation sur les plans techniques et métallurgiques.

PRÉREQUIS pour la fonderie (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- ✓ Connaissance des diagrammes d'équilibre
- ✓ Structure cristalline :
 - Plan de glissement
 - Défaut de structure (lacune, atome en position de substitution, atome en position d'insertion, dislocation)
 - Solution solide, précipités
- ✓ Notions sur la diffusion (savoir que les lois de Fick existent)
- ✓ Notions de thermodynamique (notions d'enthalpie, entropie etc.)

PRÉREQUIS pour la forge

- ✓ Bonnes connaissances en construction mécaniques notamment en résistances des matériaux et en structures métallurgiques
- ✓ Bonnes connaissances des essais « destructifs » et « non destructifs » sur un matériau afin de satisfaire aux exigences de son utilisation.
- ✓ Bonnes connaissances des outils de conception et simulation dans différentes technologies de transformation.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Aluminium – Magnésium – Désoxydation – Dégazage – Affinage – Modification – Moulage sable – Moulage coquille gravitaire et basse pression – Moulage sous-pression – Durcissement structural – Macrographie – Micrographie – Intermétalliques – DAS – Dendrite – Eutectique – Grain – Ségrégation – Solidification – Remplissage – Traitement thermique – Propriétés

Durcissement structural – Durcissement par écrouissage – Mise en solution – Trempe – Double revenu – Caractéristiques mécaniques – Pétrissage triaxial – Filage direct et indirect – Extrusion – Presse à filer – Ecoulement – Billette de filage – Filière – Plasticine – Simulation – Gamme de transformation – Contrainte d'écoulement – Déformation – Sollicitation – Thermique du filage – Défauts.

Key words

Aluminium – Magnesium – Desoxydation – Degassing – Refining – Modification – Sand casting – Gravity die low pressure – Pressure casting die – Precipitation hardening – Macrograph – Micrograph – Intermetallic – Compounds – Dendrite Arm Spacing – Dendrit – Eutectic – Grain – Segregation – Solidification – Filling – Heat treatment – Properties

Age hardening, strain hardening, quenching, air quenching, double ageing, mechanical properties, three dimensional kneading open die forging, direct extrusion, indirect extrusion, extrusion press, flow stress, extrusion billet, die extrusion, plasticine, simulation, forming process, flow stress, strain, request, thermic of extrusion, defects

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Objectifs de savoir :

- Connaissances théoriques en métallurgie des alliages d'aluminium et les bonnes pratiques de l'élaboration :
 - Normalisation des alliages d'aluminium
 - Avantages et limites des différents alliages d'aluminium
 - Rôle des éléments d'addition et impuretés ;
 - Principes et pratiques des traitements métallurgiques
 - Principes et pratiques des traitements thermiques
 - Impact des traitements métallurgique et thermiques sur les propriétés
- Connaître les différentes microstructures
- Connaissances théoriques en métallurgie des alliages de magnésium et les bonnes pratiques de l'élaboration :
 - Normalisation des alliages de magnésium
 - Avantages et limites des différents alliages de magnésium
 - Rôle des éléments d'addition et impuretés
 - Règles de fusion et d'élaboration
 - Les traitements thermiques
 - Les traitements de surface
 - Règles de sécurité :
 - A l'élaboration,
 - Au parachèvement,
 - Au traitement thermique.

Objectifs de savoir-faire :

- Contrôler une microstructure
- Méthodologie d'analyse de défaillance
 - Analyser les informations et leur conformité
 - Diagnostiquer les causes possibles
 - Proposer une solution
- Appliquer les principes d'élaboration et de coulée du métal pour garantir la qualité des pièces.

En forge, être capable de :

- Reconnaître les principaux éléments dans une famille d'Aluminium donnée
- Positionner un type d'alliage d'Aluminium pour un besoin technologique précis
- Savoir choisir un mode de filage en fonction des coûts et des besoins en équipement
- Décliner les différents procédés de déformation 1D, 2D, 3D
- Analyser les différents défauts dus à l'écoulement, à l'équipement, à l'outillage...

Métallurgie des alliages légers

Michel STUCKY

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) **Obtention de l'aluminium** : Traitement des minerais d'aluminium (bauxites) – Obtention de l'alumine (Al_2O_3) par procédé Bayer – Traitement par électrolyse ignée de l' Al_2O_3 pour l'obtention de l'aluminium (procédé Heroult/Hall) – Traitement de recyclage (méthodes de récupération en affinerie).

Généralités : Propriétés physiques de l'aluminium – Normalisation – Rôle des éléments d'addition et des impuretés – Principaux alliages – Comparatif – Termes et définitions – Bases de la métallurgie des alliages d'aluminium – Introduction des notions de dendrite, d'eutectiques et composés intermétalliques – Solidification des alliages d'aluminium.

Métallographie : Notions de base – Polissage – Principaux réactifs d'attaque des alliages d'aluminium – Métallographie quantitative – Mesure du DAS (dendrite arm spacing) et de la taille du grain

CM 2 (3 h) **Affinage de grain** : Principe – Intérêt – Pratique – Contrôle
Modification du silicium eutectique : Principe – Intérêt – Pratique – Contrôle.
Métallographie : Affinage de phase aluminium α – Affinage du silicium primaire – Structure non modifiée, affinée (Sb) et modifiée (Na ou Sr) – Constituants associés (Al_3Ti , TiAlSi , AlSb , Mg_3Sb_2 , $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{Sr}$, AlP)

CM 3 (3 h) **Désoxydation** : Origine de l'oxydation – Principe de la désoxydation – Intérêt – Pratique – Contrôle
Dégazage : Origine du gazage – Principe du dégazage – Intérêt – Pratique – Contrôle
Maitrise de la composition : Principaux éléments à surveiller – Causes de leur évolution – Principe du dégazage – Intérêt – Pratique – Contrôle.
Métallographie : Les inclusions non-métalliques (oxydes, sables etc.) – Les constituants intermétalliques (FeSiAl_5 , $\text{Al}[\text{Fe Mn}]\text{Si}$, $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$) – Etude des structures des principaux alliages d'aluminium Al-Si, Al-Si-Mg, Al-Si-Cu-Mg, Al-Cu(Mg), Al-Zn, Al-Mg-Si et constituants spécifiques (Mg_2Si , Al_2Cu , MgZn_2 , NiAl_3 , Mg_5Al_8 , $(\text{FeMn})\text{Al}_6$).

CM 4 (3 h) **Traitements thermiques** : Les différents traitements thermiques (recuit, stabilisation/détentionement, durcissement structural) – Principe du durcissement structural (mise en solution, trempe, vieillissement naturel ou artificiel) – Pratique des traitements thermiques – Impact des traitements thermiques
Caractéristiques mécaniques : Effet des traitements métallurgiques – Effet des traitements thermiques – Effet de la composition – Effet de la température
Métallographie : Brulure – Evolution de la structure avec le traitement thermique – Faciès de rupture en traction et en fatigue.

CM 5 (3 h) **Aptitude technologique** : Analyse des phénomènes de coulabilité, criquabilité, retrait, tensions internes et contraction à la solidification – relations avec les principaux défauts.
Principaux défauts des pièces moulées : Introduction aux contrôles (visuels, essais mécaniques, ressuage, courant de Foucault, radiographie RX, ultra-sons) – Identification des défauts – Détermination des causes – Remèdes.
Introduction aux traitements de surface : Les différents traitements de surface - Intérêt des traitements de surfaces – Les différents anodisations – Aptitude des alliages à l'anodisation
Métallographie : Aspect micrographiques des défauts – Microfractographie MEB de défauts.

CM 6 (3 h) **Obtention du magnésium** : Traitement des minerais de magnésium (Dolomie) – Electrolyse ignée du chlorure de magnésium (MgCl_2) – Réduction thermique de MgCl_2 .
Les alliages de magnésiums : Normalisation des alliages de magnésium – Avantages et limites des différents alliages de magnésium – Rôle des éléments d'addition et impuretés.
Elaboration des alliages de magnésium : Règles de fusion – Affinage du grain – Désoxydation – Précautions et sécurité à la fusion, à la coulée et au parachèvement – Procédé THIXOMAG.
Traitements thermiques : Principaux traitements thermiques – Précautions et sécurité – Effet du traitement thermique
Traitements de surface : Les différentes protections – Anodisation – Cataphorèse.
Principaux défauts des pièces moulées : Identification – Causes – Remèdes
Métallographie : Exemples de structures

Métallographie des alliages d'aluminium

TD (3 h) **Etudes de cas** : Introduction de la notion de Pareto – Exemple d'analyse de défaillance – Etudes de cas (travail en sous-groupe).

Forgeage des Alliages légers

Guy HIERNAUX

- CM 7 (3 h) Performances obtenues des alliages d'aluminium forgés, composition chimique et caractéristiques obtenues après traitement thermique.
Les différents domaines d'application et d'utilisation.
Structures des billettes pour transformations plastiques
Les procédés de transformation des alliages d'aluminium par corroyage.
Structures des billettes pour transformations plastiques : Effet 1D (laminage) – Effet 2D (filage direct et indirect, tréfilage) – Effet 3D (forgeage, matriçage) – Structures typiques des déformations plastiques et propriétés spécifiques dans les pièces corroyées.
-
- CM 8 (1h30) Place du filage et application dans l'industrie de l'aluminium.
Les outils d'étude simulation par matériaux, modèle et simulation numérique.
Les principaux procédés de filage des alliages d'aluminium, principe, outils, écoulement, mise en œuvre, avantages et limites.
Filage direct / Filage inverse / Filage lubrifié / conform.
La conception des filières et les différents paramètres influents.
La thermomécanique du filage / Effort de filage / Thermique.
La filabilité des principaux alliages de filage et leur classement.
Les défauts et leurs origines.
- TP (1h30) Travaux pratiques sur une pièce obtenue par le procédé de filage direct... (avec notation).
-

BIBLIOGRAPHIE

Manuel des alliages d'aluminium moulés, ouvrage collectif, ETIF

D. Altenpohl, Un regard à l'intérieur de l'aluminium, Aluminium Verlag

R. Portalier, Les alliages d'aluminium moulés, Pechiney

Cast Aluminium Alloys, AFS

<http://www.aluminium.matter.org.uk>

<http://aluminium.matter.org.uk/aluselect/>

<http://www.alueurope.eu/>

<http://www.alueurope.eu/ea/education/TALAT/index.htm> (en cours de révision)

<http://www.histalu.org/>

E.F. EMLEY, Principles of Magnesium Technology, Pergamon Press

<http://www.intlmag.org/index.cfm>

<http://www.magnesium.com/w3/>

Les alliages d'aluminium SETFORGE Mars 2003

Les traitements thermiques des alliages d'aluminium PECHINEY Avril 2004

Les demi-produits en alliages d'aluminium de PECHINEY-RENALU, Technique de l'Ingénieur

Guide Technique Manoir Industries Bar/Aube et Manoir Industries Bologne

 2A cpm 602	Conception d'outillages et de pièces moulées (études de moulage) Intervenants : Claude BLAQUE – Jean-Louis PLACE – Serge ROOSE – Didier TOMASEVIC	CM : TD : 30 h TP : Projet : 9 h Evaluation : 12 h
--	---	--

OBJECTIFS

L'étude de fabrication d'une pièce de fonderie, appelée "Etude de Moulage" au sein de la profession, correspond à la recherche et à la définition, à partir d'un plan et d'un cahier des charges d'une pièce finie, des méthodes et moyens à mettre en œuvre pour réaliser cette pièce dans un procédé de moulage en moule permanent ou non permanent, en sable ou en céramique.

Situé à la base du dialogue entre le client, le modelleur et le fondeur, l'étude de moulage résulte d'un travail effectué par le technicien ou ingénieur du bureau d'études en relation avec le bureau des méthodes.

A partir de la définition de la pièce fournie par le client, l'étude de moulage permet de définir le procédé de moulage retenu, de prévoir la conception des outillages, de déterminer les différentes opérations permettant la réalisation, l'organisation et le chiffrage de la fabrication.

Le caractère très professionnel de cette discipline nécessite un minimum de culture technique de fonderie.

Ce cours consiste à donner aux élèves les différents critères techniques aptes à réaliser dans de bonnes conditions techniques et économiques optimales la pièce moulée selon des caractéristiques de réception très précises imposées par les cahiers des charges.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Masselottage et remplissage (Cf 1A-702)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Masselottage (dispositif de) – Alimentation (dispositif d') – Solidification – Masselotte – Manchon - Retrait volumique – Module thermique – Module géométrique – Plaque équivalente – Distances d'alimentation – Tracé – Refroidisseur – Phénomènes métallurgiques et thermiques liés à la solidification (retrait volumique, écoulement de la chaleur) – Analyse de la forme – Plaques équivalentes – Les 3 règles de masselottage – Exemples didactiques de pièces industrielles

Remplissage – Coulée – Attaque (système d', dispositif d', méthode d') – Descente (de coulée) – Chenal (ou canal) – Attaque (de coulée) – Bassin – Entonnoir (ou godet) – Viroles réfractaires – Poteries réfractaires (système de coulée en) – Fonctionnement d'un système d'attaque – Régimes d'écoulement (transitoire, établi ou semi-permanent) – Remplissage calme : calcul section de descente – Echelonnement des systèmes de coulées – Exemple didactique de pièces industrielles

Key words

Risering (system) – Feeding (system) – Solidification – Riser (or head or feeder) – Sleeve – Volumic contraction – Thermal modulus – Geometrical modulus – Equivalent plate – Feeding distances – Design – Chill – Metallurgical and thermal phenomena due to the solidification (volumic shrinkage, heat flow) – Shape analysis – Equivalent plates – Three rules of risering – Castings didactic examples

Running – Gating (system, method) downgate – Sprue – Runner – Ingate (or gate) – Bush (or cup) – Tundish – Refractory running (or gating) system – Running system working – Flow rates (transitional or half-permanent) – Quiet flow rate – Sprue cross section calculation – Cross sections ratios of running systems – Castings didactic examples

.../...

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Durant ces 3 années, la progression des sujets proposés en Etude de Moulage :

- Difficultés croissantes dans les formes et géométrie des pièces
- Prise en compte des moyens techniques de la fonderie
- Cahier de charges de plus en plus complet et détaillé
- Sensibilisation aux aspects économiques et environnementaux de la production : cadence, implantation, organisation des postes de travail, impacts des procédés utilisés sur l'environnement naturel, l'environnement de travail et la santé des opérateurs et techniciens.....

Doit permettre à l'élève apprenti **d'ETRE CAPABLE DE :**

- Définir le sens de moulage le mieux adapté et le justifier en tenant compte de la facilité d'alimentation de la pièce, de la position des parties usinées, de la stabilité des noyaux, des points de départs d'usinage, d'un remplissage calme, de la possibilité d'évacuer les gaz des noyaux...
- Représenter au plan, sur plusieurs vues, à partir de la définition de la pièce finie, le tracé de la pièce brute, en tenant compte des surépaisseurs d'usinage, la coupe du moule remmoulé comprenant le ou les joints de moulage, le découpage des noyaux et de leurs portées, avec leur ordre de remmoulage et leurs jeux, les démontabilités du modèle...
- Calculer le poids de la pièce brute par décomposition de la forme en volumes élémentaires.
- Déterminer le procédé de moulage retenu compte tenu de la quantité de pièces à réaliser, de leurs dimensions, des tolérances et de l'état de surface imposés... Préciser les types de sables mis en œuvre.
- Définir complètement les outillages, classes normalisées et nature des modèles et boîtes à noyaux, en fonction de la quantité de pièces à réaliser et de la durée d'utilisation, en indiquant le retrait linéaire à prévoir.
- Dessiner la boîte à noyau sur au moins deux vues, pour le noyau le plus complexe, en précisant les faces de remplissage, de raclage et de stockage, les joints de démontabilité de la boîte (joints de déboitage) et l'ordre de déboitage des différentes parties ainsi que les accessoires nécessaires (armatures, plaques de tir, filtres éventuels...).
- Prévoir et schématiser les accessoires nécessaires tels que calibre de remmoulage, armature spéciale, système de manutention...
- Calculer complètement les systèmes de remplissage et d'alimentation, suivant la méthode enseignée, les représenter et les coter sur le plan.
- Indiquer la composition exacte des matériaux qui devront constituer les moules et les noyaux.
- Proposer éventuellement l'alliage le mieux adapté aux conditions d'utilisation de la pièce, si celui-ci n'est pas imposé, en indiquant la composition chimique et les caractéristiques mécaniques.
- Critiquer la géométrie de la pièce et proposer des modifications de tracé pour faciliter les opérations de moulage ou mieux garantir sa santé interne, sans nuire à sa fonction et aux caractéristiques imposées.
- Proposer les contrôles adaptés pour garantir la qualité demandée.
- Proposer une approche technico-économique des choix réalisés
- Proposer une analyse de sensibilisation aux impacts environnementaux (site, lieux de travail, santé humaine) des procédés et produits utilisés.

Etudes de Moulage

PLAN DÉTAILLÉ

1 étude à domicile :

1 étude (moulage sable) correspondant à un travail personnel de 9 heures (Projet), suivi d'un corrigé de 3 heures réalisé en TD (*Jean-Louis PLACE*).

2 études pilotées correspondant chacune à un travail piloté ou encadré de 4 heures (TD), suivi d'un corrigé de 2 ou 3 heures réalisé en TD (*Claude BLAQUE + Serge ROOSE*).

2 études à thème (Masselottage/Remplissage et Filtration) correspondant chacune à un travail surveillé (TD) de 4 heures, suivi d'un corrigé de 3 heures réalisé en TD (*Didier TOMASEVIC*).

1 étude d'examen de 10 heures (Ev) : suivie d'un oral avec 2 correcteurs (*Jean-Louis PLACE et Claude BLAQUE*).

BIBLIOGRAPHIE

-Mémento de technologie de moulage (moules non permanents) Marcel DUDOUET-Syndicat Général des Fondateurs de France.

-Initiation à l'Etude de Moulage-Cours à l'ESFF de François MOLLET

-Masselottage et remplissage des pièces moulées en sable-Cours à l'ESFF de Gilbert BELLANGER

-Norme NF EN 12890 : modèles, outillages et boîtes à noyaux pour la production des moules et noyaux en sable.

-Norme NF EN ISO 8062 : tolérances dimensionnelles et géométriques générales et surépaisseurs d'usinage pour les pièces moulées.

BELLANGER (G) – *Le masselottage des pièces moulées en sable* – Ecole Supérieure de Fonderie et de Forge (E.S.F.F – P.U.L.V) – Cours, 100 pages, version septembre 2006.

BELLANGER (G) – *Rétention des crasses et filtration des pièces moulées en sable* – Ecole Supérieure de Fonderie et de Forge (E.S.F.F – PULV) – Cours, version septembre 2006, 87 pages.

BELLANGER (G) – *Systèmes de remplissage des empreintes de moules en sable* – Ecole Supérieure de Fonderie et de Forge (E.S.F.F – PULV) – Cours, version septembre 2006, 78 pages.

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *Le remplissage des empreintes de moules en sable* - Editions Techniques des Industries de la Fonderie [E.T.I.F] 1984, 76 pages, 2 tabl., 27 pl., 54 fig., 36 réf.

BELLANGER (G) – Remplissage des pièces moulées en sable – Notions fondamentales - Les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages - Volume M3 - mémoire M 565, juin 2006, p 1- 20.

BELLANGER (G) – Remplissage des pièces moulées en sable – Système d'attaque - Les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages - Volume M3 - mémoire M 566, septembre 2006, p 1- 24.

BELLANGER (G) : « Conception et tracé des pièces en acier moulé – guide pratique » Editions Techniques des Industries de la Fonderie (E.T.I.F); octobre 2003 ; 450 illustrations et tableaux + CD Rom.

BELLANGER (G) : « Conception et tracé des pièces moulées en fonte – guide pratique » Editions Techniques des Industries de la Fonderie (E.T.I.F); 2010. 313 pages.

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *La filtration des alliages non ferreux par les systèmes d'attaque : une étude par analogie hydraulique* – Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 70, décembre 1987, p 27-40, 3 tabl, 18 fig, 34 réf. Communication présentée aux 50^{ème} Journées d'Etudes de la fonderie et Congrès national ATF, Le Touquet, 3, 4 et 5 juin 1987, et conférence présentée à la tribune de l'ATF, Paris le 14 janvier 1988, et *Filtration of non ferrous alloys in gating system : an investigation using a hydraulic analogy* – Cast Metals, vol 2, n° 1, 1989, p 23-33.

POYET (P), VIGNOUD (E), DEVAUX (H) et BELLANGER (G) – *Utilisation de filtres en mousse de céramique pour la production de pièces en fonderie d'acier (1^{ère} partie)* - Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 104, avril 1991, p 14-24, 5 tabl, 17 fig.

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *La filtration en moule des alliages non ferreux. Applications aux alliages légers et aux cupro-aluminiums* – Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 74, avril 1988, p 14-23, 4 tabl, 17 fig, 16 réf.

POYET (P), VIGNOUD (E), DEVAUX (H) et BELLANGER (G) – *Utilisation de filtres en mousse de céramique pour la production de pièces en fonderie d'acier (2^{ème} partie)* - Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 105, mai 1991, p 14-31, 6 tabl, 33 fig., 18 réf. Communication présentée aux 51^{ème} journées d'études de la fonderie à Vichy, 6, 7 et 8 juin 1990, mémoire n° 20 et affichage par poster au Colloque National matériaux, Sciences et Industries, 9, 10 et 11 janvier 1989. Cité des Sciences et de l'industrie de La Villette (Paris).

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *La dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement* - Communication présentée à la tribune de l'A.T.F. Paris, le 15 octobre 1985. Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 56, juin-juillet 1986, p. 29-41, 9 tabl., 15 fig., 23 réf.

POYET (P), ELSEN (F) et BOLLINGER (E) – *Etude des phénomènes de dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement* – Compte-rendu de fin d'étude DGRST – MIR contrat n° 81 P 0679, février 1984, 46 pages (disponible à la bibliothèque de C.T.I.F).

DEVAUX (H) et BELLANGER (G) - *Etude des phénomènes de dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement* – Compte-rendu de fin d'étude DGRST – MIR contrat n° 81 P 0680, mai 1984, 39 pages (disponible à la bibliothèque de C.T.I.F).

BELLANGER (G) – *La filtration en moule des alliages non-ferreux et de l'acier ; Caractérisation de l'efficacité ; recommandations pratiques* – Nov 1992, tome 1 : 138 p., 22 tabl., 39 fig., 108 réf ; et tome 2 (annexes) : 118 p., mémoire d'ingénieur Diplômé par l'Etat (à la bibliothèque du CTIF).

BELLANGER (G), LAVILLE (C) et LEFLOCH (R) - *Filtration des aciers non alliés : étude expérimentale* - Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 206, juillet 2001, p. 26-43, 6 tabl., 19 fig., 29 réf.

BELLANGER (G), MANGIN (D), ALAIN (J.P) et LAVILLE (C) - *Filtration des aciers non alliés : Validation industrielle* - Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 207, août 2001, p. 16-30, 3 tabl., 18 fig., 2 annexes, 14 réf.

DEVAUX (H), JACOB (S) et RICHARD (M) – *Amélioration de la qualité des pièces moulées en alliages cuivreux et en alliages d'aluminium par la filtration* – Fonderie-Fondeur d'Aujourd'hui n° 84, avril 1989, p 43-53, 4 tabl., 20 fig., 10 réf. Et 8^{ème} Colloque européen de fonderie des métaux non-ferreux du CAEF, 23 septembre 1988, Paris, 33 p.

REYNAUD (A) – *La filtration des fontes à graphite sphéroïdal* – Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 75, mai 1988, p 30.

REYNAUD (A) et PARENT-SIMONIN (S) – *La filtration des fontes à graphite sphéroïdal* – Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 80, décembre 1988, p 17-30, 9 tabl., 10 fig., 4 annexes.

POYET (P), VIGNOUD (E), DEVAUX (H) et BELLANGER (G) et SIMMONS (W) – *Use of ceramic foam filters for steel castings production* – Commission of the european Communities – DG XII – G1 – cost 504, Round II. Rapport final (projet F1 – Groupe 2). Août 1990, 71 p, 6 tabl., 51 fig., 18 réf.

Masselottage en moulage sable – Editions Techniques des Industries de la Fonderie (ETIF), 176 pages (1994).

BELLANGER (G) et FORVEILLE (M) – *La filtration de l'acier moulé, caractérisation de l'efficacité, recommandations pratiques* – Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 130, décembre 1993, p 18-27, 6 réf. Communication présentée au 60^{ème} Congrès Mondial de Fonderie CIATF – 26 sep-1^{er} octobre 1993. La Haye (Pays Bas) et Conférence présentée à la tribune de l'ATF, Paris 9 décembre 1993.

BELLANGER (G) et FORVEILLE (M) – *Applications de la filtration aux aciers moulés* - Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 133, mars 1994, p 12-16, 7 réf.

BELLANGER (G), LEJEUNE (J. Y) et DEGOUGES (M) – *Application de la filtration en moule à un cylindre porte-clichés en AS7G* – Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 88, oct.1989, p 16-19, 2 tab., 9 fig., 7 réf.

 2A cpm 603	Conception de pièces forgées et d'outillages (études de forgeage) Intervenant : Régis BIGOT, Nicolas NEBOUT et Jean-Marie RISSER	CM : 9 h TD : 18 h TP : Projet : 12 h Evaluation : 6 h
--	--	--

OBJECTIFS

Par définition, le forgeage est la déformation plastique de matériaux métalliques massifs. La réalisation de pièces mécaniques utilisant cette technique nécessite une préparation de la gamme de transformation. Cette gamme de transformation est étudiée en bureau des méthodes.

Le travail consiste pour l'estampage, de partir du dessin de définition de la pièce usinée, afin de définir toutes les étapes successives et à remonter jusqu'au choix du lopin (NB : cette démarche est obligatoire avant de commencer la réalisation : 1^{ère} opération - débit du lopin).

Dans ce cadre général de l'étude du forgeage des pièces, l'étude des pièces estampées nécessite la connaissance et la maîtrise des techniques d'estampage, d'ébauchage, de refoulement, de roulage, d'étirage, de laminage, de cambrage, de débouchage, d'ébavurage.

Les choix technologiques sont faits en considérant la quantité de pièces à réaliser, les dimensions de la pièce, le matériau forgé, les moyens technologiques de l'entreprise...

Certaines des techniques sont transversales, elles sont utilisées dans plusieurs procédés de forgeage (forge libre, estampage, matriçage, extrusion, frappe à froid, laminage circulaire).

Le cours et les travaux dirigés de deuxième année sont consacrés à la réalisation des ébauches de pièces longues. Une série complémentaire de travaux dirigés permet l'apprentissage de l'outil de simulation numérique.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Cf 603_EF-1A

- distinguer et définir les différentes techniques de forgeage
- concevoir une pièce forgée en utilisant les différentes règles de tracé
- comprendre les phénomènes métallurgiques mis en jeu lors de la déformation plastique
- connaître les différentes machines de forgeage ainsi que leurs principes de fonctionnement
- concevoir une gamme simple de fabrication
- aborder les principes de conception des différents outillages nécessaires
- connaître l'évolution des caractéristiques mécaniques dues à l'opération de forgeage
- appréhender la pratique de l'obtention des pièces : moyens de chauffage, machines de forgeage, montage et réglage des outillages

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Forge - Forge libre - Estampage - Habillage - Ebauche - Roulage - Etirage - Refoulement - Laminage - Cambrage - Gamme de forgeage

Key words

Forge - Open die forging – Die forging - Preform - Rolling - Stretching - Heading - Rolling - Bending - Forging process

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

- Définir une pièce estampée en respectant les règles de tracé liées au métier.
- Analyser la morphologie de la pièce, et déterminer les modes d'obtention possible.
- Choisir une technique qui présentera un intérêt économique, en particulier en fonction de la taille de la série.
- Définir la géométrie de chacune des étapes de forgeage :
 - Ebauche cambrée
 - Ebauche laminée
 - Formes intermédiaires de laminage
 - Ebauche étirée
 - Ebauche refoulée
 - Lopin de départ
 - Toute autre géométrie compatible avec le forgeage.
- Vérifier à l'aide de la simulation numérique la qualité de l'étude menée.
- Corriger les éventuels défauts révélés par la simulation numérique.

Conception de pièces forgées et d'outillages

PLAN DÉTAILLÉ

Régis BIGOT

CM 1-2 (6 h) Etude des techniques de préparation des ébauches longues - Principes de l'étirage - Règles de tracé d'une gravure d'étirage - Principes du roulage - Règles de tracé d'une gravure de roulage - Principes du laminage - Règles de tracé d'une ébauche laminée - Principes du cambrage - Règles de tracé d'une gravure de cambrage - Règles de refoulement.

2 **études pilotées** comprenant chacune un travail piloté ou encadré de 3 heures réalisé en TD, suivi d'un exercice de 2 heures (TD) et d'un corrigé d'1 heure (TD).

2 **études à domicile** correspondant à un travail personnel de 6 heures chacune et permettant de mettre en œuvre l'outil de simulation numérique du forgeage (Projet) avec la collaboration de *Nicolas NEBOUT*

1 **Etude d'examen** de 6 heures (Ev).

Conception de pièces forgées et d'outillages

Jean-Marie RISSER

CM 3-4 (6 h) Etude des techniques de préparation des ébauches longues - Principes de l'étirage - Règles de tracé d'une gravure d'étirage - Principes du roulage - Règles de tracé d'une gravure de roulage - Principes du laminage - Règles de tracé d'une ébauche laminée - Principes du cambrage - Règles de tracé d'une gravure de cambrage - Règles de refoulement.

BIBLIOGRAPHIE

Etudes de forgeage, Cours de 2^{ème} année de Roland BELOT, Emile HEBRARD et Marc PAYELLEVILLE

Etudes de forgeage, Cours de 1^{ère} année de Emile HEBRARD et Nicolas NEBOUT

Estampage et Forge, Tome 3, de A. CHAMOULARD - Dunod (épuisé)

Procédés de formage de J. TRIOULEYRE - Delagrave (épuisé)

Tolérances et écarts admissibles, Norme EN 10243-1

Revue : la forge AFF (Association Française de Forge - 92038 Paris la Défense Cedex)

Publications CETIM (52 avenue Félix Louat - BP 67 - 60304 Senlis Cedex)

Logiciel Forge ® de TRANSVALOR (Parc de haute technologie - Sophia Antipolis - 694 av. du Dr Maurice Donat - 06255 Mougins Cedex)

 2A gdp 704	Equipements de moulage et de noyautage Intervenants : Patrick VERDOT – Jean-Bernard VIROLLE	CM : 9 h TD : 16 h ESI : VE Evaluation : cc
--	---	--

OBJECTIFS

La concrétisation des pièces de fonderie moulées en sable passe par deux processus de production principaux mettant en œuvre des équipements pour chaque étape du procédé.

- les équipements de moulage en sable à vert
- les équipements de moulage en sable à prise chimique

Les équipements de noyautage sont également présents dans ce cours. Les noyaux sont des formes en sable, généralement à prise chimique, qui permettent d'obtenir toutes les parties creuses des pièces de fonderie. Ce procédé offre des applications omniprésentes en fonderie.

L'objectif de ce cours est de communiquer aux élèves apprentis les connaissances des différentes étapes des procédés mis en œuvre. Il couvre :

- Gestion du sable (volant de sable suffisant, transport),
- Gestion du sable de retour de la préparation remise au grain à l'ajustement des caractéristiques du sable préparé
- Maîtrise du procédé (mesure, contrôle, enregistrement ; automatisation)
- Mise en œuvre des noyaux
- Gestion du recyclage (mode de régénération)

Ce cours a également pour but de donner aux élèves les notions indispensables à la compréhension des procédés grâce à une description technique des principaux équipements sans oublier l'aspect environnemental.

Il est illustré par des travaux pratiques visant à comprendre les procédés et les solutions technologiques mobilisables. S'intéresser à ces deux procédés sable à vert (70% du tonnage coulé dans le monde) et sable à prise chimique permet d'avoir un champ suffisamment représentatif.

Ce cours traite en particulier les différents procédés de noyautage. Le domaine d'étude s'étend de la préparation du sable, au gazage, aux outillages, à la finition des noyaux (ébavurage, passage à la couche, les enduits, le séchage...).

Le recyclage des sables trouve naturellement sa place dans un contexte réglementaire environnemental plus contraint.

De plus ce cours est agrémenté de deux tables rondes – une table ronde avec les exploitants de fonderie pour un retour d'expérience sur les procédés utilisés et une table ronde avec les fournisseurs de produits ou d'équipements. Le but est de favoriser l'échange entre des professionnels d'horizons différents.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Connaissance des matériaux métalliques de base,
- Lois de Gauss, de Boyle-Mariotte, de Lavoisier (conservation des masses), de Curie, de Laplace.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Température – sondes – décochage – grille – refroidisseur – convoyeur – élévateur – mélangeur – automate – matériel de contrôle – trémie – bascule – vis doseuse – couloir vibrant – séparateur magnétique – bentonite – noirs – eau – sable – vide – aspiration – bande – maintenance – environnement – sole doseuse – extracteur – pilotage - supervision.

Moulage à vert – chantiers de moulage – machines à mouler – plaque-modèle – remmoulage – coulée – décochage – châssis de moulage – palettes – sable de moulage à vert.

Noyaux – procédé boîte chaude – boîte froide – croning – procédé minéral – outillage – tir – soufflage – boîte horizontale – boîte verticale – gazage – ébavurage – enduisage – séchage – assemblage.

Moulage à prise chimique – régénération – récupération de sable – régénération par voie mécanique – régénération par voie pneumatique – régénération par voie thermique – attrition, procédé de moulage à prise chimique.

Key words

Green sand moulding – moulding lines – moulding machines – pattern plates – core setting – pouring – shake out – moulding box – green moulding sand.

Cores – hot box process – cold box – croning – mineral process – horizontal and vertical tooling, shot – blow – gazing – defining – coating drying.

Sand reclamation – physical treatment (mechanical or pneumatic treatment) - thermal treatment.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de (pour les sableries et régénération de sable) :

- Cartographier les différents flux de sable, sable préparé, sable de retour
- Reconnaître et décrire les équipements
- Comprendre les différents procédés avec leurs principales caractéristiques
- Identifier les équipements constituant les étapes des procédés
- Reconstituer un schéma de procédé
- Commenter un schéma de procédé existant
- Etablir des bases de comparaison de procédés
- Adapter et modifier des procédés existants
- Construire une analyse critique d'application de fonderie existante
- Dépouiller des dossiers techniques
- Expliquer le fonctionnement à des tiers dans le cadre de formation d'opérateur
- Développer le questionnement face à un auditoire du métier de la fonderie
- Synthétiser un document support de présentation suite aux visites de fonderies
- Présenter oralement un document synthétique
- Développer un travail de groupe

Etre capable de (pour la préparation du sable à vert) :

- Reconnaître les équipements d'une sablerie à vert
- Distinguer les fonctions de chaque élément d'une sablerie à vert
- Lister les paramètres de réglage des équipements
- Maitriser la maintenance d'équipement en place

- Faire le cahier des charges d'une sablerie par rapport à des objectifs techniques
- Déterminer les paramètres nécessaires techniques et commerciaux pour le choix d'équipements dans le cadre d'investissements.

Etre capable de (pour les machines à mouler) :

- Reconnaître les différentes machines à mouler
- Distinguer les points forts et les points faibles de chaque type de machines
- Maîtriser les paramètres de réglages de tous les types de machines à mouler
- Maîtriser la maintenance des équipements en place
- Créer le cahier des charges d'une machine à mouler par rapport à des objectifs techniques
- Déterminer les paramètres nécessaires techniques et commerciaux pour le choix d'équipements de moulage dans le cadre d'investissements.

Etre capable de (pour les matériels de noyautage) :

- Assimiler les différents procédés en vue d'une intégration optimisée entre noyautage et besoins techniques au niveau des chantiers.
- Concevoir et/ou optimiser l'organisation de divers chantiers de noyautage dans la chaîne logistique interne de la fonderie.

Matériels pour sableries à vert

PLAN DÉTAILLÉ

Patrick VERDOT

CM 1 (3 h) **Moulage à vert** et préparation du sable (équipements)

Sablerie pour compenser les modifications subies par le sable – Circuits des matériaux de moulage – Schéma des circuits de sable – Fonctions de la sablerie – Paramètres liés aux équipements – Gérer le sable de retour – Décochage des moules et séparation du sable et des pièces – Différents procédés décochage – bandes de transport et déferrage – Trommel et tambour de séparation du sable et des polluants – Refroidissement et pré humidification – Pré-mélangeurs – Règles pour un refroidissement optimisé – Malaxeur pour refroidissement du sable à vert – Elévateurs – Trémies de stockage – Mélangeur (malaxeur) – Règles pour une préparation optimale – Différents types de mélangeurs – Distribution sur la machine à mouler – Aspirations et gestion des fines aspirées – Pilotage du sable pour contrôles automatiques – Utilisation de Rotocontrols et/ou sondes d'humidité – Supervisions – Cas particuliers de malaxeurs.

TD 2 (3 h) **Moulage à vert** et machines à mouler

Facteurs déterminants – principes physiques de serrage - Les différents modes de serrage – les machines à mouler – fonctions, conception, organes – moulage haute pression – les châssis – le moulage en mottes – caractéristiques sable.

Conséquences du choix du mode de serrage sur la conception du chantier. Compaction sable par projection, serrage manuel, serrage mécanique, pression, secousses, soufflage, dépression sous vide, air impact, diverses actions combinées.

Chantiers de moulage par projection de sable – chantiers de moulage en mottes, à joint vertical, à joint horizontal – chantiers de moulage en châssis, semi-mécanisés, mécanisés et automatiques – conceptions spécifiques aux fonderies d'acier, aux fonderies de fonte, aux alliages légers – applications particulières et exemples spécifiques.

Matériels de noyautage

Jean-Bernard VIROLLE

CM 3 (3 h) Rappel des procédés de noyautage, des besoins au niveau des chantiers de moulage, et de la logistique intermédiaire nécessaire.

Types de boîtes à noyaux et aménagements de celles-ci.

Conditionnement des énergies en entrée et des rejets en sortie du noyautage.

Types de machines à noyauter et conception, principe de la machine simple :

- Conception boîte froide, boîte chaude, Croning.
- Etude du cycle (machine simple).
- Remplissage des boîtes à noyaux (principe tête de tir).
- Gazage, cuisson boîte chaude et Croning.
- Ejection et extraction des noyaux.
- Nettoyage des boîtes (en cours de cycle et hors ligne).
- Aménagements des machines (efficacité, productivité).

Sableries, préparation des sables (transport, stockage, dosage sables et résines).

Parachèvement des noyaux :

- Ebavurage, aménagement des tirages gaz.
- Enduisage, séchage.
- Assemblage des blocs de noyaux.

Contrôles nécessaires au long de la chaîne du noyautage.

Recherche de l'efficacité des postes : automation, robotisation et intégration.

Moulage chimique, recyclage des sables

Jean-Bernard VIROLLE

CM 4 (3 h) Moulage à prise chimique :

- Avantages et inconvénients des sables à prise chimique
- Propriétés d'utilisation du sable pour la réalisation des moules et noyaux
- Mise en œuvre des procédés chimiques

Recyclage des sables - régénération, récupération :

- Comment aborder le recyclage des sables
 - Les procédés de traitement des sables : mécanique, pneumatique, thermique, chimique, hydraulique, mixte.
 - Les équipements : grille de décochage, pré séparateur, tour de régénération mécanique, système d'attrition, les déferreurs, les refroidisseurs, les fours de régénération thermique, les séparateurs magnétiques, filtre de dépoussiérage, transport pneumatique.
 - Sensibilisation / Hygiène-Sécurité-Réglementation : risques professionnels, silice cristalline, réglementation
 - Filières potentielles de valorisation des sables usés de fonderie
-

Enseignements sur Site Industriel

Ces cours s'accompagnent de visites de chantiers de moulage et de noyautage dans le cadre du voyage d'études (3*4h).

- TD 1 (3 h) Présentation des **rapports de visite**, par groupes de travail
Etudes de cas, en groupes de travail, apparentées au(x) chantier(s) visité(s) en voyage d'études.
-

Tables rondes "Utilisateurs" et "Fournisseurs"

Jean-Bernard VIROLLE

- TD 2 (3+7 h) Retour d'expérience des utilisateurs des différents procédés de moulage à prise chimique. Echange direct avec un point de vue de l'exploitant.
Connaissance des acteurs du marché lié aux procédés de moulage à prise chimique. Echange direct avec un point de vue des fournisseurs (les contraintes réglementaires, les évolutions de produits, les tendances).
-

BIBLIOGRAPHIE

Documentations industrielles des fournisseurs,

Travaux CTIF,

Guide des meilleures pratiques WWW.NEPSI.eu

 2A gdp 705	Moulage en coquille gravité Intervenants : Nicolas MELLING – Didier TOMASEVIC	CM : 6 h TD : 12 h TP : Projet : 9 h Evaluation : EM/cc
--	--	---

OBJECTIFS

Le moulage coquille gravité permet la production de pièces très diverses destinées aux industries automobile, ferroviaire, aéronautique, armement, bâtiment ...

Les alliages utilisés sont essentiellement à base d'aluminium et de cuivre.

L'objectif de ce cours est de transmettre aux élèves apprentis les connaissances concernant le moulage en fonderie coquille gravité.

L'acquisition de ces connaissances devrait leur permettre à partir d'un plan d'une pièce, de définir la grappe de coulée après avoir défini le nombre de pièces, le système de remplissage et le système de masselottage.

Ce cours a également pour objectif de donner aux élèves apprentis les connaissances concernant le morcellement de l'outillage, les régimes thermiques de l'outillage, l'application des dépôts de poteyage et le dimensionnement de l'outillage.

L'objectif des travaux dirigés est de faire travailler les élèves sur la conception d'une coquille à partir d'un projet industriel. Il est donné aux élèves le plan d'une ou plusieurs pièces ainsi que le cahier des charges (spécifications, quantités à produire, etc.). A partir de ces éléments il leur est demandé de faire l'étude des coquilles nécessaires.

Il leur est demandé de présenter leurs travaux en se mettant dans le rôle d'un fournisseur.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Métallurgie des alliages d'aluminium (notion d'intervalle de solidification, mode de solidification) - (Cf 2A-507)
- Défauts de fonderie (retassure, soufflure, crique, malvenue, ...) - (Cf 1A-701)
- Thermique (chaleur massique, chaleur latente, conductivité thermique, résistance thermique, choc thermique).
- Mécanique (énergie cinétique, énergie potentielle, pertes de charge, ...).
- Dessin industriel (lecture de plan d'une pièce).

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Moulage coquille gravité – moule – outillage – conception – remplissage – thermique – masselottage – poteyage

Moules permanents – échange thermiques – construction coquille

Key words

Gravity die casting – mould – tooling – design – filling – thermal study – risering – die coating

Permanent mold – thermal exchange – gravity casting die design

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Orienter la pièce dans l'outillage et le remmoulage des noyaux (si formes intérieures noyautées).
- Définir le nombre de pièce par moule lié à un scénario industriel considéré.
- Définir le système de remplissage et le process de moulage envisagé.
- Définir le système de masselottage.
- Définir la nature et l'épaisseur des dépôts de poteyage ainsi que leur possible retouche lors de la production selon le procédé de moulage retenu.
- Définir le dimensionnement de l'outillage.
- Estimer les régimes thermiques de l'outillage et la position des prises de suivi de températures dans le moule.
- Définir le temps de cycle de production (fermeture du moule, temps de remplissage, temps de refroidissement de la pièce, temps de refroidissement du moule).
- Considérer l'impact qualité/cout/délais sur la fabrication de la pièce lors de la validation de choix technique prise lors de la conception de l'outillage.
- Rédiger les fiches méthodes fonderie.
- Rédiger les fiches de production.
- Appréhender l'assurance qualité.

Pour les TD, être capable de :

- Etudier les particularités de fonderie de la pièce en accord avec le cahier des charges et lié à la bonne compréhension des criticités techniques attendues par le client
- Identifier celles qui seront prépondérantes pour la faisabilité technique et le procédé de moulage considéré
- Choisir un sens de moulage et le remmoulage des noyaux (si formes intérieures noyautées).
- Concevoir la coquille : morcellement, ouverture, plans de joint, système d'éjection, départs de fonderie.
- Etudier différents systèmes tels que tirage d'air refroidissement, évacuation/extraction de la pièce...
- Présenter un schéma de principe du poste de travail avec un calcul capacitaire de la ou des coquilles nécessaires à mettre en œuvre.
- Présenter un schéma de principe des étapes de finition de la pièce après le procédé de moulage
- Estimer le montant des investissements correspondants.

Moulage en coquille gravité

Didier TOMASEVIC

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h)	Remplissage des empreintes - Les différents systèmes de remplissage - Avantages et inconvénients des différents systèmes de remplissage - Méthodes de calcul des systèmes de remplissage Thermique des moules - Nature des échanges thermiques moule-métal - Notions de bilan thermique - Modulation des échanges thermiques (refroidissement – isolation)
------------	--

CM 2 (3 h)	Les dépôts de poteyages en fonderie coquille gravité - Rôle des poteyages - Caractéristiques thermique et mécaniques des poteyages - Application des dépôts de poteyage Masselottage des pièces - Analyse de la forme des pièces - Obtention d'une solidification dirigée des pièces - Localisation des systèmes de masselottage - Dimensionnement des systèmes de masselottage Construction des moules - Morcellement des outillages - Matériaux des différentes parties de l'outillage
------------	--

Etude de fabrication en moulage coquille



Nicolas MELLING

TD 1 (3 h)	Lancement des sujets des études de moulage. Commentaires des documents techniques distribués (quantités à produire, plans des pièces, cahier des charges, spécifications, normes) Répartition des étudiants, par groupe de 2 ou 3, sur les différents sujets.
------------	---

TD 2 (3 h)	Support pour les études de moulage Ces études à domicile correspondant à un travail d'équipe par groupe de 2 ou 3 étudiants (3*3h).
------------	--

TD 3 (6 h)	Corrigé pendant lequel chaque équipe restitue son travail devant l'ensemble de la promotion.
------------	--

BIBLIOGRAPHIE

Moulage des alliages d'aluminium. Techniques de l'ingénieur M3637, Sylvain JACOB, Jean-Jacques PERRIER ; 10 mars 2004

Fonderie et moulage des alliages d'aluminium M3205, Robert PORTALIER ; 10 juillet 1990

 2A gdp 707	Méthodes fonderie sable, compléments remplissage : Filtration, poteries réfractaires, plan de joint vertical en moulage sable Intervenant : Didier TOMASEVIC	CM : 6 h TD : 3 h TP : Evaluation : cf EMT
--	---	---

OBJECTIFS

La **filtration** est un des moyens, lors du remplissage des empreintes de pièces moulées en sable, de retenir les crasses et impuretés (exogènes et endogènes) présentes dans l'alliage liquide. Sa mise en œuvre au sein du système de coulée nécessite de respecter un certain nombre de règles relatives aux phénomènes d'écoulement des alliages et à la métallurgie, sans oublier l'aspect thermique.

L'objectif de ce cours est de familiariser les étudiants avec les principes fondamentaux qui régissent la rétention des crasses et des impuretés par *filtration*. Il a pour but de leur enseigner les divers produits qui existent sur le marché ainsi que les différentes possibilités de *filtration*, hors moule et en moule. Il traite non seulement d'une méthode de calcul et des recommandations pratiques utiles à la détermination des dispositifs de filtration, mais également de l'amélioration de la qualité des pièces moulées, apportée par cette technique.

Pour les pièces massives ou pour les alliages à haut point de fusion, il est fréquent de constituer tout ou partie des systèmes de remplissage avec des éléments « poteries » réfractaires. Cette partie du cours a pour but d'enseigner aux étudiants les calculs spécifiques, notamment la détermination du rendement hydraulique ainsi que les conséquences de l'engorgement ou non du système de remplissage.

Une introduction au calcul des systèmes de remplissage à plan de joint vertical sera enseignée, notamment la spécificité de raccorder sur une même descente, des canaux situés à différentes altitudes.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Masselottage et remplissage (Cf 1A-702)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Filtration (*et* dispositif de *ou* système de) – Filtre (en mousse de céramique, comprimé fritté, multicellulaire extrudé, grille) – Rétention – Crasses – Impuretés – Surface utile de filtration – Coulée directe – manchons filtrants – boîtes à filtres et carrousels.

Filtration en moule et hors moule, analogie hydraulique - Tracé du système et du dispositif de filtration - Méthode CTIF et autres méthodes : cas des ferreux et des non ferreux.

Eléments réfractaires, poteries réfractaires, système de remplissage, plan de joint vertical.

Key words

Filtering or Filtration (system), (ceramic foam - sintered - extruded multicellular - grid) Filter, Retention - Cinder, Slag, Dross - impurity - Usefull filtering (or filtration) surface - Filtering in mold and out mold - hydraulical analogy - filtering (or filtration) - system or device design - CTIF Method and others ones : ferrous and non ferrous alloys examples.

Refractories, refractory pottery, Filling system, Vertical parting plane.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Savoir identifier les défauts sur les pièces de fonderie, dont l'origine est liée à des problèmes de propreté inclusionnaire.
- Comprendre l'intérêt de la filtration, le plus souvent en moule, qui ne constitue pas une solution universelle pour atteindre la qualité requise sur une pièce moulée ; mais bien un des moyens techniques.
- Choisir le filtre le mieux adapté (lorsqu'il n'est pas déjà imposé dans l'étude) qui permette d'atteindre la qualité exigée par le client dans son cahier des charges, et cela en tenant compte à la fois de l'alliage (nuance, température de coulée...), de l'épaisseur des pièces dont il faut assurer la bonne venue avec filtration et des caractéristiques du filtre retenu (nature, structure, finesse, épaisseur...).
- Calculer, tracer, positionner et dimensionner les dispositifs de remplissage et leurs dispositifs de filtration en moule.
- Déterminer les surfaces utiles optimales de filtration en fonction de l'alliage, du filtre utilisé et de la température de coulée.
- Déterminer les valeurs de capacité de filtration et de débit masse surfacique propres aux solutions proposées.
- Dimensionner les systèmes de remplissage constitués de poteries réfractaires.
- Dimensionner les systèmes de remplissage à plan de joint vertical, notamment les sections des canaux, des attaques et de la descente à chaque altitude.

*Méthodes fonderie sable, compléments remplissage : Filtration,
poteries réfractaires, plan de joint vertical en moulage sable*

PLAN DÉTAILLÉ

Didier TOMASEVIC

CM 1 (3 h) Mise en œuvre de la filtration - Recommandations pratiques - Echelonnement - Choix du dispositif, Choix du filtre, Surface utile de filtration recommandée - Détermination du rendement hydraulique - Mode de coulée - Choix du temps de remplissage - Calcul de la section caractéristique - Tracé du système et de son dispositif de filtration - Vérification de la S. u. f, de la capacité de filtration et du débit masse surfacique - "Marche à suivre" - Autres dispositifs de filtration rencontrés dans l'industrie - Manchons filtrants - Les principaux fournisseurs - Exemple d'application industrielle.

CM 2 (3 h) Mise en œuvre des éléments « poteries » réfractaires au sein d'un système de remplissage - Recommandations pratiques - Echelonnement - Détermination du rendement hydraulique - Mode de coulée - Choix du temps de remplissage - Calcul de la section caractéristique - "Marche à suivre" - Exemple d'application industrielle.

Introduction au calcul des systèmes de remplissage à plan de joint vertical, notamment la spécificité de raccorder sur une même descente, des canaux situés à différentes altitudes.

TD (3 h) Application de la méthode CTIF à des exemples purement didactiques mettant en application la filtration et les poteries réfractaires.

BIBLIOGRAPHIE

Dispositif de filtration des alliages d'aluminium sur granulat – Fonderie-Fondeur d'Aujourd'hui n° 23, mars 1983, p.10, 2 fig.

RICHARD (M) et DROUZY (M) – *Filtration des alliages d'aluminium* – Fonderie- Fondeur d'Aujourd'hui n° 32, février 1984, p 25-29, 13 fig., 7 réf.

BELLANGER (G) – *Systèmes de remplissage des empreintes de moules en sable* – Ecole Supérieure de Fonderie et de Forge (E.S.F.F – PULV) – Cours, version septembre 2006, 78 pages.

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) - *Le remplissage des empreintes de moules en sable* - Editions Techniques des Industries de la Fonderie [E.T.I.F] 1984, 76 pages, 2 tabl., 27 pl., 54 fig., 36 réf.

BELLANGER (G) – Remplissage des pièces moulées en sable : Filtration en moule – Techniques de l'Ingénieur, Volume M 3 567 – 20 pages – septembre 2007.

Etude par analogie hydraulique de la filtration par filtres T.M.T. 15 - Compte rendu d'essais ; Division des pièces moulées en sable du C.T.I.F, juillet 1988. 20 pages (à la bibliothèque du C.T.I.F) – Br-CTIF 17 (50). 4 tabl., 8 fig., 4 réf.

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *La filtration des alliages non ferreux par les systèmes d'attaque : une étude par analogie hydraulique* – Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 70, décembre 1987, p 27-40, 3 tabl, 18 fig, 34 réf. Communication présentée aux 50^{ème} Journées d'Etudes de la fonderie et Congrès national ATF, Le Touquet, 3, 4 et 5 juin 1987, et conférence présentée à la tribune de l'ATF, Paris le 14 janvier 1988, et *Filtration of non ferrous alloys in gating system : an investigation using a hydraulic analogy* – Cast Metals, vol 2, n° 1, 1989, p 23-33.

POYET (P), VIGNOUD (E), DEVAUX (H) et BELLANGER (G) – *Utilisation de filtres en mousse de céramique pour la production de pièces en fonderie d'acier (1^{ère} partie)* - Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 104, avril 1991, p 14-24, 5 tabl, 17 fig.

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *La filtration en moule des alliages non ferreux. Applications aux alliages légers et aux cupro-aluminums* – Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 74, avril 1988, p 14-23, 4 tabl, 17 fig, 16 réf.

POYET (P), VIGNOUD (E), DEVAUX (H) et BELLANGER (G) – *Utilisation de filtres en mousse de céramique pour la production de pièces en fonderie d'acier (2^{ème} partie)* - Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 105, mai 1991, p 14-31, 6 tabl, 33 fig., 18 réf. Communication présentée aux 51^{ème} journées d'études de la fonderie à Vichy, 6, 7 et 8 juin 1990, mémoire n° 20 et affichage par poster au Colloque National matériaux, Sciences et Industries, 9, 10 et 11 janvier 1989. Cité des Sciences et de l'industrie de La Villette (Paris).

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *La dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement* - Communication présentée à la tribune de l'A.T.F. Paris, le 15 octobre 1985. Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 56, juin-juillet 1986, p. 29-41, 9 tabl., 15 fig., 23 réf.

POYET (P), ELSÉN (F) et BOLLINGER (E) – *Etude des phénomènes de dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement* – Compte-rendu de fin d'étude DGRST – MIR contrat n° 81 P 0679, février 1984, 46 pages (disponible à la bibliothèque de C.T.I.F).

DEVAUX (H) et BELLANGER (G) - *Etude des phénomènes de dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement* – Compte-rendu de fin d'étude DGRST – MIR contrat n° 81 P 0680, mai 1984, 39 pages (disponible à la bibliothèque de C.T.I.F).

BELLANGER (G) – *La filtration en moule des alliages non-ferreux et de l'acier ; Caractérisation de l'efficacité ; recommandations pratiques* – Nov 1992, tome 1 : 138 p., 22 tabl., 39 fig., 108 réf ; et tome 2 (annexes) : 118 p., mémoire d'ingénieur Diplômé par l'Etat (à la bibliothèque du CTIF).

BELLANGER (G), LAVILLE (C) et LEFLOCH (R) – *Filtration des aciers non alliés : étude expérimentale* – Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n° 206, juillet 2001, p. 26-43, 6 tabl., 19 fig., 29 réf.

BELLANGER (G), MANGIN (D), ALAIN (J.P) et LAVILLE (C) – *Filtration des aciers non alliés : Validation industrielle* – Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n° 207, août 2001, p. 16-30, 3 tabl., 18 fig., 2 annexes, 14 réf.

BELLANGER (G) – *Filtration des aciers non alliés par la méthode CTIF* – Etude n° 36959 – Rapport ET- CTF 13078 ; 2000, 107 pages (à la bibliothèque du CTIF).

DEVAUX (H), JACOB (S) et RICHARD (M) – *Amélioration de la qualité des pièces moulées en alliages cuivreux et en alliages d'aluminium par la filtration* – Fonderie-Fondateur d'Aujourd'hui n° 84, avril 1989, p 43-53, 4 tabl., 20 fig., 10 réf. Et 8^{ème} Colloque européen de fonderie des métaux non-ferreux du CAEF, 23 septembre 1988, Paris, 33 p.

REYNAUD (A) – *La filtration des fontes à graphite sphéroïdal* – Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n° 75, mai 1988, p 30.

REYNAUD (A) et PARENT-SIMONIN (S) – *La filtration des fontes à graphite sphéroïdal* – Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n° 80, décembre 1988, p 17-30, 9 tabl., 10 fig., 4 annexes.

POYET (P), VIGNOUD (E), DEVAUX (H) et BELLANGER (G) et SIMMONS (W) – *Use of ceramic foam filters for steel castings production* – Commission of the european Communities – DG XII – G1 – cost 504, Round II. Rapport final (projet F1 – Groupe 2). Août 1990, 71 p, 6 tabl., 51 fig., 18 réf.

SIMMONS (W) et HACK (J) – *Filtration pf non-ferrous castings in the mould* – The British Foundryman, may 1983, p 10-11.

LUKMAN (A), SMITH (R. W) et SAHOO (M) – *Amélioration du traitement de la filtration du métal liquide pour une meilleure distance d'alimentation et qualité des pièces en cupro-manganèse, coulées en moule sable* – Transactions AFS, 05/2002, mémoire n° 110, p 515-524, 4 tabl., 11 fig., 20 réf.

BRIGGS (J) et SIMMONS (W) – *Influence de la filtration sur l'usinabilité et les propriétés mécaniques de la fonte ductile* – 2^{ème} Conférence Internationale fontes A.D.I, Ann Arbor, U.S.A, mars 1986.

HOFFMANN (H), BECHNY (L) et ZILINA-REUTHER (T) – *Practical application of high quality foundry ceramics* – 66^{ème} Congrès Mondial de Fonderie, septembre 2004, p 627-638, 1 tabl., 7 fig., 1 réf. – et Hommes et Fonderie n° 358, octobre 2005, p 12-22.

BELLANGER (G) et FORVEILLE (M) – *La filtration de l'acier moulé, caractérisation de l'efficacité, recommandations pratiques* – Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n° 130, décembre 1993, p 18-27, 6 réf. Communication présentée au 60^{ème} Congrès Mondial de Fonderie CIATF – 26 sep-1^{er} octobre 1993. La Haye (Pays Bas) et Conférence présentée à la tribune de l'ATF, Paris 9 décembre 1993.

BELLANGER (G) et FORVEILLE (M) – *Applications de la filtration aux aciers moulés* – Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n° 133, mars 1994, p 12-16, 7 réf.

Caractérisation d'états de surface des pièces moulées. Utilisation d'échantillons types 110 x 116 mm – Recommandation technique n° 359 du Bureau de Normalisation des Industries de la Fonderie (B.N.I.F), 26 p., 4 tabl., 27 fig. Edition Technique des Industries de la Fonderie 1996 et Norme Européenne Nf EN 1370, février 1997.

BELLANGER (G), LEJEUNE (J. Y) et DEGOUGES (M) – *Application de la filtration en moule à un cylindre porte-clichés en AS7G* – Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n° 88, oct.1989, p 16-19, 2 tabl., 9 fig., 7 réf.

Direct pouring – an aid to efficiency – Foundry trade Journal, march 2005, p 46-47, 7 fig.

HENDRICK (R) et RÖSING (J) – *La coulée directe : un moyen d'augmenter la rentabilité* – Geisserei-Erfahrungsaustausch, 18/10/2005, n° 10 p 14-16, 5 fig.

KENDRICK (R) – *La coulée directe* – Hommes et Fonderie, avril 2004, n° 343, p 28-31, 7 fig.

KALPUR direct pouring systems – Investing in your bottom line – Foseco Foundry practice, issue 227, avril 1996, p 1-4 .

STOTTMEISTER (G) – *De l'acier moulé pour le stade olympique de Berlin* – Geisserei 90, septembre 2003, p 114-119, 10 fig.

OUTTEN (J) – *Reduce defects with direct pouring technology* – Foundry Management & Technology, August 1996, p108-110, 6 fig.

DEVAUX (H) – *le remplissage des empreintes à la poche à quenouille – par des systèmes constitués d'éléments réfractaires* – CTIF - Edition Techniques des Industries de la Fonderie (ETIF), 1984, 68 pages.

DEVAUX (H) et JEANCOLAS (M) – *Le remplissage des pièces en acier* – Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n° 24, p 17-23, 10 fig., 4 réf et Communication présentée au 47^{ème} Congrès National de Fonderie, Paris, mai 1981.

SIEVERS (U .S) - *Latest technologies for use Rath Advanced ceramic filters in steel foundry application* – The Foundryman, december 1991, p 444-445, 5 fig.

SIEVERS (U. S) – *Filtration de grosses pièces en acier moulé* - Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n°165, p 16-37, 2 tabl., 18 fig., 5 réf et Exposé présenté à la journée rencontre CTIF : « L'acier moulé, un produit performant », Paris, le 24 octobre 1996.

SIEVERS (U. S) – *Udicell-Filter practice with the latest techniques in particular with the filtration of heavy steel castings* – 60th World Foundry Congress, The Hague, 1993.

 2A gdp 708	Forgeage et estampage des aciers Intervenants : Guy HIERNAUX (Jean-Marie RISSER – Frédéric MARCHAL)	CM : 6 h TD : TP : ESI : 12 h Evaluation : 1 h
--	---	---

OBJECTIFS

L'industrie de la forge est une des grandes industries de la mise en forme de pièces en aciers pour les industries de l'énergie, de la construction mécanique, de l'aéronautique, la défense et surtout de l'industrie automobile. La recherche constante de l'amélioration de la qualité, de la diminution des coûts et la concurrence des autres procédés de mise en forme, ont conduit la forge à fortement évoluer ces dernières années et à innover dans ces procédés.

Les objectifs de ce cours sont de transmettre aux élèves les connaissances d'un procédé en pleine évolution, de leur permettre d'acquérir les principales notions de réalisation des pièces de grandes séries par la description détaillée d'une gamme de forgeage et de situer les avantages et les inconvénients des propriétés géométriques et mécaniques des pièces obtenues par rapport aux différents procédés de mise en forme tels que le laminage transversal, le thixoforgeage, la métallurgie des poudres. Ces données sont visualisées par une présentation de différentes forges.

Un autre objectif de ce cours est de présenter la démarche technico-économique qui a conduit à passer des aciers forgés suivis d'un traitement thermique de qualité classique (recuit, trempe et revenu) à des aciers dont les propriétés de mise en œuvre et de service sont obtenues dans la chaude de forge. Sont décrits les mécanismes métallurgiques pris en compte, les approches expérimentales, les solutions retenues et les applications industrielles. Le bilan technico-économique obtenu sur les pièces forgées est présenté en raisonnant en termes de compétitivité et d'amélioration globale de la qualité.

Les opérations de mise en forme des aciers par forgeage à froid et à mi-chaud permettent d'apporter des solutions adaptées aux impératifs techniques et économiques des marchés (formes complexes et hautes caractéristiques mécaniques) lors du choix de la gamme de réalisation d'un produit.

Ce cours sensibilise les élèves aux techniques et outils de base de la forge, en insistant sur la notion de couple produit/procédé pour parvenir au meilleur compromis technico-économique pour la pièce fabriquée.

Les procédés et équipements mis en œuvre en forge à froid et à mi-chaud sont bien adaptés à la production de pièces en moyennes et grandes séries typique des besoins de l'industrie automobile. Ces compromis sont illustrés par la présentation de pièces représentatives de l'état de l'art en forge à froid (extrusion) et mi-chaud : fusées de roues, arbres primaires et secondaires de boîtes de vitesses, joints homocinétiques, pignons de différentiel.

L'estampage, forgeage à chaud de pièces en acier, nécessite la mise en œuvre de machines spécifiques. La morphologie des pièces à réaliser, l'importance des séries à produire ainsi que d'autres critères sociaux et économiques déterminent le choix de la technologie et du matériel. Comme dans d'autres domaines, les procédés de forge et la technologie des machines ont évolué, contribuant à l'amélioration des performances.

L'acquisition de ces connaissances devrait permettre aux élèves de mieux apprécier les solutions techniques actuellement retenues dans les ateliers de forge et les aider ultérieurement à participer au choix des équipements en vue de nouvelles réalisations.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

G. HIERNAUX :

- Bonnes connaissances en construction mécaniques notamment en résistances des matériaux et en structures métallurgiques
- Bonnes connaissances des outils de conception et simulation dans différentes technologies de transformation.
- Bonnes connaissances sur le calcul des efforts, la transmission des mouvements et les vitesses de déplacement nécessaires aux fabrications sur les machines de transformation en forge.

J-M. RISSER :

- Connaissances de base en mécanique et conception.
- Connaissances métallurgiques sur les aciers et les traitements thermiques.
- Avoir des notions de base sur la mise en forme par forgeage au moins à chaud.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Forge à chaud – aciers – machines de forgeage à chaud – gammes de fabrication – propriétés des pièces – concurrence – coûts – simplification des procédés – mécanismes métallurgiques – modes de durcissement – structure ferrito-perlitique – structure bainitique – diagramme TRC – refroidissement contrôlé – grain – titane – usinabilité – pièces automobile - downsizing

Forgeage à froid – forgeage à mi-chaud – extrusion – filage – filage direct- filage inverse – calibrage – refoulement – débouchage – découpage – tréfilage - forgeage combiné – cisailage – réduction de section - tolérances dimensionnelles – forgeage de précision – lubrification – phosphatation – presse de forgeage – frettage – carbure.

Energie – accumulation d'énergie – percussion – pressage – pilons – simple effet – double effet – contre frappe – masse – chabotte – jambage – gravité – relevage – accélération – balancier – volant – vis – presses – puissance – vitesse – course – bâti – tirant – table – coulisseau – excentrique – bielle – coin – genouillère – cinématique – allongement – éjection – dépouille – pièces estampées – série – laminage circulaire – laminage transversal – laminoir à retour – réduction – ébauche– implantation – référence – fixation.

Key words

Hot forging – powder metallurgy - steels – machines for hot forging – fabrication routes – parts properties

Cold forging – warm forging – cold extrusion – forward drawing – coining – combined forging – shearing – dimensionnal allowance – precision forging – lubrication – phosphating – forging press.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Choisir les moyens adaptés à la réalisation de lopins pour les opérations de déformation à chaud
- Choisir un moyen et des conditions de chauffage adaptés
- Déterminer les moyens nécessaires pour réussir l'opération de "lubrification"
- Définir les paramètres de grenaillage qui permettent le nettoyage des surfaces des pièces forgées à chaud
- Choisir, proposer des opérations de contrôles permettant de garantir les propriétés des pièces forgées à chaud
- Expliquer les différents procédés de mise en forme à chaud et à froid
- Donner les avantages et inconvénients des procédés de mise en forme à chaud et à froid : la géométrie, le dimensionnel, les propriétés mécaniques et le coût de la pièce prête à l'emploi
- Choisir le procédé de mise en forme à chaud et à froid le mieux adapté pour l'obtention d'une pièce donnée
- Connaître les chiffres clés de la sidérurgie et de la forge en Europe et dans le monde
- Connaître le procédé sidérurgique (aciérie, laminage, parachèvement) d'une usine de fabrication de produits longs ainsi que les points clés de la qualité
- Avoir une approche technico-économique des différentes additions dans l'acier
- S'interroger sur les modes de fabrication concurrents à la forge en intégrant la simplification des procédés, leur impact sur l'environnement, la productivité, l'amélioration de la qualité
- Développer la culture du compromis technico-économique en utilisant les aciers micro-alliés et leur traitement dans la chaude de forge
- Connaître les 4 voies permettant d'atteindre les caractéristiques mécaniques et les comparer avec les aciers de traitement thermique classique
- Utiliser les diagrammes TRC et les codes de calcul en condition de forge pour prédire les duretés et structures
- Détecter les besoins et l'influence de chaque intervenant de la chaîne industrielle : concepteur, aciériste, forgeron, usineur...
- Connaître l'influence sur la taille de grain du traitement dans la chaude de forge et les parades pour améliorer ce paramètre
- Pour ce type d'acier, intégrer l'usinabilité des pièces lors de la conception et connaître les conséquences des paramètres, structure, inclusions bénéfiques et néfastes
- Justifier un choix de nuance parmi les deux familles d'aciers micro-alliés, ferrito-perlitiques et bainitiques
- S'inspirer de l'historique de l'évolution de ces aciers, pour faire le bon choix
- Connaître les modes de durcissement intervenant dans chaque type d'acier pour les utiliser à bon escient et le cas échéant, les cumuler
- Identifier les facteurs influents du procédé : température de chauffage, cinétique de refroidissement, vitesse de déformation et leur influence sur les structures
- Choisir une nuance parmi celles existantes, normalisées ou non

- Connaître les propriétés connexes telles que l'aptitude à d'autres mises en forme par forgeage : à froid, à mi-chaud ou aux mises en forme ultérieures : usinage, soudage, traitement thermochimique, traitement après chauffage par induction, renforcement mécanique...
- A partir d'exemples industriels, détecter les compromis technico-économiques qui ont été pris en compte pour le choix de l'acier et de ses éléments d'alliage ainsi que pour le procédé, et en final faire le bilan des résultats obtenus
- Valoriser ces aciers pour toute massivité de pièces, en particulier pour les demandes de downsizing dans l'industrie automobile
- Connaître les tests de résistance à la fatigue multiaxiale, spécifiques aux pièces de l'industrie automobile
- Montrer qu'un acier à priori inutilisable parce que fragile peut être valorisé pour une application spécifique

Machines de forge

Guy HIERNAUX

PLAN DÉTAILLÉ

CM 2 (3 h) Généralités sur les différentes techniques de forge : Estampage, matriçage, forge libre, laminage circulaire, forge à mi-chaud, autres techniques connexes.
Spécificité des machines de forge : accumulation d'énergie, percussion, pressage.
Marteaux-pilons : simple effet, double effet, auto-compresseur, contre-frappe.
Presses verticales : presses mécaniques, presses à vis, presses hydrauliques.
Presses horizontales : machines à forger.
Comparatif des vitesses d'impact en fonction des spécificités des machines.
Les autres machines et procédés de forge : laminoir à retour, laminoir circulaire, laminoir transversal, machine à rétreindre, forgeage orbital, refouleuse électrique, machine à rouler les filets, presse de cisailage, scies, chauffeuses fours.

CM 3 (3 h) Technologie des pilons et des presses : conception, caractéristiques, descriptions détaillées des différents organes constituant. Spécificité des outillages pour presses et pilons : conception, caractéristiques, mise en œuvre.
Laminoir à retour manuel ou automatique : description et principe de fonctionnement, différents réglages.
Outillages "pilon" : descriptif, fixation, référence, réglage.
Outillages "presse" : porte outil, fixation, référence, principe de fonctionnement.
Postes de forge : critères d'implantation, comparatif, descriptif d'un poste robotisé.

Enseignements sur Site Industriel

Ascométal : Visite de l'aciérie (3 h par demi-groupe)

Frédéric MARCHAL

Setforge : Visite des ateliers (3 h par demi-groupe)

Jean-Marie RISSER

Forges de Courcelles (3 h) et Forges de Bologne (3 h)

Guy HIERNAUX

Observation en situation industrielle des différents équipements étudiés en cours.

BIBLIOGRAPHIE

- Chamouard, A., Statique appliquée aux déformations à chaud, Estampage et Forge, Tome 1, Ed. DUNOD, 1964.
- Chamouard, A., Dynamique appliquées aux déformations à chaud par forgeage, filage et matriçage, Estampage et Forge, Tome 2, Ed. DUNOD, 1966.
- Chenot, J. L. and Fourment, L., Numerical modelling of the forging process in industry in 17th International Forging Congress, Cologne / Dusseldorf, 2002, June 6-12.
- J. Y. Boucher, M. Damagnez, D. Forest, D. Robat, C. Tomme. Les aciers modernes pour composants mécaniques mis en forme par estampage. Revue de Métallurgie.
- Evolution de bielles modernes Berthold Repgen revue « La Forge » N° 11 avril 2003
- H. Michaud, P. Dierickx, B. Quinet, D. Forest, M. Blanc, X. Roy. Analyse du mécanisme de renforcement de la tenue en fatigue des aciers par galetage : exemple du vilebrequin. Revue "Traitements Thermiques" N° 347 mai 2003
- P. Daguiet, G. Baudry, I. Marines, C. Bathias, J. P. Doucet, J. F. Vittori, S. Rathery. Very high cycle (Gigacyclic) fatigue of a wide range of alternative engineering materials used in automotive industry. International conference of high cycle fatigue 2004, Shiga – Japan.
- P. Daguiet, G. Baudry. Fatigue design with engineering steels, applications and relevant criteria. Fatigue Design 2005
- P. Dierickx, D. Robat, D. Forest. Développements récents des aciers destinés à la forge avec traitement dans la chaude de forge. Communication interne Ascométal 2005.
- P. Dierickx. Propriétés des structures issues d'un refroidissement contrôlé après forgeage. Communication interne Ascométal 2006
- E. Fremeaux, D. Forest. Le cracking des bielles. Revue "Traitements Thermiques" N° 379 mai 2007
- Solutions aciers pour vilebrequin galetés : du mécanisme d'endommagement en service au développement de la nuance. A3TS 2008 Tours.
- G. Baudry, P. Daguiet. T Sourmail, 10 ans d'évolution des aciers pour forge. Revue "La Forge" N° 42 octobre 2010
- Une démarche de downsizing moteur : communication 42è congrès A3TS 2015. Marc Courteaux, Thomas Sourmail, André Galtier.

 2A gdp 719	Métrologie Intervenants : Thierry COOREVITS et Cyrille BAUDOUIN	CM : 9 h TD : 3 h PROJET : ESI : Evaluation : Test
--	--	--

OBJECTIFS

La métrologie est définie comme « la science des mesurages et ses applications ». Ce cours comporte deux parties assez indépendantes : l'une consacrée à l'évaluation des incertitudes et l'autre consacrée à la mesure dimensionnelle et géométrique sur pièces mécaniques.

L'évaluation des incertitudes a, fondamentalement, pour objectif d'assurer la traçabilité entre un résultat et le ou les unités auxquels il fait référence. Par exemple, une longueur fait référence au mètre tel qu'il est défini par le Système International d'unités.

Concernant les produits mécaniques, on traite de géométries complexes nécessitant des définitions claires des exigences, c'est le rôle de la normalisation dite GPS. La cotation dimensionnelle et géométrique engage contractuellement le fournisseur au client. L'objectif est donc d'interpréter correctement un dessin de définition, de choisir les technologies de mesures associées, et d'évaluer la répétabilité et la reproductibilité du processus de mesure.

Plus précisément, il s'agit de :

- Connaître le système international d'unités et l'organisation internationale et nationale permettant de construire la traçabilité
- Connaître le vocabulaire de la métrologie
- Connaître les technologies de mesures capables d'évaluer des surfaces brutes de fonderie et de forge et leurs performances (résolution, incertitude, cadence, ...)
- Etre capable d'expliquer une spécification dimensionnelle et géométrique selon la démarche normative liée à la « Spécification Géométrique des Produits » (GPS)
- Etre capable d'estimer l'incertitude sur l'évaluation d'un mesurande simple par la méthode dite analytique (on exclut donc les méthodes numériques)
- Etre capable de vérifier que la variabilité due à la mesure est faible par rapport aux variabilités du processus de mesure (vérifier un R&R)

PRE-REQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Cours de statistiques et probabilités (Cf 2A mat 102), en particulier sur l'utilisation des lois continues (lois uniforme et normale principalement).
- Règles de représentation graphique du dessin industriel (dessin d'ensemble et dessin de définition) hors cotation (Cf 1A cpm 601).

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Système international d'unités, organisation de la métrologie, traçabilité, incertitudes, R&R, Système normatif GPS (Geometric Product Specification), Stéréovision, MMT.

Key words

International System of Units, organization of metrology, traceability, uncertainties, R&R, GPS standardisation (Geometric Product Specification), Stereovision, CMM.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**Etre capable de :**

- Connaître l'organisation de la métrologie (laboratoires nationaux, Bureau International des Poids et Mesures, inter-comparaisons, certifications) en lien avec le Système International d'unités
- Maîtriser les bases du vocabulaire de la métrologie et plus particulièrement les concepts d'étalonnage et de vérification
- Définir un mesurande
- Mettre en place une démarche d'évaluation des incertitudes de mesure
- Mettre en place une démarche d'amélioration de la connaissance des incertitudes ou de diminution à partir de la notion d'analyse de sensibilité
- Interpréter la cotation dimensionnelle et géométrique d'un dessin de définition
- Vérifier une conformité
- Choisir un appareil de mesure en connaissant son principe de fonctionnement, ses forces et ses faiblesses
- D'évaluer le potentiel d'une technologie de mesure en forge ou en fonderie en vue de de la connaissance ou de l'amélioration du procédé
- Calculer un indicateur de capabilité du processus de contrôle (Cpc ou R&R)

Métrologie**PLAN DÉTAILLÉ**

T. COOREVITS et C. BAUDOUIN

CM 1 (2 h) Métrologie et traçabilité (T. Coorevits)

- Unités et Système d'Unités
 - o Histoire de l'harmonisation métrique
 - o Unités de base (définitions), unités dérivées
- Etalons, organisation internationale, traçabilité
- Vocabulaire international de la métrologie
 - o Incertitudes, étalonnage, grandeur, mesurande, exactitude, justesse, fidélité, répétabilité, reproductibilité, étendue, résolution, sensibilité, ...

CM 2 (3 h) Incertitudes (T. Coorevits)

- Incertitudes : pourquoi la connaître ?
- Eléments de statistiques
 - o Loi uniforme
 - o Loi gaussienne
- Evaluation d'une incertitude
 - o Méthode analytique (GUM : Guide of Uncertainties Measurement)
 - o Analyse de sensibilité
 - o Stratégie d'amélioration basée sur l'analyse de sensibilité

TD (1 h) Mesurande, évaluation d'incertitude, calcul de sensibilité.

CM 3 (1h30) **Cotation dimensionnelle et géométrie** (C. Baudouin)

- Normes de références (8015, 1101, 14405, 17450-GPS)
- Élément nominal, élément idéal, élément réel
- Élément tolérancé, zone de tolérance
- Références et systèmes de références
- Critères d'association
- Spécification dimensionnelle, géométrie, d'état de surface
- Modificateurs (enveloppe, mini – maxi matière, projeté)
- Conformité (risque de 1^{ère} espèce et de 2^{ème} espèce)

TD (1h30) Interprétation de cotation sur dessin de définition. Critère d'association. Vérification de conformité.

CM 4 (1h30) **Technologies d'appareils de mesure** (C. Baudouin)

- Règles de conception de machine de précision
 - o structure dissociée, principe d'ABBE, symétrie, élimination d'erreurs, redondance
 - Classification des appareils de mesure (géométrie et dimensions)
 - Principe de fonctionnement des principaux appareils
 - o MMT, scanner laser, stéréovision
 - Applications de l'utilisation de la stéréovision en fonderie et en forge
-

CM 5 (0h30) **Démarche Six Sigma et R&R** (C. Baudouin)

- Démarche DMAICS

TD (1h) Vérification d'un R&R (étude de cas guidée)

BIBLIOGRAPHIE

International Organization for Standardization. JCGM 100: 2008. *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. ISO Geneva. Disponible sur : https://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_F.pdf

De Bièvre, P. *The 2012 International Vocabulary of Metrology: "VIM"*. *Accreditation and Quality Assurance* 17, n° 2 (1 avril 2012): 231-32. <https://doi.org/10.1007/s00769-012-0885-3>.

Vincent, R. *Mémento: cotation ISO, spécification GPS*. Centre techniques des industries mécaniques, Senlis, France : CETIM, 58p. 2018. ISBN 978-2-36894-157-7.

Pillet, M. *Six Sigma : Comment l'appliquer*. Eyrolles, 448 p. 2013. ISBN 978-2-212-25056-5.

 2A gem 801	Enjeux de la qualité Intervenant : Pierre-Yves BRAZIER – Marc BOURSICOT	CM : 9 h TD : 6 h TP : Evaluation : 2 h
--	---	--

OBJECTIFS

Appréhender ce qu'est la qualité pour les donneurs d'ordre (en particulier dans le secteur automobile).

Comprendre l'organisation au travers des systèmes.

Connaître les étapes nécessaires à la mise en place d'une démarche qualité en vue d'une certification.

Comprendre et maîtriser la mise en place d'une démarche lean manufacturing. Savoir utiliser les outils principaux de la démarche.

Savoir identifier, analyser et résoudre les défaillances sur les produits ou les processus de fabrication par l'application de méthodes ou d'outils adaptés.

Identifier les responsabilités du futur ingénieur dans la gestion qualité de l'entreprise.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Notions de calcul statistique (capabilités, dispersions, étendue, loi normale) – voir 2A mat 102

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Rappels historiques - définitions - Systèmes qualité (contenu, certification, audits) – Outils - méthode de résolution de problèmes - Rôle de l'ingénieur qualité – AMDEC – Lean management

Key words

Historical synthesis - definitions - Quality systems (content, certification, audits) - Tools – method of problem solving - Role of quality manager – FMEA – lean management

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Comprendre les exigences principales des normes ISO 9001 et ISO TS 16949
- Identifier les domaines et les conditions d'applications de ces normes
- Mieux appréhender le système qualité (SMP) mis en place à l'ESFF
- Identifier les méthodes et outils adaptés pour analyser, comprendre et résoudre les problématiques qualité sur le produit et le processus de fabrication en particulier suivant le lean management
- Savoir utiliser 10 outils simples et comprendre les conditions d'application pour 5 autres

Les outils qualité : domaine d'application, mode d'application.

Enjeux de la qualité

PLAN DÉTAILLÉ

Pierre-Yves BRAZIER 

CM 1 (3 h)	Démarches de qualité : définition, historique, enjeux. Le système de Management Qualité. Le système de Management Intégré.
CM 2 (3 h)	Le lean management
CM 3 (3 h)	la démarche MRP (Méthodologie de Résolution de Problème)
TD (3 h)	Déroulement de méthodes et d'outils qualité autour d'exercices.

Marc BOURSICOT 

TD (3 h)	L'excellence industrielle dans l'aéronautique Présentation de la démarche AMDEC au travers de cas réels
----------	--

BIBLIOGRAPHIE

Taiichi Ōno, *Workplace management*, Productivity Press, (1988)

IATF, *spécifications techniques ISO/TS 16949*, (2009)

AFNOR, *Norme NF EN ISO 9001*, (2008)

Kaoru Ishikawa, *La gestion de la qualité : Outils et applications pratiques*, Dunod, (1976)

Michel G. Vigier, *Pratique des plans d'expériences*, Les éditions d'organisation (2° Edition)

Katsuya Hosotani, *Les 20 lois de la qualité*, Dunod, (1994)

Rémy Le Moigne, *Supply chain management*, Dunod, (2^{ème} édition)

 2A gem 802	Management environnemental et développement durable Intervenant : Nicolas CREON	CM : 9 h TD : 3 h TP : Evaluation : 2 h
---	--	---

OBJECTIFS

L'expansion économique de ces dernières décennies s'est accompagnée d'une forte augmentation de la consommation de ressources et des impacts environnementaux (changement climatique, sécurité énergétique, raréfaction des ressources, érosion de la biodiversité, ...), aussi bien à l'échelle nationale que mondiale.

Depuis le début des années 1970, l'encadrement des activités industrielles a considérablement évolué en Europe, notamment en matière de maîtrise des risques industriels et de réduction des émissions de polluants.

Bien que l'industrie française soit l'une des plus performantes en la matière, en particulier grâce à ses efforts de recherche et développement et à ses investissements technologiques, les prises de consciences et les attentes de la société sont de plus en plus fortes. Les entreprises doivent donc désormais adopter une démarche économique plus globale en considérant les aspects environnementaux et sociaux très en amont de leurs projets et au même niveau que les préoccupations économiques : c'est l'objectif visé par le développement durable et la responsabilité sociétale des entreprises.

Il s'agit d'une opportunité pour structurer des actions permettant à l'entreprise de maîtriser ses coûts, de mieux satisfaire ses clients, d'investir plus efficacement, d'impliquer le personnel dans une nouvelle dynamique de travail et de présenter une meilleure image à ses parties prenantes.

Ce cours est divisé en 4 parties principales :

- Les grands enjeux environnementaux sur lesquels les forges et fonderies peuvent agir
- Une introduction au droit de l'environnement applicable aux forges et aux fonderies
- La place et le coût de l'énergie dans les forges et fonderies
- Les enjeux liés aux émissions de polluants
- L'économie circulaire

L'objectif de ce cours est de donner aux élèves les notions de base en matière de développement durable qui leur seront indispensables dans leur futur métier en forge, en fonderie ou ailleurs. En effet, le management environnemental est désormais un des outils incontournables en faveur de la compétitivité d'une entreprise.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Connaissance des procédés de fonderie (procédés de moulage, noyautage) ; procédés de fusion des ferreux et non-ferreux.

Connaissances des procédés de forge.

Connaissances générales en environnement (qualité de l'air, de l'eau) et en hygiène.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Fonderie – forge – développement durable – réglementation environnementale – installations classées pour la protection de l'environnement – ICPE – autorisation d'exploiter – étude d'impact - directive européenne – meilleures technologies disponibles - contrôle des rejets – valorisation des déchets – hygiène et conditions de travail – risque chimique – responsabilité sociétale des entreprises – écoconception – analyse de cycle de vie – énergie – émission de CO₂ – efficacité énergétique – changement climatique – approvisionnement en métaux.

Key words

Foundry – smithery – sustainable development – environmental regulation – installation with regulation for environmental protection – environmental authorization – impact evaluation – European directive – best available technologies – pollution control – waste recycling – health and condition of work – chemical risks – corporate social responsibility – ecodesign – life cycle analysis – energy – climate change – metal supply.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issu de cet enseignement (CM et TD inclus)

Etre capable de :

- comprendre que les enjeux environnementaux et les contraintes qui en découlent doivent être considérées dans tous les projets de l'entreprise et le plus en amont possible, en cohérence avec la stratégie Développement durable ou RSE
- comprendre la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement,
- comprendre le rôle du préfet et de l'inspection des installations classées pour la protection de l'environnement
- comprendre le processus de demande d'un permis d'exploiter dans ses différentes étapes,
- répondre aux sollicitations des autorités administratives au cours de la vie de son appareil de production
- justifier le choix de technologies ou de solutions auprès de son autorité administrative
- évaluer les impacts des activités de l'entreprise sur des tiers et sur l'environnement en général
- être à l'écoute des parties prenantes et agir localement
- évaluer les dangers potentiels des activités de l'entreprise et mettre en place les actions correctives
- appliquer les meilleures technologies disponibles qui figurent dans le document européen de référence

- évaluer l'incidence d'une technologie ou d'un produit chimique sur l'environnement, sur la santé au travail et sur l'activité de l'entreprise et évaluer les mesures à mettre en place pour éviter tout risque
- comprendre l'importance d'une politique de prévention et le principe d'une démarche d'amélioration continue en matière de protection de l'environnement et des salariés au poste de travail
- comprendre la fiche de données de sécurité des produits remise par les fournisseurs de produits chimiques
- comprendre les enjeux liés aux émissions de polluants et savoir y apporter des solutions
- mettre en place les bonnes pratiques en matière des conditions de travail dans le cas de l'utilisation de sable siliceux
- comprendre les enjeux liés à la responsabilité juridique du chef d'entreprise et de l'entreprise en matière de protection des salariés et de l'environnement
- comprendre les enjeux financier pour l'entreprise liés à l'énergie et à ses émissions de gaz à effet de serre
- comprendre l'importance pour l'entreprise d'une stratégie de maîtrise de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (2h30) *Les grands enjeux environnementaux, les impacts de l'industrie sur l'environnement et son pouvoir d'action*

Le changement climatique, la raréfaction des ressources, l'érosion de la biodiversité.

L'approvisionnement en métaux – Les apports et les limites du recyclage – L'approvisionnement minier – Le marché international des métaux et ses enjeux géostratégiques – Les conséquences de la transition énergétique sur la consommation de métaux – Les conséquences futures de ces problématiques sur l'approvisionnement des forges et les fonderies

CM 2 (0 h30) *La fonction HSE dans l'entreprise*

Présentation du rôle de la fonction HSE dans l'entreprise

Présentation des normes de management de l'environnement, de la sécurité au travail et de l'énergie

CM 3 (2 h30) *Introduction au droit de l'environnement*

La réglementation française en matière d'environnement – La réglementation européenne : exemple de la directive IED et du BREF Forges et fonderies – Les fiches de données de sécurité – Les relations de l'entreprise avec ses parties prenantes – Les responsabilités de l'entreprise en matière d'environnement

TD (0h30) Exercices : Travaux sur la nomenclature des installations classées.

CM 4 (1h30) *La place et le coût de l'énergie dans les forges et fonderies*

Les différentes composantes du prix de l'énergie – Les taxes et exonérations

Le comptage de l'énergie et l'efficacité énergétique – Quelques exemples de solutions technologiques – Les dispositifs de soutien aux investissements en matière d'efficacité énergétique

Le coût des émissions de CO₂ – Le Bilan carbone

TD (0h30) Exercices : Identifier des pistes de réduction des coûts dans un cas fictif d'entreprise

CM 5 (1h30) *Les enjeux liés aux émissions de polluants*

Le contrôle des émissions dans l'air et dans l'eau

Le règlement CLP – Le risque chimique

Les rejets gazeux en ambiance de travail – Le risque Silice cristalline alvéolaire et les fiches de bonnes pratiques

CM 6 (2h) *L'économie circulaire*

Le recyclage des métaux dans les forges et fonderies

La gestion des déchets et les filières de valorisation : cas particulier des sables de fonderie – Le guide de valorisation des sables de fonderie en technique routière

L'écoconception et l'analyse de cycle de vie

TD (0h30) Exercices : Identifier des pistes d'amélioration de l'efficacité énergétique dans un exemple d'entreprise

BIBLIOGRAPHIE

Acceptabilité des matériaux alternatifs en techniques routières : les sables de fonderie, guide technique du CEREMA (2019), 44 p.

Code de l'environnement, Légifrance

Le guide des bonnes pratiques de gestion du risque Silice cristalline, NEPSI (2006).

Les limites physiques de la contribution du recyclage à l'approvisionnement en métaux, J-F Labbé, Recyclage et valorisation, 2014.

Rapport SECTEN, CITEPA (2020).

The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future, World Bank, 2017.

 3A gem 808	Management de la santé et de la sécurité Intervenant : Audrey MUNEGONI – François FOUGEROUZE	CM : 6 h TD : 3 h TP : Evaluation : cc
--	--	---

OBJECTIFS

Ce cours a pour but de préparer les futurs cadres à appréhender de façon transverse et interdisciplinaire les différents aspects de la gestion des risques, de la santé et de la sécurité au travail au sein des entreprises industrielles.

L'objectif de ce cours est de communiquer aux élèves les notions de base en sécurité indispensables à connaître dans leur futur métier en fonderie ou en forge. Les contraintes sécurité doivent être intégrées dans les décisions quotidiennes prises dans les entreprises car elles représentent une préoccupation humaine dans la gestion des ressources mais aussi un coût financier important.

Cet enseignement permet de :

- repérer dans l'entreprise les enjeux humains, sociaux, économiques et juridiques de la sécurité et santé au travail
- intégrer la sécurité et santé au travail dans la gestion de ses activités et la conduite de projets
- contribuer au management de la sécurité et santé au travail.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Fonderie et sécurité au travail – réglementation - directive européenne – hygiène et conditions de travail – analyse des risques – mise en place d'une démarche de prévention des risques – développement d'une politique HS durable – préparation à la gestion des crises et situations d'urgence

Key words

Foundry and safety – regulation – European directive — health and condition of work – risk analysis- establishment of a risk prevention approach - development of a sustainable political HS - preparation for the management of crises and emergencies

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Participer à l'observation de la santé dans l'entreprise
 - Connaître la définition des accidents du travail et des maladies professionnelles
 - Connaître et analyser les statistiques AT/MP et maladie par secteur d'activité
 - Comparer les indicateurs de santé au travail d'une entreprise donnée par rapport à son secteur d'activité
 - Connaître les indicateurs financiers liés à la santé au travail : tarification, réparation, coûts directs et indirects
 - Identifier les différences sources formelles et informelles et les informations disponibles en entreprise (Document Unique, bilan social, compte employeur, comptes rendus DP, CHSCT, CE...)
- Se référer au cadre réglementaire et normatif qui s'applique à l'entreprise
 - Repérer la hiérarchie des sources du droit et des textes normatifs
 - Connaître les droits et les obligations du salarié et de l'employeur en matière d'hygiène, santé, sécurité
 - Comprendre les mécanismes de mise en cause de la responsabilité civile et pénale dans le contexte d'une activité professionnelle
- Communiquer avec les acteurs de prévention internes et externes
 - Identifier les principaux acteurs en S&T internes et externes à l'entreprise ainsi que leurs missions
 - Adopter une approche pluridisciplinaire des situations de travail en lien avec ces acteurs
 - Partager les compétences de ces acteurs dans une approche pluridisciplinaire appliquée à une situation de travail
- Identifier les dangers et situations de travail dangereuses existantes et futures
 - Décrire les composantes d'une situation de travail
 - Distinguer les principales situations dangereuses d'un secteur d'activité (en terme de dangers, risques et dommages)
 - Distinguer leurs conséquences sur la santé physique et mentale
 - Analyser pour déterminer les éléments d'une situation dangereuse
- Evaluer les risques d'accidents et d'atteinte à la santé
 - Evaluer ces risques en tenant compte de l'organisation du travail et des conditions d'exposition aux dangers
 - Evaluer les conséquences des situations dangereuses sur la santé physique et mentale
- Supprimer et réduire les risques
 - Comprendre la hiérarchie des principes de prévention
 - Appliquer ces principes généraux à une situation dangereuse ou accidentelle
- Mettre en pratique une démarche de maîtrise des risques professionnels en cohérence avec le management de l'entreprise
 - Animer des groupes pluridisciplinaires et susciter l'implication des participants sur la santé-sécurité au travail
 - Etre force de proposition vis-à-vis d'une politique en santé sécurité au travail
 - Adopter des pratiques et des attitudes managériales respectant la santé physique et mentale des collaborateurs
 - Mettre en œuvre des programmes d'action et les évaluer en faisant émerger les bonnes pratiques

- Participer à l'amélioration du système de management
 - Intégrer les aspects santé-sécurité au sein de la stratégie globale de l'organisation dans le cadre d'une démarche RSE
 - Savoir relier les aspects santé-sécurité à la performance globale
 - Prendre en compte les avis des différentes parties prenantes dans l'élaboration des actions de prévention
 - Identifier les impacts potentiels des changements sur la santé au travail
 - Relier compétences des collaborateurs et amélioration de leur situation de travail

Management de la sécurité

Audrey MUNEGONI

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) Le cadre législatif et réglementaire en matière de sécurité
La réglementation française – La réglementation européenne
Organisation de la gestion des accidents et maladies professionnelles
Les outils de mesure et d'analyse
Les acteurs de la prévention, rôle et mission
La démarche SST au cœur de la stratégie de l'entreprise

TD 1 (3 h) Identifier et évaluer les situations dangereuses au travers d'analyses de postes de travail
Recherche des solutions de maîtrise des risques
Test contrôle des connaissances

Management de la sécurité

François FOUGEROUZE

CM 1 (3 h) Le cadre législatif et réglementaire en matière de sécurité
Les responsabilités civiles et pénales dans l'entreprise
Réflexions autour de situations réelles

BIBLIOGRAPHIE

Code du travail

Référentiel OHSAS18001

Norme NF EN 31010

Directive 89/391/CEE

 2A com 903.b	Langues Vivantes Intervenant : Fanny PEINAUD	CM : 9 h TD : 4 h TP : Evaluation : 2 h
--	--	--

OBJECTIFS

Pour les grands débutants : Apprendre la langue allemande pour répondre aux situations de la vie courante et découvrir des aspects de la culture et de la civilisation allemandes.

Pour les faux débutants : Consolider ses connaissances pour répondre à des situations de la vie courante et revoir des aspects de la culture et de la civilisation allemandes.

Niveau d'enseignement proposé : de A1 à A2 du CECRL (selon le public)

Les objectifs :

- Acquérir ou revoir les bases grammaticales
- S'entraîner aux 5 compétences définies par le CECRL (Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues) : compréhension orale, expression orale en continu, expression orale en interaction, compréhension écrite, expression écrite.
- Acquérir ou revoir le lexique courant
- Inciter au travail en autonomie afin de poursuivre l'apprentissage grâce aux sites conseillés pour travailler l'écoute, la lecture ou le vocabulaire.
- Susciter l'envie de découvrir seul la culture du monde germanophone (films, séries, villes...)

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Pour les grands débutants : aucun prérequis mais une réelle motivation pour progresser dans un temps court.

Pour les faux débutants : une envie de poursuivre l'apprentissage en dehors du cours afin de réactiver rapidement ses connaissances et en acquérir de nouvelles.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF) : *autonomie, vocabulaire, conjugaisons, restitution*

Entraînement régulier aux 5 compétences du CEDRL- acquisition ou consolidation des bases grammaticales. Acquisition ou consolidation du vocabulaire de la vie courante.

Key words

Steady training in the 5 CEFR (Common European Framework of Reference) proficiencies - Aquisition of knowledge or learning consolidation in Grammar Fundamendals. Acquisition of knowledge or learning consolidation in everyday life vocabulary.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- poser des questions simples et y répondre
- conjuguer un verbe au présent
- rédiger des phrases simples
- lire et comprendre des textes simples et courts
- prononcer avec une correction encore imparfaite

Allemand

PLAN DÉTAILLÉ

Fanny PEINAUD

12.5 h de cours en face à face, soit 5 séances de 2h30 en s'exerçant à toutes les compétences expression écrite et orale et compréhension écrite et orale

Thèmes abordés

1. saluer/ se présenter/ présenter qn
2. s'excuser/ épeler un mot/ faire répéter
3. les chiffres et les dates / l'heure
4. parler de ses goûts / exprimer ses préférences
5. le déroulement de la journée/ les activités quotidiennes / les moments de la journée
6. faire une proposition/ accepter ou refuser une proposition
7. convenir d'un rendez-vous (jour et heure)
8. réagir au téléphone

Objectifs linguistiques

1. les règles de base de la syntaxe (dans la phrase déclarative et l'interrogative)
 2. les W-Fragen
 3. le présent (verbes forts et faibles)
 4. les verbes de modalité (wollen, mögen, können)
 5. les pronoms personnels au nominatif
 6. les possessifs
 7. les règles de prononciation/ l'alphabet
-

SITOGRAPHIE

- ✓ Le site de la Deutsche Welle (très riche) : <http://www.dw.com/fr/apprendre-lallemand/lernangebot-f%C3%BCr-das-niveau-a1/s-31384>
- ✓ pour des exercices en ligne : allemand facile .com
<https://www.allemandfacile.com/free/exercices/>
- ✓ pour lire des textes faciles : <http://www.nachrichtenleicht.de/>
- ✓ pour réviser le lexique : Quizlet ; Pons trainer vocabulary
- ✓ pour travailler la compréhension orale : Audio lingua
<https://www.audio-lingua.eu/spip.php?rubrique3>

 2A com 903.b	Langues Vivantes Intervenant : Florence MBIANGA	CM : 9 h TD : 4 h TP : Evaluation : 2 h
--	---	--

OBJECTIFS

L'objectif principal est de permettre aux étudiants **de commencer à accéder à une autonomie en anglais**, et notamment dans la compréhension de documents authentiques, auxquels beaucoup d'étudiants sont confrontés dans la vie quotidienne ou professionnelle via internet par exemple, sous forme écrite, audio ou vidéo.

Les TD de langue visent à faire progresser les étudiants en encourageant la **participation et l'expression personnelle**, en contexte professionnel et plus quotidien, à l'oral et à l'écrit.

Travail sur les 5 compétences du CECRL.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Les séances s'adressent à des **étudiants de niveau intermédiaire supérieur** et ont pour but de les amener à la consolidation et l'acquisition du niveau B2+ tel que décrit dans le CECRL. Les étudiants doivent avoir de bonnes bases en anglais à l'écrit comme à l'oral.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF) : *autonomie, vocabulaire, conjugaisons, restitution*

Exercices de développement du vocabulaire général et spécifique, d'analyse et commentaire de documents, de révision et approfondissement des connaissances grammaticales.

Key words

Exercises to acquire and master general and specific vocabulary – analysis and commentary of documents – grammar review – English interaction

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- *Comprendre le contenu essentiel de sujets concrets ou abstraits dans un texte complexe y compris une discussion technique dans sa spécialité.*
- *Communiquer avec un degré de spontanéité et d'aisance tel qu'une conversation avec un locuteur natif soit simple*
- *S'exprimer de façon claire et détaillée sur une grande gamme de sujets, émettre un avis sur un sujet d'actualité et exposer les avantages et les inconvénients de différentes possibilités.*

Anglais renforcé

Florence MBIANGA

PLAN DÉTAILLÉ

12.5 h de cours en face à face, soit 5 séances de 2h30

Travail sur les 5 compétences :

- la **compréhension écrite** : par la pratique de la compréhension globale et détaillée à partir de textes authentiques de longueur moyenne extraits de la presse généraliste de qualité, de publications spécialisées, d'œuvres littéraires, ou sur la base d'autres documents authentiques (publicités, lettres, tracts ...).
- la **compréhension orale** : à partir d'extraits audio ou vidéos de longueur et de difficulté adaptées (entre 2 et 5 min). Les documents retenus peuvent inclure des textes enregistrés, des extraits de reportages, des documentaires, des dialogues de film, des discours, des conférences.
- l'**expression écrite** : par la rédaction d'essais d'environ 200-250 mots dans une langue adaptée à l'exercice. Rédaction de lettre ou de courriel (de nature personnelle ou professionnelle). De façon ponctuelle, la rédaction de résumés pourra être abordée.
- l'**expression orale** : par la pratique de l'anglais en continu (exposés) et en interaction par le biais de conversations (en binômes et en groupe), de séances de questions / réponses, ou de débats.

Des révisions grammaticales seront proposées au cours du semestre sur la base d'un programme de révision ouvert et en fonction des difficultés rencontrées lors de l'étude des textes.

BIBLIOGRAPHIE

Les documents retenus peuvent inclure des textes enregistrés, des extraits de reportages, des documentaires, des dialogues de film, des discours, des conférences. Le site et les podcasts du New York Times, les enregistrements de NPR, les TED Talks font partie des sources privilégiées.

 2A com 905	CSA-Visites, Conférences et colloques Evaluation des périodes d'apprentissage Coordinateurs : Pierre-Yves BRAZIER – Jacques FARGUES	CM : TD : 28 h TP : ESI : 39 h Evaluation : 2 h
--	--	---

OBJECTIFS

Donner à nos élèves une ouverture sur le monde scientifique et industriel.

Les inciter à s'exprimer et à s'épanouir dans un cadre et un environnement différents de celui de l'Ecole.

Les préparer efficacement à leur future vie professionnelle.

Le but des enseignements sur site industriel est en particulier de favoriser la pédagogie inductive.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Capacité d'analyse et de synthèse

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Visite de fonderies et de forges – Conférences d'actualité

Conseil de suivi des apprentis

Key words

Study-visit foundry plant and forge plant – Conferences on current events

Apprenticeship follow-up survey

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Rédiger un rapport d'étude de thème au travers de visites d'entreprises
- Intervenir de façon active et positive lors d'une visite en entreprise
- Présenter une synthèse orale devant un public
- Réaliser une synthèse des éléments débattus lors d'une conférence
- Juger de la pertinence du choix du procédé et des matériels

Enseignements sur Site Industriel

Pierre-Yves BRAZIER

PLAN DÉTAILLÉ

Séminaire fonderie (30 h) + Séminaire Forge (9h)

Rapports et soutenance des thèmes étudiés pendant les deux périodes

Conférences et colloques

Journées d'études.

Conseil de suivi des apprentis (réunion d'évaluation des périodes école et entreprise : 8 h)

Apprentissage

Maître d'apprentissage – Tuteur Pédagogique

Rapport et soutenance pour la période "Etude spécifique n° 2" (1 h oral)

Jacques Fargues

Participation aux soutenances des "Etudes spécifiques n° 2" (20 h TD)

Jacques Fargues

BIBLIOGRAPHIE

 3A isi 205	Projet Numérique (3^{ème} année) Conception d'outillages Intervenant : Nicolas DE REVIERE	CM : 8 h TD : 7 h Evaluation : Présentation en salle
--	--	---

OBJECTIFS

Dans le cadre du projet numérique et à partir des compétences acquises en 1^{ère} et 2^{ème} années. Les étudiants de 3^{ème} année formés en binôme, seront confrontés à une problématique de bureau d'étude. Ce travail se déroule sur le premier semestre et se concrétise sur la réalisation d'un rapport écrit où ils devront expliquer leur démarche et leur choix puis d'une soutenance permettant à chacun d'exposer ses solutions technico/économiques.

A partir du dossier constitué en 2^{ème} année (Cahier Des Charges, Plan de définition, documentations sur le tracé, choix matériaux, conception fonctionnelle ainsi que de la conception de détail) les étudiants devront réaliser la conception d'un outillage de fonderie gravité sable incluant les plaques modèles ainsi qu'au moins une boîte à noyau.

Ce cycle de conception sera composé des étapes de conception des éléments suivants :

- Noyau
- Boîte à noyau au retrait
- Maître noyau
- Maître modèle
- Plaques modèles au retrait
- Moule au retrait
- Brute « réel »
- Usiné « réel »
- Préparation d'un dossier de synthèse technico-économique (présentation PowerPoint, OpenOffice ou équivalent) incluant a minima les éléments suivants :
 - La note de conception d'outillage (choix procédé, plan de joint, respect fonctionnalités produit, analyse de dépouille)
 - La robustesse de la conception numérique d'outillage par modification en amont de la CAO pièce
- Présentation en classe entière par chacun des binômes du dossier technico économique (présentation PowerPoint, OpenOffice ou équivalent)
- Visite d'un site industriel de réalisation de prototypes par moulage sable imprimé en 3D
- Suivi de la réalisation (coulée, décochage, finition) des grappes de pièces conçues par les étudiants

Pour amener ce projet à bien, 8h de CM seront dispensés permettant aux élèves d'appréhender de nouvelles problématiques (conception d'outillages de forge ou de fonderie, conception de boîte à noyaux, opérations booléennes, gestion du retrait, conception par copie optimisée, utilisation de l'atelier d'assemblage « Product Design »).

Les étudiants bénéficieront de 4h de TD afin de finaliser leur étude.

La présentation en classe entière sera effectuée lors d'une séance de 3h de restitution (TD).

PRE-REQUIS

CAO, Règles sur les procédés de fonderie et sur la métallurgie, Règle de tracé des outillages de forge et de fonderie, maîtrise des outils de bureautique pour les présentations, cours de conception fonctionnelle et de détail de 2eme année

MOTS CLÉS

historique de conception – conception hybride / non hybride – intention de conception – portées de noyau – éléments de référence spatiale – interaction solide / esquisse – nervures – Product Design – import/export de CAO – assemblage surfacique – distance de confusion - gestion des mises à jour

Key words

history of design – hybrid / non-hybrid design – design intention – core print -spacial reference elements – solid / sketch interaction – Product Design – CAD import/export – surfacic assembly – confusion distance – update management

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Concevoir un outillage complet de fonderie ou de forge à l'aide d'outils de CAO incluant plaques modèles / matrices et boîtes à noyaux avec une logique de conception
- Réaliser un dossier technico économique et le présenter à un client
- Suivre la fabrication de prototypes de fonderie

Conception de détail à l'aide d'outils de CAO

PLAN DÉTAILLÉ

Nicolas DE REVIÈRE

CM 1 (8h)	Rappels Dépouilles / Congés avancés & surfacique • Dépouilles solides avancées : prise en compte du plan de joint (exemple de l'aide de Catia) • Dépouilles surfaciques simples et avec ligne de reflet • Rayons / congés surfaciques Conception des pièces brutes avec joint décroché • Courbes 3D • Surfaces • Opérations surfaciques • Dépouilles avancées : interaction avec le plan de joint Exemple : Bielle • Création du plan de joint et du talus • Habillage de la CAO avec prise en compte du plan de joint • Vérification du démoulage pièce et talus Mise en plan : rappels
-----------	---

TD 1 (4h)	Projet Numérique
-----------	------------------

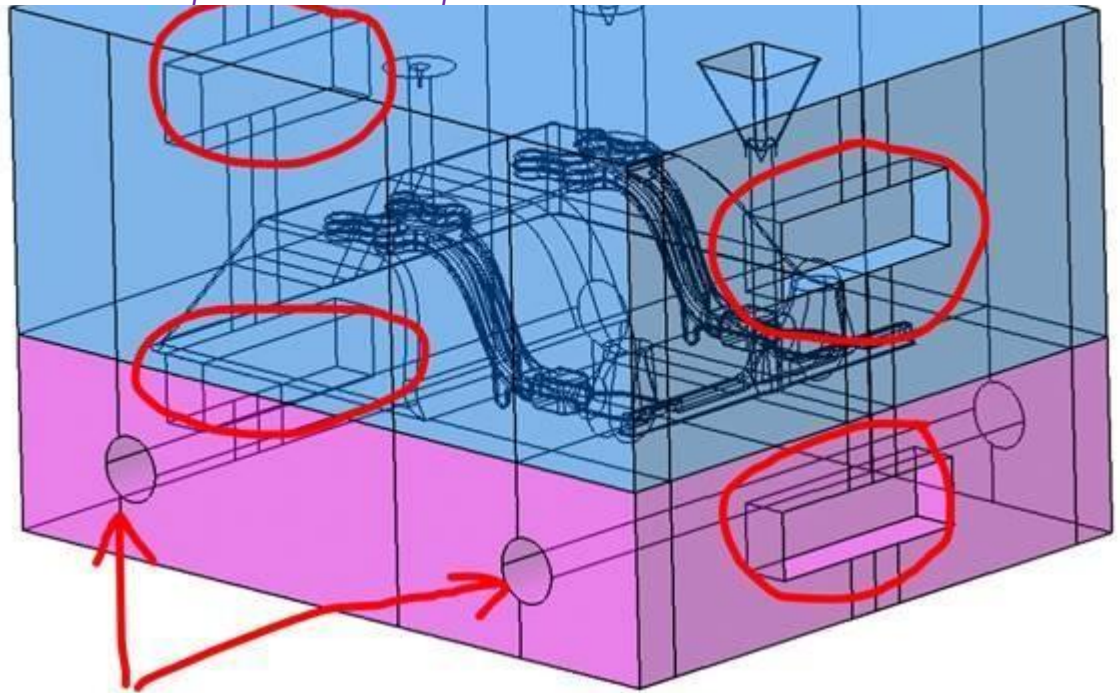
TD 2 (3h)	Présentation en classe entière de l'étude technico économique
-----------	---

BIBLIOGRAPHIE

- Support de cours
- Aide de Catia V5

Pour permettre l'impression des moules sables chez Danielson, il faut que les élèves respectent la procédure suivante (en s'adaptant au contexte visé bien entendu) :

- Si pas déjà fait, inclure dans la CAO
 - S'assurer que la dimension des outillages n'est pas trop importante (on avait visé environ 200*300*300 -> gain de temps de fab et de sable...)
 - Des détrompeurs pour pas remmouler le moule sup à l'envers
 - Ajouter des encoches sur les coté de chaque partie de moule pour pouvoir les prendre facilement à la main
 - prévoir des trous traversant dans la partie inf pour pouvoir mettre des tubes au travers du moule afin de les lever une fois remmoulés voir coulés



- Faire 1 fichier CAO des 2 parties de moule (moule sup + moule inf) au format .catpart
- Prévoir au cas où une CAO de secours au format .igs
- Après enregistrement, re ouvrir ces CAO et vérifier qu'il n'y a que ces 2 éléments 😊
- Renommer les fichiers avec le nom des élèves
- Regrouper toutes les CAO élèves sur une clé
- Faire un zip
- Confier à un élève la responsabilité d'envoyer ce(s) fichier(s) à Danielson (mail ? ftp ? dropbox ou équivalent ? ...)

 3A isi 206	Continuité numérique en fonderie cire perdue Intervenants : Diane DAN – Philippe METRON	CM : 1 h TD : 8 h PROJET : 6 h Evaluation : projet
--	--	--

OBJECTIFS

1. Produire
 - Une CAO CATIA Grappe POUR FABRIQUER des Outillages
 - Une CAO CATIA Grappe POUR SIMULER = CAO simplifiée prête à simuler dans QUIKCAST
2. Simuler la fonderie plus facilement et plus rapidement afin d'évaluer l'aspect prédictif du remplissage de la grappe ainsi que la thermique de refroidissement des pièces proposées en étude.

PRE-REQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Partie théorique

- La continuité numérique chez SAFRAN
- Structuration du Processus d'industrialisation en moulage cire perdue.
- Décomposition en éléments simples d'une grappe et méthodes de détermination de chaque élément
- Règles des zones d'action, des modules, des retraits
- Modélisation d'une simulation de refroidissement thermique de la pièce seule avec carapace

Partie pratique

- Introduction de l'interface graphique PROCAST
- Analyse des différences entre PROCAST et QUIKCAST
- Mise en œuvre d'un calcul (maillage, mise en données résultats)
- Symétrie et périodicité
- Remplissage suivi d'une solidification d'une grappe de ferrure à cire perdue
- Solidification d'une ferrure en procédé cire perdue via PROCAST
- Analyse des variables physiques pour analyser la micro retassure
- Isochrones, gradient thermique et vitesse à températures données

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF et cahier des charges)

Cire perdue – Quantité à produire - Poids pièce - Coût pièces - Performances mécaniques - Santé métallurgique - Système alimentation - Artifices de fonderie.

Key words

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Décomposer en éléments simples une grappe et mettre en œuvre des méthodes de détermination de chacun des éléments.
- Mettre en œuvre des règles de tracés de fonderie
- Mettre en œuvre des Règles connues relatives aux zones d'actions, aux modules sur attaques et masselottes, aux dilatations des matériaux et aux phénomènes de retraits à chaque phase
- Maitriser par simulation
 - Le refroidissement thermique de la pièce seule avec carapace
 - Le remplissage de la grappe
 - Le refroidissement thermique avec artifices de fonderie (godet, descendant couronne d'alimentation avec attaques et masselottes).

CONTINUITÉ NUMÉRIQUE EN FONDERIE CIRE PERDUE

PLAN DÉTAILLÉ

Diane DAN et Philippe METRON

CM 1 (1 h)	Présentation du projet
TD 1 (4 h)	Définition des besoins et des cahiers des charges (par ½ groupes)
TD 2 (4 h)	Application des règles proposées dans le cahier des charges (par ½ groupes) La réalisation et la soumission des calculs

Autonomie et restitution du projet 3 ou 4 semaines plus tard.

BIBLIOGRAPHIE (TIRÉE DE L'EXEMPLE DE LA FERRURE)

Ce que l'on connaît pour bâtir le scénario cire perdue :

Quantité à livrer : 1200 pièces bonnes à l'année

Taux de rebuts : 5%

Quantité à produire : 1260 pièces à l'année

Poids pièce : objectif -> réduire de 20% le poids pièce mécano soudé

Performances mécaniques : iso performance à la pièce mécano soudé

Fichiers CATIA V5 Disponibles au départ de la formation :

CAO 3D CATIA V5 : pièce mécano soudée

CAO 3D CATIA V5 : pièce fonderie sable échelle 1

CAO 3D CATIA V5 : pièce fonderie sable échelle dilatée 12/1000 (X,Y,Z)

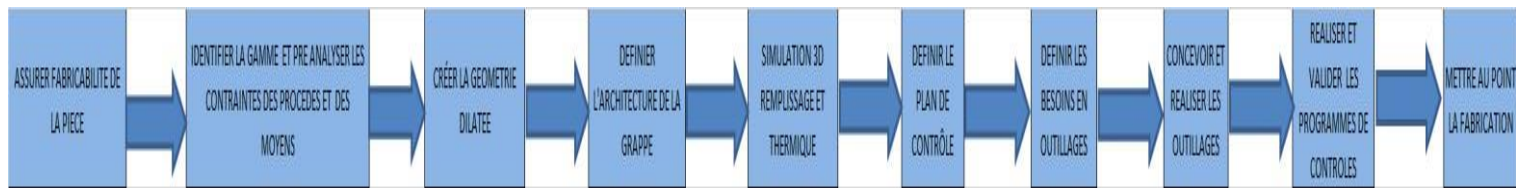
Visualisation du modèle ferrure pour coulée en moule sable

Analyser les dépouilles et plan de joint en relation avec outillage d'injection des cires.

Analyser les surépaisseurs d'usinage nécessaire au juste besoin du procédé cire perdue.

Analyser les tracés de fonderie à mettre en œuvre afin d'optimiser les zones d'extrémités et d'actions des artifices de fonderie.

Prendre en compte le processus d'industrialisation type



Analyse de la Fabricabilité de la pièce cire :

- Connaitre le Positionnement du point d'injection : à un endroit hors du plan de joint dans une partie massive
- Vérifier les plans de joint et l'axe de démoulage ainsi que les zones de dépouilles devant assurer la démoulabilité du modèle dans l'outillage d'injection cire
- Identifier Les surfaces de reprises d'usinage de la pièce et analyser les surépaisseurs au juste besoin du procédé cire perdue
- Analyser les zones enfermés de la pièce, les angles vifs potentiels et les volumes à alimenter
- Localiser les zones d'évidements susceptibles de générer des problèmes de retassure ou d'alimentation
- Analyser les potentiels front de recollement à l'opposé du point d'injection cire.
- Analyser les distances minimales de moulabilité entre faces >>
 - Entrefer surfacique 16 mm
 - Entrefer face/point 12 mm
 - Entrefer point/point 7 mm
- Analyser les rayonnages à faire sur toutes les zones de raccords et de jonctions
- Analyser la consommation de barbotine en regard de la massivité de la grappe ainsi que le poids de la grappe
- Analyser les risques de décollement des 1eres couches aux changements de forme (bossages)

Mise en œuvre de la CAO 3D pièce fonderie Cire perdue dilatée totale (cire chaude 4 à 5/1000, métal 12/1000) XYZ :

La grappe sera construite suivant les 3 règles >> zones d'actions, modules, retraits

- Définition des volumes de masselottes avec pentes autoportantes: 1,4x volume zone à alimenter
- Mise au mille cire perdue : cible à 1,9
- Equipement de coulée : descendant progressif (valeur mini diamètre interne = 8 mm (diam tige acier);
- Diamètre de la grappe = 300 mm (cire nue froide)
- Diamètre de la grappe hors tout = 400 mm (du plateau au godet)
- Dispositif symétrique
- Capacité creuset : 20 kg maxi

 3A phy 305	Électricité Industrielle Intervenant : Olivier BAVAY	CM : 18 h TD : 6 h TP : Évaluation : 2 h
--	--	--

OBJECTIFS

Le but principal de cet enseignement est de faire comprendre aux élèves apprentis les connaissances de base de l'électricité industrielle.

Ce cours a, également, pour but d'apporter aux élèves les "connaissances métiers" du monde de la forge et de la fonderie en relation avec l'électrotechnique et l'électronique de puissance.

Les concepts enseignés seront supportés par :

- Les lois et résultats généraux de l'électricité (C.M. & T.D.).
- L'utilisation d'exemples issus du monde industriel.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Systèmes monophasés – Systèmes triphasés – Inductance – pertes - Transformateurs– Diode – Thyristor - Commutation – Redresseur – Commutation naturelle – Commutation commandée – Transfert d'énergie – Onduleur- Convertisseur électromécanique.

Key words

Single phase systems- 3 phase systems - Inductance – Static transformer- Rectifier - Thyristor - Natural switching - Controlled switching - Energy Transfer - Electromechanical convertor.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Être capable de:

- Déterminer les caractéristiques du courant alternatif
 - Notions d'électrostatique
 - Le courant alternatif
 - Circuit parcouru par un courant alternatif
 - Courants polyphasés

- Calculer les transferts de l'énergie électrique en fonction des paramètres du système.
- Décrire les différents paramètres d'une installation électrique (inductance, capacité, résistance) d'un réseau électrique ou d'un composant électrique d'une fonderie et/ou forge.
- Exploiter la fiche signalétique d'un transformateur implanté dans une fonderie et/ou forge.
- Déterminer les effets chimiques et calorifiques du courant continu
 - énergie, courant électrique,
 - actions calorifiques, chimiques des courants
 - généralisation de la loi d'OHM
- Déterminer les effets magnétiques du courant continu
 - champ et induction magnétique
 - aimantation
 - action des champs magnétiques sur les courants
 - phénomène d'induction électromagnétique
 - appareils de mesures électriques et mesure des résistances
- Expliquer le fonctionnement d'une diode de puissance, d'un thyristor.

Electricité industrielle

Olivier BAVAY

PLAN DÉTAILLÉ

Séance n°1 : Réseaux monophasés. (6 heures)

- Généralités
- Notation complexe – Rappel sur les nombres complexes.
- Puissances mises en jeu : Apparente, Active et réactive
- Compensation de l'énergie réactive
- Cas d'un courant non sinusoïdal – Puissance déformante – Notions d'harmoniques de courant.
 - Exercices d'applications – Exercices nombres complexes - Devoir maison

Séance n°2 : Réseaux triphasés (4 heures)

- Généralités – tensions simples et tensions composées
 - Puissances en triphasé
 - Les différents couplages – étoile et triangle
 - Intérêt du triphasé
 - Exercices d'applications – Devoir maison
-

Séance n°3 : Notions de magnétisme – Transformateur (6 heures)

- Notion de champs magnétique en régime alternatif
- Loi de Lentz et loi d’Hopkinson
- Justification des pertes dans les matériaux magnétiques
- Transformateurs monophasé et triphasé
- Présentation rapide des moteurs à courant continu et asynchrone pour comprendre les effets des champs magnétiques en continu et en alternatif.
 - Exercices sur les transformateurs – Notions de schéma équivalent monophasé.

Séance n°4 : Les composants de l’électronique de puissance (2 heures)

- Les différents types de convertisseur
- La nécessité de travailler en commutation dans les convertisseurs
- La Diode
- Le transistor
- Le Thyristor

Séance n°5 : Les convertisseurs (8 heures)

- Les hacheurs
 - Les redresseurs commandés ou non commandés
 - Les onduleurs – Rappel sur les harmoniques
 - Exercices sur les convertisseurs
 - Devoir maison sur les convertisseurs non vus en cours
- ❖ Test final sur tout ce qui a été vu en cours.
-

BIBLIOGRAPHIE

- [1] PASTOURIAUX L. ; VAROQUAUX A. ; BELLIER M. ; GALICHON A, Électricité Industrielle, 1960, Librairie Delagrave
- [2] SEGUIER G. ; NOTELET F. Electrotechnique industrielle, 2006, Lavoisier
- [3] DALMASSO JL. Cours électrotechnique, 1985, Belin
- [4] LAVABRE M. ; TOUSSAINT C. Cours d’électrotechnique – 3 Tomes, 1979, Dunod
- [5] LAVABRE M. ; TOUSSAINT C. Problèmes résolus d’électrotechnique, 1979, Dunod

 3A phy 307	Physique des contrôles non destructifs Intervenants : Bruno BRUEZ – Patrick BOUTEILLE – Cédric BARBA – François MELIQUE – Georges RUSINEK	CM : 15 h TD : TP : 12 h Evaluat° : 1h30 (QCM)
--	---	---

OBJECTIFS

Les structures réelles peuvent comporter des discontinuités devant faire l'objet d'une appréciation en termes de nocivité, afin de déterminer si elles doivent être considérées comme des défauts ou non. Comme ces discontinuités sont le plus souvent invisibles, des méthodes d'investigation non destructives doivent être utilisées pour les caractériser.

Le cours décrit les principales méthodes de contrôle non destructif (CND) couramment utilisées et la façon dont elles sont mises en œuvre. Il établit le lien avec les types de défauts pouvant apparaître et suggère comment les CND peuvent orienter la conception des structures. Les exemples sont choisis dans le domaine de la fonderie et de la forge, domaine où le CND prend une importance majeure, à la fois en termes de qualité et en termes de compétitivité.

Les CND s'inscrivent dans la démarche d'assurance qualité d'un nombre croissant de secteurs industriels. Avec le nucléaire, l'aéronautique, l'automobile, l'énergie et les transports ferroviaires, les métiers de la Fonderie et de la Forge ont de plus en plus recours aux méthodes de CND pour vérifier l'état d'un produit ou suivre son évolution au cours de son utilisation.

L'objectif des travaux pratiques associés au cours théorique est de permettre aux étudiants de confronter les notions théoriques aux difficultés liées à la mise en œuvre des méthodes, en particulier pour le ressuage, la magnétoscopie, les ultrasons, la radiographie, et la thermographie infrarouge active.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Le CND est une technologie multidisciplinaire à vocation industrielle, il utilise les connaissances de base de l'ingénieur.

Il est préférable que les élèves soient suffisamment familiarisés avec :

- Les notions de physique générale enseignées dans les classes prépa et en DUT. Cf fiches 1A et 2A
- Les bases de la mécanique des milieux continus enseignées à l'école. Cf fiches 1A et 2A
- Les méthodologies simples de mesures électriques
- Appliquées principalement aux structures moulées ou forgées, ponctuellement aux reprises par soudage, les méthodes de CND nécessitent une bonne connaissance de ces procédés de fabrication, enseignés en détail à l'ESFF.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

CND – COFREND – défauts métallurgiques – Contrôle visuel (VT) – Ressuage (PT) – Magnétoscopie (MT) – Courants de Foucault (ET) – Thermographie infrarouge active (TT) – Ultrasons (UT) – Radiographie industrielle (RT) – Tomographie – sécurité du travail.

Key words

NDT – COFREND – metallurgical defects – Visual Testing (VT) – Penetrant Testing (PT) – Magnetic Testing (MT) – Eddy current Testing (ET) – Infrared Thermographic Testing (TT) – Radiographic Testing (RT) – Ultrasonic Testing – workers safety.

.../...

COMPÉTENCES VISEES

- Citer les principales performances et limites de chacune des méthodes de CND enseignées ;
- Citer les facteurs prévalant à la détermination des zones sensibles d'une structure où il est utile de pratiquer un examen par contrôle non destructif ;
- Expliquer en quoi le choix du « stade d'examen » peut permettre de diminuer les coûts de non-qualité ;
- Expliquer le rôle de la certification des agents de contrôle non destructif ;
- Citer les principaux paramètres influençant le contrôle visuel ;
- Différencier les différents types d'appareils utilisés en contrôle visuel ;
- Citer les principales techniques de la méthode de contrôle par ressuage ;
- Reconnaître les pièces de référence utilisées en contrôle par ressuage ;
- Citer les paramètres influençant la sensibilité en contrôle par ressuage ;
- Citer les principaux paramètres influençant le contrôle par magnétoscopie ;
- Citer les principales techniques utilisées en contrôle par magnétoscopie ;
- Indiquer le rôle d'un témoin d'aimantation en contrôle par magnétoscopie ;
- Appréhender les risques liés à l'utilisation de l'éclairage UV en contrôle par magnétoscopie ou par ressuage ;
- Citer les principaux paramètres influençant le contrôle par courants de Foucault ;
- Citer les principaux paramètres influençant le contrôle par thermographie infrarouge active
- Différencier les différents types de transducteurs ultrasonores ;
- Citer les deux grandes zones caractéristiques d'un faisceau ultrasonore ;
- Différencier les représentations A scan, B scan et C scan ;
- Nommer la principale méthode de dimensionnement des indications ultrasonores ;
- Citer les principales méthodes d'étalonnage en sensibilité lors d'un contrôle par ultrasons ;
- Citer les principaux paramètres influençant le temps de pose pour une radiographie en X ou en Gamma ;
- Choisir un film radiographique en fonction de la sensibilité requise ;
- Citer les principaux paramètres influençant le flou géométrique en radiographie ;
- Dire le rôle d'un écran renforceur en radiographie ;
- Dire le rôle d'un indicateur de qualité d'image en radiographie ;
- Identifier les principaux types de défauts sur un radiogramme ;
- Citer les principaux paramètres influençant le contrôle par tomographie

Physique des contrôles non destructifs**PLAN DÉTAILLÉ**Session dans les locaux de l'ESFF

Jour 1		Jour 2	
9h – 10h30	Généralités	9h – 10h30	Visuel (CM)
10h30 – 10h45	PAUSE	10h30 – 10h45	PAUSE
10h45 – 12h15	Ressuage (CM)	10h45 – 12h15	Ultrasons (CM)
12h15 – 13h30	REPAS	12h15 – 13h30	REPAS
13h30 – 15h00	Magnétoscopie (CM)	13h30 – 15h00	Ultrasons (CM)
15h00 – 15h15	PAUSE	15h00 – 15h15	PAUSE
15h15 – 16h45	Courants de Foucault (CM)	15h15 – 16h45	Ultrasons (CM)

Session dans les locaux CETIM

Jour 3		Jour 4	
9h – 10h15	Accueil et rappels	9h – 10h30	Radiographie (CM)
10h15 – 10h30	PAUSE	10h30 – 10h45	PAUSE
10h30 – 12h15	Thermographie (CM)	10h45 – 12h15	Radiographie (CM)
12h15 – 13h30	REPAS	12h15 – 13h30	REPAS
13h30 – 15h00	Ateliers pratiques PT/MT/UT/TT	13h30 – 15h00	Radiographie (TP)
15h00 – 15h15	PAUSE	15h00 – 15h15	PAUSE
15h15 – 16h45	Ateliers pratiques PT/MT/UT/TT	15h15 – 16h45	Tomographie (CM) Visite TOMO

Une version électronique au format PDF de toutes les présentations ainsi qu'une synthèse des principales normes utilisées en CND seront mis à la disposition des élèves.

BIBLIOGRAPHIE

 3A phy 308	Analyse d'images Intervenant : Patrick HAIRY	CM : 3 h TD : TP : Evaluation : -
--	--	---

OBJECTIFS

L'analyse d'images quantitative est un outil d'interprétation indispensable à l'expertise métallurgique. L'objectif du cours est de présenter les principes généraux, les différentes applications, les méthodologies de traitement d'image appliquées à l'étude des coupes micrographiques et au post-traitement d'images résultant d'acquisition en tomographie rayons X.

Quelques exemples de quantification sur une micrographie :

- Mesure de la distance inter-dendritique secondaire
- Caractérisation morphologique et comptage de nodules de graphite
- Mesure du pourcentage surfacique de porosités
- Mesure du pourcentage surfacique de phase

De plus, le cours présente les applications résultant de tomographie rayons X :

- Principaux traitements d'image
- Aperçu en tomographie des différents défauts de fonderie
- Mesure de porosités
- Mesure de taille de défauts

Le cours s'appuie sur des exemples traités au moyen du logiciel open source de traitement d'images ImageJ.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Physique des Contrôles non destructifs CND (Cf 3A-307)
- Métallurgie structurale (Cf 1A-502)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Analyse d'image quantitative - seuillage binaire – érosion – dilatation – micrographie - expertise métallurgique - distance inter-dendritique - défauts de fonderie – porosité – sphéricité - tomographie rayons X - ImageJ.

Key words

Quantitative image analysis – binary threshold – erosion – dilatation – micrographiy – metallurgical analysis – dendritic arm spacing (DAS) – casting defects – porosity – sphericity – X-ray tomography - ImageJ.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Connaître les différentes techniques d'analyse d'image appliquées à la micrographie et à la tomographie rayons X
- Utiliser le logiciel ImageJ

Analyse d'images

Patrick HAIRY

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) Métallographie quantitative
Notions de morphologie mathématique
Domaines et exemples d'application (micrographie, tomographie rayons X).
Utilisation du logiciel Image J

BIBLIOGRAPHIE

NF A 05-150, Techniques d'examens micrographiques.

EUROPEAN PROJECT (PROGRAMME BRITC EURAM 111) N° Proposal-1250-PL952023,
Advances methods of measurements in image analysis for materials and industrial
products improvements.

NF EN ISO 945 : 1994, Fonte – Désignation de la microstructure du graphite.

Revue Fonderie Fondateurs d'Aujourd'hui (FFA) :

- FFA271 Quantification des défauts en fonderie sous pression ; Partie III Analyse 3D par
Tomographie Patrick Hairy, Yves Gaillard, Valérie Buecher, Amaury Chabod
- FFA286 VALIDATION D'UN MODELE DE POROSITES PAR TOMOGRAPHIE
RAYONS X CHABOD Amaury, GAILLARD Yves, OGIER Gérald,
BUECHER Valérie
- FFA290 Etude par microtomographie de la nocivité de la porosité sur la tenue en fatigue de
pièces en Al-Si9Cu3 A. CHABOD¹, N. VANDERESSE², J.Y. BUFFIERE²,
E. MAIRE^{2 1} : C.T.I.F ; ² : MATEIS INSA de Lyon.

 3A chi 405	Corrosion Intervenante : Isabelle GERARD	CM : 6 h TD : 3 h TP : Evaluation : projet
--	--	---

OBJECTIFS

La corrosion des matériaux métalliques, métaux et alliages, constitue l'ensemble des phénomènes qui provoquent leur destruction progressive par passage à un état oxydé, thermodynamiquement plus stable, qui est celui que l'on rencontre dans les minerais naturels.

L'objectif de ce cours est d'aborder les phénomènes de corrosion ainsi que de s'intéresser aux conditions qui les favorisent, dans le but de montrer que les processus de corrosion sont très importants du point de vue économique (nécessité de remplacer le matériau corrodé), mais aussi du point de vue technologique car le développement des techniques nouvelles, nécessitant des conditions extrêmes (de température et pression), entraîne l'utilisation de matériaux résistant à la corrosion comme c'est le cas dans l'industrie nucléaire.

L'étude des différentes techniques concernant la protection des matériaux contre la corrosion sera également abordée.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Physico-chimie (Cf 1A-402)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Corrosion – corrosion localisée, galvanique, caverneuse, différentielle, sous contrainte – protection contre la corrosion – Inhibiteur de corrosion

Oxydo-réduction et électrochimie – potentiel d'électrode – Thermodynamique des réactions de corrosion – diagramme de Pourbaix – diagrammes potentiel-pH – diagrammes d'Ellingham – piles de corrosion

Key words

Corrosion – localized corrosion – crevice corrosion – differential corrosion – Stress corrosion cracking – protection corrosion – corrosion inhibitor

Redox and electrochemistry – electrode potential – thermodynamics of corrosion reactions – E-pH or Pourbaix diagrams – Ellingham diagrams – corrosion cell

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Comprendre et utiliser les diagrammes de potentiel-pH et d'Ellingham
- Comprendre la formation des piles de corrosion
- Connaître les différents types de corrosion
- Connaître les principales méthodes de protection des matériaux

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h)	Rappel sur les notions d'oxydant, réducteur, oxydoréduction Etude thermodynamique de la corrosion : diagrammes d'Ellingham et diagrammes de Pourbaix, pile de corrosion, loi de Nernst Introduction générale, description des différents types de corrosion, exercices
CM 2 (3 h)	Fin de la description des différents types de corrosion Protection cathodique et anodique Passivation anodique de l'aluminium Protection par revêtement
TD (3 h)	Exercices d'oxydoréduction Etude de diagramme d'Ellingham et de diagrammes potentiels pH Illustration des phénomènes de corrosion Application à des problèmes de corrosion réels

BIBLIOGRAPHIE

Corrosion protection : John C. SCULLY

Physical chemistry, Atkins – Oxford 1988

La chimie au CAPES – I. Chimie physique et inorganique, F. Daumarie, F. Goubard, P. Griesmar, S. Sadki, Hémann éditeurs des sciences et des arts (2002) p 379-393

Chimie PSI PSI* 2^e année, P. Grélias, V. Tejedor, Collection Méthodes et Annales, Nouvelle édition, Lavoisier, (2009), Chapitre 4 Diagrammes d'Ellingham – Pyrométallurgie ; chapitre 5 : Thermodynamique Redox – Diagrammes E-pH

http://www.lerepairedessciences.fr/sciences/agregation_fichiers/LECONS/CHIMIE/lc37.pdf

Titan France : <http://slideplayer.fr/slide/1843622/#>

 3A chi 406	Diagrammes d'équilibre ternaires Intervenant : Marie-Laurence GIORGI	CM : 6 h TD : 3 h TP : Evaluation : 2 h
--	--	--

OBJECTIFS

Beaucoup d'alliages métalliques sont constitués de plus de deux éléments principaux. Le déroulement de leur solidification est plus complexe que celui des alliages binaires. Pour les alliages dit "ternaires" la description des changements d'état et des phases en équilibre est possible sous forme d'un diagramme tridimensionnel ce qui en facilite la compréhension et permet par des calculs simples de connaître la proportion des phases déposées en cours de solidification.

L'objectif de ce cours est de compléter les connaissances acquises par les élèves de première année sur les diagrammes binaires dans le cadre du cours intitulé "Métallurgie structurale". Des exercices simples d'application à la solidification d'alliages complètent les connaissances.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Thermodynamique générale et appliquée à la métallurgie (Cf 1A301 et 2A-302).

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Solution solide – Diagrammes ternaires – Triangle de Gibbs – Règle des phases – Équilibres à deux, trois et quatre phases – Ligne de conjugaison – Triangle de conjugaison – Règle des leviers – Coupe isotherme – Coupe isoplèthe – Projection du liquidus – Solidification – Solubilité – Réaction invariante – Eutectique – Peritectique.

Key words

Solid solution – Ternary diagrams – Gibbs triangle – Gibbs' phase rule – Two, three and four-phase equilibria – Tie line – Tie triangle – Lever rule – Isothermal section – Isopleth section – Liquidus projection – Solidification sequence – Solubility – Invariant reaction – Eutectic – Peritectic.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Déterminer la composition d'un point placé dans le triangle de Gibbs
- Placer une composition donnée dans le diagramme ternaire
- Déterminer les phases en présence dans un domaine quelconque du diagramme ternaire
- Déterminer la composition et la proportion des phases en présence pour une composition d'alliage
- Tracer les coupes isothermes d'un diagramme ternaire
- Tracer la projection du liquidus et du solidus dans le triangle de Gibbs
- Déterminer la séquence de solidification d'un alliage de composition donnée (phases en présence, composition et proportion des phases en fonction de la température).

.../...

Diagrammes d'équilibre ternaires

Marie-Laurence GIORGI

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (2 h) Définition et représentation graphique des diagrammes d'équilibre ternaire – Différentiation avec les binaires.

Les systèmes ternaires à deux phases – Conodes – Projection du liquidus – Projection du solidus – Chemin de solidification – Sections isoplèthes et isothermes des diagrammes – Solidification d'un alliage.

TD 1 (1 h) Exercices

CM 2 (2 h) Les systèmes ternaires à trois phases avec réactions eutectiques – Domaine à trois phases – Triangle de conjugaison – Calcul de la proportion des phases – Surface solvus – Solidification d'alliages de compositions différentes.

Systèmes à trois phases avec réactions péritectiques – Domaine à trois phases – Ligne péritectique – Exemples de solidification d'alliages hyperpéritectiques et hypopéritectiques.

TD 2 (1 h) Exercices

CM 3 (2 h) Système à quatre phases constitué de trois systèmes binaires avec réactions eutectiques, sans limite de solubilité à l'état solide et avec limite de solubilité à l'état solide.

Etude de la solidification de quelques alliages – Structure métallographique des alliages Ag Cu Cu₃P.

TD 3 (1 h) Exercices

BIBLIOGRAPHIE

A. Prince, *Alloy Phase Equilibria*, Elsevier Publishing Company, New York, 1966.

D. R. F. West, *Ternary Equilibrium Diagrams*, Chapman and Hall, New York, 1982.

J. Hertz, *Diagrammes d'équilibre - Alliages ternaires et multiconstitués*, Techniques de l'Ingénieur, Référence M4105, 10 déc. 2003.

 3A sdm 509	Mécanique de la Rupture Intervenant : Muriel QUILLIEN	CM : 12 h TD : 3 h TP : Evaluation : cc
---	--	--

OBJECTIFS

La rupture immédiate ou différée sous charge de service répétitive est un mode d'endommagement et de ruine important des composants mécaniques. Elle est issue de l'initiation et de la propagation de fissures qui peut dans certaines circonstances être contrôlée.

L'enseignement présente une initiation à la mécanique de la rupture (étude des conditions de propagation de fissures existantes) et de la fatigue (évolution de l'endommagement sous chargement répétitif) en vue d'une aide à la conception (choisir la juste qualité de matériau et prévoir le suivi et la maintenance), et d'une aide à l'expertise (analyser la rupture d'un composant et proposer des solutions d'amélioration pour les composants de remplacement).

Initier à la mécanique de la rupture en vue d'une aide à la conception et à l'expertise.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Ensemble des bases de mécaniques et mathématiques des années 3 et 4

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Mécanique linéaire de la rupture - Facteur d'intensité de contrainte – Ténacité - Rupture dynamique : résilience-ténacité - Mécanique non linéaire de la rupture - Notions sur l'intégrale J et les courbes R

Key words

Linear fracture mechanics, Stress intensity factor, Toughness, Dynamic fracture: impact strength: resilience Non linear fracture mechanics – J integral and R curves

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Comprendre ou mettre en œuvre les méthodes de détermination des caractéristiques liées à la rupture d'un matériau (ténacité, résilience, J_{Ic} , courbe R)
- Déterminer la nocivité d'un défaut de type fissure (charge critique entraînant la propagation et stabilité éventuelle de cette propagation) en vue de choisir le matériau et la santé matériau nécessaire et mettre en place les CND pour le contrôle initial et la maintenance ultérieure.
- Analyser une rupture, en déterminer les causes probables et proposer des solutions palliatives pour le renouvellement du système ayant subi la rupture.
- Etre capable de déterminer la nocivité d'un défaut.
- Savoir déterminer que les défauts non détectables ne sont pas critiques.

Mécanique de la Rupture

Muriel QUILLIEN

PLAN DÉTAILLÉ

Contenu du module :

- Assimiler les méthodes de détermination des propriétés matériau liées à la rupture (ténacité, résilience, Jlc, courbe R).
- Définir la santé matériau et les CND nécessaires à partir de l'étude de la nocivité d'un défaut de type fissure.
- Analyser une rupture, en déterminer les causes probables (fatigue ou non) et proposer des solutions correctives.

Organisation pédagogique : 6h Cours et 6h Projets

CM 1 (3 h)	Bases physiques de la rupture – Notions de couplage entre structure et défauts – Paramètres influents – Rupture dynamique : résilience.
------------	---

CM 2 (3 h)	Mécanique linéaire de la rupture : modes de rupture – Facteur d'intensité de contrainte, ténacité – Correspondances résilience / ténacité.
------------	--

CM 3 (3 h)	Taux de restitution d'énergie – Stabilité de la propagation d'une fissure – Mécanique non linéaire de la rupture : correction d'Irwin ou de Dugdale – ouverture en fond de fissure (CTOD).
------------	--

CM 4 (3 h)	Notions d'analyse limite – Notions sur l'intégrale J et les courbes R – Notions sur la propagation de fissures en fatigue : loi de Paris.
------------	---

TD 1 (3 h)	Présentation des projets réalisés avec les élèves de Supméca.
------------	---

BIBLIOGRAPHIE

Introduction à la mécanique de la rupture – R. LABBENS – Ed. Pluralis 1980

Mécanique de la rupture fragile – H. D. BUI – Masson 1978

Elementary engineering fracture mechanics – D. BROEK Martinus Nijhoff Publishers 1986

Mécanique des matériaux solides – J. LEMAITRE et J. L. CHABOCHE – Dunod 1985

Calcul à la rupture et analyse limite – J. SALENCON – Presses de l'ENPC 1983

La rupture des aciers – G. SANZ – IRSID OTUA

La rupture par fatigue des aciers – H. P. LIEURADE – IRSID OTUA

 3A sdm 510	Fatigue des matériaux Intervenant : Henri-Paul LIEURADE	CM : 12 h TD : 3 h TP : Evaluation : cc
--	---	--

OBJECTIFS

La rupture par fatigue est le mode d'endommagement le plus fréquent, dans le cas des pièces sollicitées mécaniquement. L'aspect généralement localisé de l'amorçage d'une fissure de fatigue est influencé par de nombreux paramètres mécaniques, métallurgiques et environnementaux qu'il convient de prendre en compte lors du dimensionnement d'un composant industriel, sollicité cycliquement.

Par ailleurs, dans le cas d'un composant fissuré ou présentant un défaut, l'approche par la Mécanique de la rupture permet de calculer, d'une part le risque de rupture brutale, d'autre part la durée résiduelle du composant

L'objectif du cours est de fournir aux élèves les connaissances nécessaires pour évaluer les risques de rupture par fatigue et pour appliquer les méthodes de calcul suffisantes pour concevoir ou reconcevoir un composant critique fortement sollicité

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Comportement mécanique des matériaux métalliques : caractéristiques mécaniques et loi de comportement monotone (résistance à la traction, ténacité, résistance à la rupture fragile
- Relation microstructure – propriétés mécaniques ; rôle des traitements dans la masse (traitements thermiques) et en surface
- Calcul mécanique des composants et des structures ; démarche analytique, méthode des éléments finis

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Fatigue, Amorçage de fissure, limite d'endurance, effet d'entaille, état de surface, contraintes résiduelles, fatigue multiaxiale, critère de fatigue, conception vis-à-vis de la fatigue, résistance en fatigue oligocyclique, caractéristiques cycliques

Mécanismes d'endommagement par fatigue - Différents stades du phénomène de fatigue - Fatigue oligocyclique - Fissuration par fatigue : modélisation et méthodes d'essais - Influence contraintes résiduelles et critères multiaxiaux - Fatigue des assemblages ou joints soudés

Key words

Fatigue damage, crack initiation, notch effect, surface influence, residual stresses, multiaxial fatigue, fatigue criteria, fatigue design, low cycle fatigue strength, cyclic characteristics

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Analyser un faciès de rupture par fatigue (site d'amorçage de la fissure, zone de propagation, lignes frontales, lignes radiales)
- Estimer si une rupture est due à un phénomène de fatigue
- Déterminer une courbe de Wölher, à partir de résultats d'essais de fatigue
- Utiliser un diagramme de Haigh $\sigma_a = f(\sigma_m)$ ou de Goodman
- Calculer l'équation de la droite de Goodman, à partir de ce diagramme
- Dimensionner une pièce en fatigue sous chargement uniaxial, en prenant en compte les paramètres mécaniques, géométriques et microgéométriques qui affectent sa tenue en service
- Calculer l'endommagement d'un composant soumis à des sollicitations d'amplitudes de contraintes variables en utilisant la règle d'endommagement cumulatif de Palmgren-Miner
- Vérifier la résistance en fatigue d'un composant sous sollicitations cycliques multiaxiales, calculer le coefficient de sécurité correspondant
- Tracer la courbe de Dang Van d'un alliage métallique, en déterminer l'équation puis appliquer le critère de Dang Van au cas d'un chargement uniaxial en phase
- Tracer une courbe de traction cyclique et en extraire la loi d'écrouissage cyclique
- Tracer les droites de Manson-Coffin et de Basquin à l'aide de résultats de fatigue oligocyclique puis en déterminer les équations
- Appliquer la règle de Neuber pour déterminer les cycles stabilisés d'un chargement oligocyclique
- Déterminer la loi de Paris à partir des résultats d'essais de fissuration par fatigue
- Calculer la durée de vie résiduelle (en nombre de cycles) d'un composant comportant un défaut apparaissant en surface
- Valider un composant industriel vis-à-vis de sa tenue en fatigue à l'amorçage d'une fissure et de sa robustesse dans le cas de la présence d'un défaut de fabrication

Fatigue des matériaux

Henri-Paul LIEURADE

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h)	Mécanismes d'endommagement par fatigue La rupture par fatigue : phénomènes et mécanismes L'analyse fractographique Les paramètres d'influence et leurs conséquences Paramètres mécaniques Paramètres géométriques Paramètres environnementaux
CM 2 (3 h)	La fatigue à grands nombres de cycles Notion de limite d'endurance Les aspects statistiques de la résistance à la fatigue Le dimensionnement en fatigue : méthodes et critères de ruine + cas d'un charge simple + cas d'un chargement multiaxial + Application du critère de Dang Van
CM 3 (3 h)	Le domaine de la fatigue oligocyclique Les mécanismes d'accommodation : phénomènes de durcissement / adoucissement Détermination des caractéristiques cycliques Tracé des courbes de résistance à la fatigue oligocyclique Lois de Manson-Coffin et de Basquin Effets de la température Simulation du comportement d'un composant entaillé : règle de Neuber
CM 4 (3 h)	Le stade de fissuration par fatigue Application de la Mécanique de la rupture à la fissuration par fatigue Détermination de la loi de Paris Les principaux paramètres d'influence Calcul de la durée de vie résiduelle d'un composant fissuré Cas d'application
TD 1 (3 h)	Présentation des projets réalisés avec les élèves de SUPMECA.

BIBLIOGRAPHIE

Introduction à la mécanique de la rupture – R. LABBENS – Ed. Pluralis 1980

Mécanique de la rupture fragile – H. D. BUI – Masson 1978

Elementary engineering fracture mechanics – D. BROEK Martinus Nijhoff Publishers 1986

Mécanique des matériaux solides – J. LEMAITRE et J. L. CHABOCHE – Dunod 1985

Calcul à la rupture et analyse limite – J. SALENCON – Presses de l'ENPC 1983

La rupture des aciers – G. SANZ – IRSID OTUA

La rupture par fatigue des aciers – HP LIEURADE – IRSID OTUA

Recueil de données sur la fatigue – CETIM

La pratique des essais de fatigue – HP LIEURADE

 3A sdm 511	Outillages de forge (endommagement et solutions) Intervenant : Régis BIGOT	CM : 9 h TD : TP : Evaluation : 2 h
--	--	---

OBJECTIFS

L'outillage de forge est un élément clé du procédé de mise en forme à chaud. Il intervient pour 5 à 20% dans le prix de revient d'une pièce forgée selon le type de forgeage retenu.

La maîtrise des performances d'un outillage constitue un objectif permanent d'amélioration de qualité et de productivité pour les forgerons.

L'objectif de cette intervention est de montrer les pistes essentielles existantes permettant aux services des méthodes d'établir des cahiers des charges et des gammes de fabrication optimisées des outillages (choix de nuance, traitements thermiques...). On cherche aussi à préciser les caractéristiques du matériau-outil à privilégier pour répondre aux sollicitations thermiques ou mécaniques rencontrées dans les procédés de forge à chaud ou à température ambiante.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Fatigue thermique – fissuration – fatigue de contact – aciers d'outillages – traitement thermique – traitement superficiel – nitruration – conception.

Sollicitations mécaniques et thermiques - Mécanismes élémentaires d'endommagement - Choix d'aciers, traitements thermiques/thermo-chimiques

Key words

Thermal fatigue – fissuration – contact fatigue – tool steels – heat treatment – surface treatment – nitruration – tool design.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Identifier les endommagements sur des outillages de forge
- Analyser les sollicitations sur des outillages de forgeage
- Comprendre des modes d'endommagement rencontrés en forgeage
- Connaître les influences des paramètres opératoires sur la tenue en service des outillages de forge
- Identifier des solutions pour limiter les ruines des outillages en forge.

Outillages de forge

Régis BIGOT

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) Quelles sont les sollicitations auxquelles sont soumis les outillages : définition, paramètres, conséquences physico-chimiques sur le matériau ?

CM 2 (3 h) Quelles en sont les conséquences endommageantes sur l'outil ou le procédé : principaux endommagements, mécanismes élémentaires ?

CM 3 (3 h) Quelles sont les caractéristiques physiques et mécaniques à privilégier dans les outils ?
Comment, par leur composition chimique, leur traitement dans la masse ou les traitements de surface, peut-on fabriquer des outils à tenue optimisée ?

BIBLIOGRAPHIE

 3A sdm 513	Métallurgie des alliages Cuivreux Intervenant : Michel STUCKY	CM : 12 h TD : 3 h TP : Evaluation : 2 h
--	--	---

OBJECTIFS

Le cuivre et les alliages cuivreux (laitons, bronzes, etc.) représentent une part importante du tonnage et du chiffre d'affaire de la fonderie et plus encore du secteur de la transformation des métaux (corroyage et décolletage). Les domaines d'applications de ces alliages sont nombreux puisqu'on les rencontre dans la plupart des secteurs de l'industrie, du bâtiment à l'aéronautique.

L'objectif de ce cours est de communiquer aux élèves les connaissances fondamentales concernant la métallurgie et la métallographie des alliages cuivreux, qu'ils soient utilisés en fonderie ou en corroyage. On abordera l'évolution de leurs structures et propriétés, physiques et mécaniques, en fonction de certains paramètres (température, traitements thermiques, etc.) en les reliant aux applications et à la mise en forme du matériau. La tenue à la corrosion et la conductibilité électrique de ces alliages seront particulièrement développées. L'acquisition de ces connaissances devrait leur permettre à la fois de mieux connaître les atouts qu'offrent les alliages cuivreux comparativement aux autres matériaux et de pouvoir surmonter les difficultés liées à leur mise en forme.

Ce cours s'appuie sur les cours de métallurgie générale dispensés en première année (métallurgie structurale, diagramme d'équilibre, etc.).

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Connaissance des diagrammes d'équilibre

Structure cristalline :

- Plan de glissement
- Défaut de structure (lacune, atome en position de substitution, atome en position d'insertion, dislocation)
- Solution solide, précipités

Notions sur la diffusion (lois de Fick)

Notions de thermodynamique (notions d'enthalpie, entropie etc.)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Cuivres – Alliages Cuivreux – Laitons – Bronzes – Cupro-aluminiums – Maillechorts – Fonderie – Corroyage – Décolletage – Corrosion – Traitements Thermiques – Défauts – Microstructures – Conductibilité – Caractéristiques mécaniques – Bactéricide.

Key words

Coppers – Copper Alloys – Brasses – Yellow Brasses – Bronzes – Aluminium Bronzes – Castings – Cold Working – Hot Working – Machining – Corrosion – Heat Treatment – Defects – Microstructures – Conductibility – Mechanical properties – Antibacterial.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Citer les principaux cuivres et alliages de cuivre
- Donner les principales caractéristiques des différents alliages cuivreux
- Elaborer les alliages cuivreux
- Optimiser les compositions des alliages en fonction de l'effet des principaux éléments d'addition et impuretés en fonction des alliages
- Reconnaître les structures des différents alliages cuivreux
- Justifier l'emploi d'un couple alliage-procédé par rapport aux besoins fonctionnels

PLAN DÉTAILLÉ

Métallurgie des alliages Cuivreux

Michel STUCKY

CM 1 (3 h)

Généralités

Organisation générale - Normes - Impact sur l'environnement

Choix d'un four, garnissage, creuset, etc...

Les différents procédés de moulage des alliages cuivreux

Les différents procédés de transformation des alliages cuivreux

Aptitude des différents alliages vis à vis des différentes technologies de mise en forme

Le cuivre pur et les alliages peu alliés

Différentes nuances de cuivre pur

Cuivre à l'argent

Cupro-chrome, Cupro-zirconium, Cupro-nickel-silicium (Cunisi)

Spécificités des alliages de moulage

Spécificités des alliages de corroyage

CM 2 (3 h)

Les laitons

Généralités : laitons binaires, au plomb et complexes, titre fictif, structures, caractéristiques et applications

Spécificités des laitons de moulage

Spécificités des laitons de corroyage (décolletage et matriçage)

Usinabilité

CM 3 (3 h)

Les bronzes

Généralités : bronzes binaires, au plomb, phosphoreux, au zinc et complexes, structures, caractéristiques et applications

Spécificités des bronzes de moulage

Spécificités des bronzes de corroyage

Usinabilité

CM 4 (3 h)	Les cupro-aluminiums Généralités : cupro-aluminiums binaires (monophasés et biphasés) et complexes, structures, caractéristiques et applications Spécificités des cupro-aluminiums de moulage Spécificités des cupro-aluminiums de corroyage Usinabilité Les autres alliages cuivreux Maillechorts – Cupro-nickel et monel – Cupro-siliciums Résistance à la corrosion des alliages cuivreux Caractéristiques de base Couples électrochimiques avec les autres matériaux Comportement vis à vis de différents milieux Fatigue corrosion
TD 1 (3 h)	Métallographie et études de cas Généralités : dosage de l'oxygène dans le cuivre, etc. Les laitons Les bronzes Les cupro-aluminiums

BIBLIOGRAPHIE

 3A sdm 515	Métallurgie des alliages de titane et superalliages Intervenant : Benoît APPOLAIRE – Boubker ELOTMANI	CM : 6 h TD : 6 h TP : Evaluation : 2 h
--	--	---

OBJECTIFS

Les alliages de titane sont essentiellement employés en construction aéronautique et dans les turbines industrielles. Ils trouvent également des applications importantes en chimie et pétrochimie, du fait de leur excellente tenue à la corrosion dans certains milieux et dans l'eau de mer.

L'objectif de ce cours est de présenter la métallurgie de cette famille d'alliages, à leurs propriétés, en mettant *l'accent sur leurs microstructures comme élément essentiel de l'optimisation de ces alliages*.

L'objectif de ce cours est de présenter aux élèves quelques éléments de la métallurgie de ces deux familles d'alliages, de leur élaboration à leurs propriétés physiques et mécaniques principales et les avantages qui en découlent, ainsi que leur élaboration et mise en forme par forgeage en mettant l'accent en particulier sur leurs microstructures comme élément essentiel de l'optimisation de ces alliages.

A titre d'exemple, un alliage de chaque famille sera traité plus en détail : le TA6V et le Ti17 pour les alliages de titane et l'Inconel 718 pour les superalliages.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Notions de cristallographie (structures élémentaires).
- Thermodynamique des matériaux (diagrammes d'équilibre).
- Mécanismes de transformations de phase (displacif/diffusif) ; croissance de grains, recristallisation.
- Notions sur les propriétés mécaniques les plus courantes (en traction, fatigue, fluage).
- Notions sur les moyens de caractérisation usuels en métallurgie : microscopies optique et électronique., diffraction des rayons X.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Titane – Alliages de titane – Phases – Recristallisation – Microstructures – Élaboration – Traitements thermiques – Traitements thermomécaniques – Propriétés mécaniques – Applications industrielles et aéronautiques – Superalliages – Alliages base Ni – Alliages base Co – Alliages métallurgie des poudres – Inconel 718 – Propriétés physiques – Phases – Recristallisation – Applications – Elaboration – Forgeage – Tenue au fluage – Résistance à la fatigue – Gammes de transformation – Applications industrielles et aéronautiques

Keywords

Titanium – Titanium alloys – Phases – Recrystallization – Microstructures – Elaboration – Heat treatments – Thermo-mechanical treatments – Mechanical properties – Industrial and aerospace applications – Titanium alloys – Super alloys – Ni base alloys – Co base alloys – Powder metallurgy alloys – Inconel 718 – Physical properties – Phases – Recrystallization – Applications – Melting – Microstructure – Creep - Fatigue – Processing

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Être capable de :

- Énumérer les principales propriétés du titane et de ses alliages.
- Connaître les étapes d'élaboration les plus courantes.
- Savoir classer les alliages de titane suivant leurs compositions et connaître les avantages et inconvénients des différentes familles.
- Reconnaître les microstructures types et identifier les traitements qui les ont générés.
- Sélectionner une microstructure en fonction des propriétés mécaniques visées.
- Citer et commenter les différentes phases que l'on peut rencontrer dans les alliages de titane et les super alliages
- Décliner les types d'élaboration utilisés pour chaque alliage ainsi que les avantages et inconvénients de chaque méthode employée
- Connaître les paramètres qui participent à la recristallisation au cours d'une déformation à chaud et leur influence sur la structure métallurgique obtenue
- Reconnaître les principaux défauts métallurgiques et leur nocivité
- Décrire le principe opératoire pour la mise en place d'une gamme de forge dédiée à un produit forgé en titane (TA6V ou Inconel 718)

Métallurgie des alliages de titane

PLAN DÉTAILLÉ

Benoît APPOLAIRE

CM 1 (3 h)

1. Introduction (domaines d'application, quelques dates, aspects géographiques et économiques de la production de minerai).
2. Élaboration (primaire : procédés Kroll et Hunter + quelques autres procédés ; secondaire : refusions sous vide et sur sole froide)
3. Le titane pur. Propriétés physiques (comparaison avec les autres métaux). Les formes allotropiques (phases α , β et ω ; diagramme T,p). Les mécanismes à l'échelle atomique des transformations allotropiques (relations d'orientation de Burgers et variants cristallographiques). Conséquences sur la morphologie de la phase α . Propriétés mécaniques du titane pur (phases α et β) : élasticité anisotrope ; modes de déformation plastique (systèmes de glissement, maclage). Propriété chimiques (réactivité) : structure électronique ; diagrammes d'Ellingham.
4. Les alliages de titane : classification des éléments d'addition (α gènes et β gènes). Exemples de diagrammes de phase binaires. Un exemple de diagramme ternaire : Ti-Al-V.

CM 2 (3 h)

5. Classification des alliages (notions d'Al et Mo équivalents) et exemples d'alliages industriels.
 6. Caractéristiques des alliages (avantages et inconvénients), en lien avec les microstructures.
 7. Transformations et microstructures. Diagrammes cinétiques des différentes familles d'alliages (TTT et TRC). Microstructures associées (séquences de transformation). Revenus.
 8. Propriétés en lien avec les microstructures.
 9. Étude de cas : Analyse de microstructures dans le TA6V.
-

Métallurgie des alliages de Titane et Superalliages

Boubker ELOTMANI

CM 1 (1h30) **Alliages de titane**

- Rappel sur l'élaboration des alliages des titanes
 - Fabrication des compacts / soudage des électrodes / refusion VAR
 - Exemple de macrostructure / microstructure /
 - Défauts d'élaboration sur matière & pièce
-

CM 2 (4h30) **Superalliages**

- Historique des superalliages
 - Pourquoi les superalliages base Ni
 - Les familles de superalliages base Ni
 - Les grands principes d'élaboration
 - Défauts d'élaboration sur matière
 - Inconel 718 : le superalliage le plus utilisé
 - Métallurgie des poudres
-

BIBLIOGRAPHIE

1. Les différentes entrées sur les alliages de titane dans Les techniques de l'ingénieur, par Y. Combres.
2. Titanium, Lütjering G, Williams JC, Springer, 2003.
3. Materials Properties Handbook : Titanium Alloys, Boyer R, Welsch G, Collings EW, ASM International, 1994.
4. Phase Transformations – Examples from titanium and zirconium alloys, Banerjee S, Mukhopadhyay P, Elsevier, 2007.
5. Quelques articles dans la littérature scientifique spécialisée (Acta Materialia, Metallurgical and Materials Transactions A) qui pourront servir de support à des études de cas.

ASM Metals Handbook Forming and Forging

Techniques de l'ingénieur

Etudes & Présentations SAFRAN Aircraft Engines



3A sdm 517

Analyse des non conformités de fonderie

Intervenants : Patrick HAIRY et Gilles REGHEERE

CM : 6 h

TD : 6 h

TP :

Evaluation : 2 h

OBJECTIFS

Sous la pression des donneurs d'ordre et équipementiers, la réduction du prix d'achat des pièces de fonderie oblige les fonderies à diminuer les surcoûts de fabrication et à engager au maximum leur moyen de production.

La non qualité est de ce fait un handicap sérieux, qui peut rapidement amener à la perte de clients et à la diminution des marges. L'objectif général de ce cours est d'amener les étudiants à acquérir une méthodologie de résolution de problème de la non qualité afin de réduire en production les défauts sur les pièces de fonderie.

Le diagnostic de défaut et l'adéquation de la qualité pièce au cahier des charges du client constituent la première étape développée lors de ce cours.

La recherche des causes de défaut est la seconde étape ; traitée sous forme d'études de cas en prenant d'une part l'exemple de la fonderie gravité (relation client/fondeur) et d'autre part le cas de la fonderie sous pression (défaut/paramètres).

Les effets des arrêts du procédé de fabrication, des moyens de contrôle et de la fréquence des prélèvements de pièces sont mis en évidence.

Objectifs de savoir :

- connaître l'origine des défauts (thermique, remplissage, ...) et leur mode de formation
- savoir gérer le problème avec le client
- appréhender l'influence des paramètres de fabrication sur la qualité des pièces

Objectifs de savoir faire :

- diagnostiquer un défaut
- analyser le problème de non qualité et appliquer un plan d'actions.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Les élèves devront maîtriser préalablement :

- le process de fonderie fonte (moulage sable) et aluminium (moulage sous pression),
- la métallurgie des fontes et des aluminiums moulés (cf 2A-505, 2A-506 et 2A 507)
- les moyens de contrôles des pièces (radiographies, micrographie, ressuage)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Défauts – causes de non qualité - soufflure – retassure – reprise de coulée – relation client fondeur – paramètres de fabrication – diagramme d'Ishikawa – Contrôle de la qualité

Key words

Defects - Causes of poor quality – porosity – shrinkage – cold lap - relationship between customer and foundryman – industrial parameters – Ishikawa diagram – Quality control

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Diagnostiquer un défaut de fonderie (fonte et aluminium), d'en préciser l'origine (métallurgique, procédé) et les causes d'apparition
- Appliquer une démarche structurée de traitement de la non qualité (diagnostic/causes/remèdes)
- Utiliser des outils de résolutions de problèmes (Ishikawa, cause racine, AMDEC, pourquoi, etc.)

Analyse des non-conformités de fonderie (aluminium sous-pression)

Patrick HAIRY

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (1h30) Défauts internes et externes – importance du diagnostic – bavure – cloque – reprise – manque (non venu) – craquelure (effet du moule) – crique – fleurs – soufflure – retassure – soufflo/retassure – différence soufflure/retassure – points durs – oxydes – gouttes froides – origine de chaque défaut.

TD 1 (1h30) Reconnaissance par les étudiants de défauts de fonderie sur pièces (une vingtaine) en aluminium, laiton, zamak et magnésium. Travail individuel, puis en sous groupe pour identifier le défaut.

CM 2 (1h30) Méthodologie de traitement du défaut – Ishikawa – tableau défaut/causes – fiche réglage – conformité par rapport à une fiche de réglage – rebuts de démarrage – CND (radioscopie et radiographie, tomographie, ...) – dérive des paramètres et conséquence sur la qualité pièce – fréquence du contrôle pièce.

TD 2 (1h30) Etude de cas industriel
Objectif : résoudre un problème de porosité (actions court terme) et proposer des actions (long terme) pour stabiliser le niveau de qualité, interdire le retour du problème et réduire le niveau de rebut. Domaine de la fonderie sous pression aluminium grande série.

Analyse des non-conformités de fonderie (fonte)

Gilles REGHEERE

CM 3 (3 h) Enjeux de la non qualité – traitement d’une non conformité – mesure de la non qualité – actions correctives et validation – classification des défauts – les étapes de l’identification d’un défaut – les défauts métallurgiques – influence du métal sur la qualité pièce – influence du tracé de pièce– variation dimensionnelle – examens micrographiques – contrôle de la structure –importance du cahier des charges.

TD 3 (3 h) Etude de 12 cas industriels résolus.
Objectifs : Identifier les causes possibles de défauts d’après les examens et analyses effectués et les résultats obtenus.
Proposer des actions correctives pour répondre au cahier des charges.

BIBLIOGRAPHIE

La maîtrise de la qualité en fonderie sous pression, Y. Hémon, notice ETIF

Analyse de données sur une production de blocs moteurs en fonderie sous pression, P. Hairry, M. Charcosset et alii, Fonderie et Fondateur d’Aujourd’hui, N° 197, août-septembre 2000, p. 13-21

Apport de la micro-tomographie X haute résolution pour l’étude des mécanismes de fatigue des alliages d’aluminium de moulage, J.Y. Buffière, S. Savelli et alii, Fonderie et Fondateur d’Aujourd’hui, N° 219, nov. 2002, p. 10-18

Contrôle de la dissémination des micro-retassures dans les pièces moulées en alliage de magnésium, M. Galopin, S. Bergeron et alii, Fonderie et Fondateur d’Aujourd’hui, N° 218, octobre 2002, p. 20-33

Quantification des défauts en fonderie sous pression (partie I) – analyse sur micrographie et dimension fractale des retassures – P. Hairry, Fonderie et Fondateur d’Aujourd’hui – N° 265- mai 2007 – p. 12-23

Quantification des défauts en fonderie sous pression (partie II) – analyse sur radioscopie – P. Hairry, F. Granereau, R. Ménard, P. Bouvet, Fonderie et Fondateur d’Aujourd’hui – N° 268- Août-Septembre 2007 – p. 11-23

Quantification des défauts en fonderie sous pression (partie III) – analyse 3D par tomographie – P. Hairry, Y. Gaillard, V. Buecher, A. Chabod, Fonderie et Fondateur d’Aujourd’hui – N° 271- janvier 2008 – p. 8 – 22

La tomographie ouvre de nouveaux moyens de recherche sur les matériaux, Y. Gaillard, V.Buecher, Fonderie et fondeur d’Aujourd’hui – N° 264- avril 2007 – p. 44



3A sdm 518

Analyse des non conformités de forgeage

Intervenant : William JOBERT

CM : 6 h
TD :
TP :
Evaluation : -

OBJECTIFS

La compréhension de la technique de mise en forme des métaux par forgeage fait appel à plusieurs domaines de compétences tels que la métallurgie, la plasticité ou encore la mécanique. Par définition, elle est donc complexe.

L'objectif de ce cours est d'apporter aux étudiants une connaissance des défauts de forge, de leur mode de formation et leurs causes racines pour mieux les comprendre et surtout pour pouvoir les traiter.

Le second objectif est d'apporter une culture technique à l'étudiant par une méthode d'analyse structurée des défauts de forge.

Ce cours est basé sur une approche de la mise au point de la production de pièces forgées.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Technologie estampage : conception, outillage, machines

Mécanique des milieux continus – plasticité

Contrôle non destructifs - principes

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Forgeage – Matriçage – Gamme de forge – Analyse des défauts – Cause – Déformation plastique – Machine de forge – Environnement de travail – Opérateur de forge

Key words

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Identifier les défauts de forge
- Effectuer une analyse structurée pour rechercher les causes "racines"
- Connaître les bonnes pratiques pour assurer la qualité des pièces forgées
- En fonction de la géométrie de la pièce et de sa gamme de forge, savoir reconnaître quelle est le ou les défauts qui ont le plus de chance d'apparaître

Analyse des non conformités de forgeage

William JOBERT

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h)	Présentation de défauts Etude des causes Cas pratiques et exemples
------------	--

CM 2 (3 h)	Etude de cas
------------	--------------

BIBLIOGRAPHIE

- Estampage et Forge ; A CHAMOUARD ; Edition DUNOD
- Cold and Hot Forging : Fundamentals and Applications, Taylan Altan, Gracious Ngaile, Gangshu Shen; ASM International, 2005

	Conception d'outillages et de pièces moulées (études de moulage) Intervenants : MM. BLAQUE, PLACE, ROOSE, LUDWIG et MELLINA	CM : 6 h TD : 9 h TP : Projet : 18 h Evaluation : 25 h
--	---	---

OBJECTIFS

Les études de moulage, de fabrication de produits, dans notre profession correspondent à la caractérisation, des méthodes et des moyens optimisés, à mettre en œuvre pour réaliser les productions, dans la pérennité des entreprises.

Elles sont situées en amont de toutes productions. Elles forment les bases des échanges informationnels externes et internes entre les intervenants des entreprises. Elles résultent des travaux effectués par le client, dans son bureau d'étude, pour approuver la conception de la pièce, les préconisations de son usineur et de son assembleur afin de finaliser ses plans d'ensembles et de définitions.

Le bureau des méthodes du fondeur avec ces éléments, détermine les plans d'élaboration des bruts (plans de définitions munis des surépaisseurs d'usinage pour conformation ultérieure, de plans de joints simplifiés, de dépouilles articulées, de modification de tracé en fonction du procédé) en liaison avec ses sous-traitants et ses responsables de fabrication. La finalisation aboutie de ces démarches est la génération des études de moulage.

Elles vérifient et valident le choix du procédé à l'aide de cinq paramètres discriminants primordiaux (matériau, série, dimensions, tolérances dimensionnelles, l'état de surface) issus du cahier des charges contractuelles et des normes en vigueur.

Elles définissent les moyens de fabrication à mettre en œuvre en fonction :

- des plans de joints, des découpes de noyaux
- des systèmes d'alimentation
- des systèmes de remplissage
- des sables de moulage, des procédés et des matériels et machines associées
- des sables de noyautage, des procédés et des matériels et machines associées
- des moyens de parachèvement et des matériels et machines associées
- des moyens de contrôle et des matériels et machines associées
- des moyens de conditionnement et des matériels et machines associées.

Elles définissent les outillages conformes aux normes et aux objectifs de production par une définition rigoureuse des éléments suivants :

- modèles, portées, masselottes, évents, descentes, canaux, filtres
- plaques modèles
- boîtes à noyaux
- gabarits de remmoulage
- gabarits de contrôle.

Cette démarche permet aux ingénieurs des fonderies d'effectuer le chiffrage et l'industrialisation de leurs futures fabrications dans des domaines divers et variés. Les multiples échanges d'informations sont à l'origine de la formation d'équipes pluridisciplinaires sur les sites de conception CFAO.

Pour la fabrication en grande série, l'industrie automobile est une des industries qui consomme le plus de pièces en alliages ferreux et d'aluminium dans le monde, c'est pour cette raison qu'elle est souvent citée dans les fabrications de grande série.

L'objectif de cet enseignement est de faire prendre conscience aux apprentis des solutions industrielles qui sont applicables à la réalisation de pièces de grande série, en insistant sur leur complexité de mise en œuvre.

A la suite de cette présentation et avec l'aide des plans fournis, les étudiants devront étudier, argumenter et proposer d'autres solutions pour la réalisation de différentes pièces automobiles de fonderie.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Etude de moulage (Cf fiche 1A-602 et 2A-602)
- Masselottage et remplissage (Cf 1A-702)
- Filtration (Cf 2A-707)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Caractérisation – pérennité – conception – plans d'ensembles – plans de définitions – plans d'élaborations des bruts – surépaisseur d'usinage – de plans de joints – dépouilles articulées – modifications de tracé – analyse des formes - paramètres discriminant – découpes de noyaux - modèles – portées – les 3 règles de masselottage – événements – descentes – canaux – filtres – surépaisseur et dépouille d'auto-alimentation – plaques modèles – boîte à noyaux – gabarits de remmoulage – gabarits de contrôle – remmoulage – systèmes d'alimentation – refroidisseur - phénomènes métallurgiques et thermiques liés à la solidification-

Système de remplissage – Coulée – Echelonnement du système de coulée - Poteries réfractaires – fonctionnement d'un système d'attaque - sables et procédés de moulage – sables et procédés de noyautage – parachèvement – contrôle – conditionnement – matériels et machines associées- Exemple didactique de pièces industrielles

Grande série – automatisation – mécanisation – déperdition – productivité

Prix de revient de fabrication (PRF) – rentabilité – retour d'investissement

Qualité : AQI (assurance qualité interne) – AQF (assurance qualité fournisseur)

Fiabilité – rendement synthétique.

Key words

Pattern – Parting line – Sens of moulding – Machining allowance – Draft – Shrinkage– Core – core Print – Core box – Gating system – Feeding system – Moulding box...

Tools, pattern, mold, core, core box, running, pouring and gating devices, solidification, feeding and risering devices, heads (and risers), chills, molding sens study, Moulding sands and processees, Design, Metallurgical and thermal phenomenous due to the solification - Tapers, Shrinkage – Required machining allowances – Running systems and risersing systems – 3 rules of risering - Risers and feeders – equivalent plates - casting didactic examples

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Durant ces 3 années, la progression des sujets proposés en Etude de Moulage :

- Difficultés croissantes dans les formes et géométrie des pièces
- Prise en compte des moyens techniques de la fonderie
- Cahier de charges plus complet et détaillé
- Sensibilisation aux aspects économiques de la production : cadence, implantation, organisation des postes de travail...

Doit permettre à l'élève apprenti **d'ETRE CAPABLE DE :**

- Définir le sens de moulage le mieux adapté et le justifier en tenant compte de la facilité d'alimentation de la pièce, de la position des parties usinées, de la stabilité des noyaux, des points de référence, d'un remplissage calme, de la possibilité d'évacuer les gaz des noyaux...
- Représenter au plan, sur plusieurs vues, à partir de la définition de la pièce finie, le tracé de la pièce brute, en tenant compte des surépaisseurs d'usinage, la coupe du moule remmoulé comprenant le ou les joints de moulage, le découpage des noyaux avec les portées, les démontabilités du modèle...
- Calculer le poids de la pièce brute par décomposition de la forme en volumes élémentaires.
- Déterminer le procédé de moulage retenu compte tenu de la quantité de pièces à réaliser, des dimensions, des tolérances imposées... Préciser les types et la composition des sables mis en œuvre.
- Définir complètement les outillages, classes normalisées et nature des modèles et boîtes à noyaux, en fonction de la quantité de pièces à réaliser et de la durée d'utilisation, en indiquant le retrait linéaire à prévoir.
- Dessiner la boîte à noyau sur au moins deux vues, pour le noyau le plus complexe, en précisant les faces de remplissage, de raclage et de stockage, les joints de démontabilité de la boîte et l'ordre de déboitage des différentes parties ainsi que les accessoires nécessaires (armatures, plaques de tir...).
- Prévoir et schématiser les accessoires nécessaires tels que calibre de remmoulage, armature spéciale, système de manutention...
- Calculer complètement les systèmes de remplissage et d'alimentation, suivant la méthode enseignée, et les représenter et les coter sur le plan.
- Indiquer la composition exacte des matériaux qui devront constituer les moules et les noyaux.
- Proposer éventuellement l'alliage le mieux adapté aux conditions d'utilisation de la pièce, si celui-ci n'est pas imposé, en indiquant la composition chimique et les caractéristiques mécaniques.
- Critiquer la géométrie de la pièce et proposer des modifications de tracé pour faciliter les opérations de moulage sans nuire aux caractéristiques imposées.
- Proposer les contrôles adaptés pour garantir la qualité demandée.

Etudes de moulage "Sables"

PLAN DÉTAILLÉ

Etude à domicile correspondant à un travail personnel de 9 heures (Projet), suivi d'un corrigé de 3 heures réalisé en TD (*Jean-Louis PLACE*).

Etude 10 heures (Ev) suivie d'un oral avec 2 correcteurs (*JL PLACE et Claude BLAQUE*).

Etude de moulage finale de 10 heures (Ev) suivie d'un oral avec 3 correcteurs (*JL PLACE, C. BLAQUE et Serge ROOSE*).

Etude de fabrication en grande série "Alliages ferreux"

Olivier LUDWIG

CM 1 (3 h) Principes de base de la grande série automobile : définition, critères, choix des processus
Principe du moulage à joint vertical et règles et basiques du moulage à joint vertical : attaques de coulée, chenaux, descente de coulée, entonnoir de coulée, calcul de masselottes – Exercices pratiques.

Etude de fabrication DISA correspondant à un travail personnel de 9 heures (Projet), suivi d'une présentation orale devant la promotion (6h TD). :

TD 1 (6h) Au travers d'une étude de moulage « à joint vertical », les candidats en groupe de 2 à 3 personnes présentent leurs travaux à l'ensemble de la promo : proposer une solution industrielle réalisable, économique et respectant le cahier des charges.

Etude de fabrication en grande série "Alliages légers"

Damien MELLINA

CM 2 (3 h) Présentation des spécificités du fonctionnement d'une fonderie d'alliages légers fabriquant des pièces de grande série (PMP, lost foam, grande série/culasse, etc.)

BIBLIOGRAPHIE

-Mémento de technologie de moulage (moules non permanents) Marcel DUDOUET-Syndicat Général des Fondeurs de France.

-Initiation à l'Etude de Moulage-Cours à l'ESFF de François MOLLET

-Masselottage et remplissage des pièces moulées en sable-Cours à l'ESFF de Gilbert BELLANGER

-Etude de moulage en joint vertical d'O. LUDWIG

-Norme NF EN 12890 : modèles, outillages et boîtes à noyaux pour la production des moules et noyaux en sable.

-Norme NF EN ISO 8062 : tolérances dimensionnelles et géométriques générales et surépaisseurs d'usinage pour les pièces moulées.

BELLANGER (G) – *Le masselottage des pièces moulées en sable* – Ecole Supérieure de Fonderie et de Forge (E.S.F.F) – Cours, 100 pages, version septembre 2012.

BELLANGER (G) - *Rétention des crasses et filtration des pièces moulées en sable* – Ecole Supérieure de Fonderie et de Forge (E.S.F.F) – Cours, version septembre 2012, 87 pages.

BELLANGER (G) – *Systèmes de remplissage des empreintes de moules en sable* – Ecole Supérieure de Fonderie et de Forge (E.S.F.F) – Cours, version septembre 2012, 78 pages.

BELLANGER (G) – *Remplissage des pièces moulées en sable – Filtration en moule* – les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages - Volume M3, mémoire n° 3567, septembre 2007, p. 1-20.

BELLANGER (G) – *Fonderie d'acier – Coulée des grosses pièces* - Les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages - Volume M3 - mémoire M 631, décembre 2008, p 1- 17.

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) - *Le remplissage des empreintes de moules en sable* - Editions Techniques des Industries de la Fonderie [E.T.I.F.] 1984, 76 pages, 2 tabl., 27 pl., 54 fig., 36 réf.

BELLANGER (G) – Remplissage des pièces moulées en sable – Notions fondamentales - Les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages - Volume M3 - mémoire M 565, juin 2006, p 1- 20.

BELLANGER (G) – Remplissage des pièces moulées en sable – Système d'attaque - Les Techniques de l'Ingénieur – Métallurgie, Métaux, Alliages - Volume M3 - mémoire M 566, septembre 2006, p 1- 24.

BELLANGER (G) : « Conception et tracé des pièces en acier moulé – guide pratique » Editions Techniques des Industries de la Fonderie (E.T.I.F); octobre 2003 ; 450 illustrations et tableaux + CD Rom.

BELLANGER (G) : « Conception et tracé des pièces moulées en fonte – guide pratique » Editions Techniques des Industries de la Fonderie (E.T.I.F); 2010.

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *La filtration des alliages non ferreux par les systèmes d'attaque : une étude par analogie hydraulique* – Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 70, décembre 1987, p 27-40, 3 tabl, 18 fig, 34 réf. Communication présentée aux 50^{ème} Journées d'Etudes de la fonderie et Congrès national ATF, Le Touquet, 3, 4 et 5 juin 1987, et conférence présentée à la tribune de l'ATF, Paris le 14 janvier 1988, et *Filtration of non ferrous alloys in gating system : an investigation using a hydraulic analogy* – Cast Metals, vol 2, n° 1, 1989, p 23-33.

POYET (P), VIGNOUD (E), DEVAUX (H) et BELLANGER (G) – *Utilisation de filtres en mousse de céramique pour la production de pièces en fonderie d'acier (1^{ère} partie)* - Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 104, avril 1991, p 14-24, 5 tabl, 17 fig.

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *La filtration en moule des alliages non ferreux. Applications aux alliages légers et aux cupro-aluminums* – Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 74, avril 1988, p 14-23, 4 tabl, 17 fig, 16 réf.

POYET (P), VIGNOUD (E), DEVAUX (H) et BELLANGER (G) – *Utilisation de filtres en mousse de céramique pour la production de pièces en fonderie d'acier (2^{ème} partie)* - Fonderie fondeur d'Aujourd'hui n° 105, mai 1991, p 14-31, 6 tabl, 33 fig., 18 réf. Communication présentée aux 51^{ème} journées d'études de la fonderie à Vichy, 6, 7 et 8 juin 1990, mémoire n° 20 et affichage par poster au Colloque National matériaux, Sciences et Industries, 9, 10 et 11 janvier 1989. Cité des Sciences et de l'industrie de La Villette (Paris).

BELLANGER (G) et DEVAUX (H) – *La dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement* - Communication présentée à la tribune de l'A.T.F. Paris, le 15 octobre 1985. Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 56, juin-juillet 1986, p. 29-41, 9 tabl., 15 fig., 23 réf.

POYET (P), ELSER (F) et BOLLINGER (E) – *Etude des phénomènes de dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement* – Compte-rendu de fin d'étude DGRST – MIR contrat n° 81 P 0679, février 1984, 46 pages (disponible à la bibliothèque de C.T.I.F.).

DEVAUX (H) et BELLANGER (G) - *Etude des phénomènes de dégradation des matériaux de moulage au contact de l'acier liquide en mouvement* – Compte-rendu de fin d'étude DGRST – MIR contrat n° 81 P 0680, mai 1984, 39 pages (disponible à la bibliothèque de C.T.I.F.).

BELLANGER (G) – *La filtration en moule des alliages non-ferreux et de l'acier ; Caractérisation de l'efficacité ; recommandations pratiques* – Nov 1992, tome 1 : 138 p., 22 tabl., 39 fig., 108 réf ; et tome 2 (annexes) : 118 p., mémoire d'ingénieur Diplômé par l'Etat (à la bibliothèque du CTIF).

BELLANGER (G), LAVILLE (C) et LEFLOCH (R) - *Filtration des aciers non alliés : étude expérimentale* - Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 206, juillet 2001, p. 26-43, 6 tabl., 19 fig., 29 réf.

BELLANGER (G), MANGIN (D), ALAIN (J.P) et LAVILLE (C) - *Filtration des aciers non alliés : Validation industrielle* - Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 207, août 2001, p. 16-30, 3 tabl., 18 fig., 2 annexes, 14 réf.

DEVAUX (H), JACOB (S) et RICHARD (M) – *Amélioration de la qualité des pièces moulées en alliages cuivreux et en alliages d'aluminium par la filtration* – Fonderie-Fondeur d'Aujourd'hui n° 84, avril 1989, p 43-53, 4 tabl., 20 fig., 10 réf. Et 8^{ème} Colloque européen de fonderie des métaux non-ferreux du CAEF, 23 septembre 1988, Paris, 33 p.

REYNAUD (A) – *La filtration des fontes à graphite sphéroïdal* – Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 75, mai 1988, p 30.

REYNAUD (A) et PARENT-SIMONIN (S) – *La filtration des fontes à graphite sphéroïdal* – Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 80, décembre 1988, p 17-30, 9 tabl., 10 fig., 4 annexes.

POYET (P), VIGNOUD (E), DEVAUX (H) et BELLANGER (G) et SIMMONS (W) – *Use of ceramic foam filters for steel castings production* – Commission of the european Communities – DG XII – G1 – cost 504, Round II. Rapport final (projet F1 – Groupe 2). Août 1990, 71 p, 6 tabl., 51 fig., 18 réf.

Masselottage en moulage sable – Editions Techniques des Industries de la Fonderie (ETIF), 176 pages (1994).

BELLANGER (G) et FORVEILLE (M) – *La filtration de l'acier moulé, caractérisation de l'efficacité, recommandations pratiques* – Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 130, décembre 1993, p 18-27, 6 réf. Communication présentée au 60^{ème} Congrès Mondial de Fonderie CIATF – 26 sep-1^{er} octobre 1993. La Haye (Pays Bas) et Conférence présentée à la tribune de l'ATF, Paris 9 décembre 1993.

BELLANGER (G) et FORVEILLE (M) – *Applications de la filtration aux aciers moulés* - Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 133, mars 1994, p 12-16, 7 réf.

BELLANGER (G), LEJEUNE (J. Y) et DEGOUGES (M) – *Application de la filtration en moule à un cylindre porte-clichés en AS7G* – Fonderie Fondeur d'Aujourd'hui n° 88, oct.1989, p 16-19, 2 tabl., 9 fig., 7 réf.

Manuel du réglage en fonderie sous pression – Syndicat Général des Fondeurs de France.

Fonderie sous pression – Conception et réalisation des outillages, par Yves HEMON (avec appui de MM J. DESPEYROUX et A. VALETTE) – Editions techniques des Industries de la Fonderie.

Optimiser la conception d'un moule en Fonderie Sous Pression par MM Jean DE RUFFRAY CTIF et Alain VALETTE ESFF – document A3F.



3A cpm 603

Conception d'outillages et de pièces forgées (études de forgeage)

Intervenant : Jean-Marie RISSER

CM : 9 h
TD : 9 h
TP :
Projet :
Evaluation : cc

OBJECTIFS

L'objectif de ce cours et des T.P. est de donner les bases de conception pour un produit forgé à froid et de définir le chemin de déformation optimum.

Expliciter les différentes règles régissant la déformation à froid et comprendre les mécanismes afin de pouvoir les appliquer à bon escient.

Etudier les principales opérations de déformations à froid :

- Filage :
- Le filage direct, contenu, inverse, combiné
 - Les Règles, les limites et la mise en œuvre
 - Les défauts pouvant en découler

- Refoulement :
- Les Règles, les limites et la mise en œuvre
 - Les défauts pouvant en découler

Opérations complémentaires : Débouchage, découpage, tréfilage, dudgeonnage

Règles pratiques de conception d'un diagramme : Exemples de diagrammes à froid

Préparation des lopins à la déformation à froid

- Préparation métallurgique
- Préparation de surface
- Traitements après forgeage

Conception de l'outillage de forgeage à froid

- Le fretage des outillages
- Les nuances utilisées
- Le design des principaux outils

Etudier les principales opérations de déformations à mi-chaud (comparaison avec forge à froid)

Filage - Refoulement

Opérations complémentaires : Débouchage, découpage, tréfilage, dudgeonnage

Règles pratiques de conception d'un diagramme à mi-chaud

- Exemples de diagrammes à mi-chaud

Conception de l'outillage de forgeage à mi-chaud

- Les nuances utilisées
- Le design des principaux outils

Préparation des lopins à la déformation à froid

- Préparation métallurgique
- Préparation de surface
- Traitements après forgeage

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Maitriser la conception mécanique (CAO et lecture de plan)
Avoir des bases de fabrication mécaniques pour la conception des outillages
Connaissance dans la métallurgie des aciers et des traitements thermiques.
Distinguer et définir les différentes techniques de forge
Maitriser les logiciels de simulation de forgeage par éléments finis

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Extrusion – diagramme de déformation – filage, filage avant – filage inverse – filage direct -
refoulement – écrouissage – fretage – phosphatation – lopin – cisailage – sciage – traitement de
globulisation – recuit isotherme – chevrons - criques d'écrouissage – fissures – replis – matrice –
filière – poinçon – éjecteur - frette – découpe – débouchage – tréfilage – dudgeonnage.

Key words

Extrusion, coating ,slug ,shearing ,saying, spherodising annealing, isothermal annealing,

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Reconnaître une pièce de forge à froid
- Définir le diagramme de déformation (dans ses grandes lignes)
- Eviter les pièges de conception lors de l'élaboration du diagramme
- Faire une analyse critique d'un plan de pièce client
- Ebaucher la géométrie des outillages
- Donner les avantages de la forge à froid par rapport aux autres technologies
- Ebaucher une gamme de procédé
- Appréhender les avantages économiques de cette technique

Conception d'outillages et de pièces forgées

PLAN DÉTAILLÉ

Jean-Marie RISSER

CM 1 (3 h) Forge à froid et à mi-chaud des aciers

CM 2 (3 h) Règles de conception pour études de forge

2 études de cas pilotées comprenant chacune un travail encadré de 3 heures réalisé en TD suivi d'un exercice de 2 heures (TD) et d'un corrigé de 1 heure (TD)

BIBLIOGRAPHIE

-

 3A cpm 604	De la création à l'industrialisation Intervenant : Jean-François BLANC	CM : 3 h TD : 3 h TP : Evaluation : -
--	--	--

OBJECTIFS

- Donner des clés aux étudiants ingénieurs pour comprendre certains processus de la création
- Les préparer à collaborer avec un designer

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Un minimum de connaissance des processus industriels de fabrication. Une sensibilité à la modélisation 3D de géométries de formes complexes.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Design, esthétique, fonctionnalité, usage, ergonomie, humanisme, minimalisme, organisation, hiérarchisation, géométrie, bio-morphisme.

Key words

Design, aesthetics, functionality, usage, ergonomics, humanism, minimalism, organization, hierarchy, geometry, bio-morphism.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Être capable de :

Observer un objet et y déceler des qualités visuelles, esthétiques

Décrire un objet, des formes en termes de géométrie, fonctionnalités, esthétique, texture, couleur

Établir un dialogue constructif avec un designer, une équipe créative, un artiste.

De la création à l'industrialisation

Jean-François BLANC

PLAN DÉTAILLÉ

CM (3 h)	1 Présentation Présentation et résumé du parcours professionnel du designer Présentation individuelle des étudiants Présentation de réalisations : exemples de travaux en agence de design 2 Définition Définition du mot « design » Les différentes catégories de design 3 Historique Brève histoire du design 4 Le processus Présentation du déroulement d'un projet de design, des étapes principales avec quelques exemples 5 Esthétique Qu'est-ce que le beau ? Qu'est ce qui fait qu'une forme, une géométrie, un geste, une simple courbe est belle ? Quelques pistes
TD (3 h)	Présentation d'une ébauche de catégories /familles de formes à partir d'objets dessinés par des designers 1 Exercice d'observation et de dessin Les étudiants observent un objet qui leur est fourni et doivent relever les détails qui en font son intérêt esthétique, ce qui le rend tout simplement beau. 2 Travail sur un cas : Un projet de perceuse par des étudiants en design de troisième année. Comment rendre « fabriquable » cet objet ? Quelles questions poser, quelles remarques faire, comment établir un dialogue constructif avec le créateur, le sensibiliser aux difficultés de fabrication, aux impossibilités, et trouver des solutions tout en conservant au mieux les intentions créatives du designer.

BIBLIOGRAPHIE

- « Histoire du design de 1940 à nos jours » de Raymond Guidot chez Hazan
- « Design de A à Z » de Charlotte Fiell, Peter Fiell, chez Taschen
- « 100 ans de design » de Penny Sparke chez Octopus
- « La Laideur se vend mal » de Raymond Loewy chez Galimard
- « Court traité du design » de Stéphane Vial aux P.U.F.
- « Design : le geste et le compas » de Jocelyn de Noblet
- « Géométrie du Design » de Kimberly Elam chez Eyrolles
- « Les formes dans la nature » de Peter S. Stevens

 3A gdp 703	Elaboration de la fonte au cubilot Intervenants : Jean-Bernard GUILLOT	CM : 9 h TD : 3 h TP : ESI : 3 h Evaluation : 2 h
---	---	---

OBJECTIFS

La fonte reste aujourd'hui le principal alliage de fonderie, utilisé pour des applications multiples telles que par exemple l'automobile (blocs moteurs, freinage...), les adductions d'eau (tuyaux centrifugés...), le chauffage, etc.

Pour ces applications, concernant en général la grande série, le cubilot qui peut être considéré comme un véritable réacteur métallurgique est de loin le premier instrument de fusion de la fonte. Il connaît par ailleurs d'autres développements aujourd'hui tels que la fabrication de laine de roche et certaines applications en sidérurgie.

L'objectif du cours est multiple :

- Il vise à donner les principes généraux d'analyse du fonctionnement des réacteurs et de les appliquer aux réacteurs à contre-courant gaz-solide en prenant l'exemple du cubilot.
- Appréhender les différents paramètres qui influencent la marche d'un cubilot et celui de ses périphériques (système de traitement de fumées) afin d'être capable de maîtriser ce moyen de fusion sur un plan thermique, métallurgique et environnemental.

De manière générale, après ce cours, l'étudiant doit être capable d'obtenir la meilleure fonte au meilleur coût, en respectant la législation environnementale. Ceci implique qu'il doit parvenir à réaliser un bilan matière et un bilan thermique de son four de fusion de la fonte.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Thermodynamique : Loi des gaz parfaits, premier et deuxième principe.

Métallurgie chimique: Diagrammes d'équilibre, métallurgie des fontes.

Transfert de la chaleur (surtout convection et échangeurs thermiques)

Statistiques, plans d'expérience.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Réacteur métallurgique – Gazogène – Cubilot – Bilan des matières – Bilan thermique – Fonte – Coke – Fusion – Laitier – Tuyère – Laine de roche.

Key words

Metallurgical reactor – Gas producer – Cupola – Mass balance – Thermal balance – Cast Iron – Coke – Melting– Slag – Tuyere – Rockwool

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de (sur la partie élaboration) :

- Comprendre les réactions de combustion et la réaction de Boudouard
- Comprendre les différentes zones dans le cubilot et leur influence sur la fusion, le débit et la composition chimique de la fonte
- Calculer le débit de vent nécessaire pour brûler le coke et obtenir le débit de fonte demandé par le chantier.
- Utiliser un diagramme réticulaire, comprendre les liens entre taux de coke, débit de vent soufflé, température du vent et enrichissement en oxygène
- Choisir le taux d'enrichissement en oxygène du vent soufflé aux tuyères pour obtenir "la meilleure fonte au meilleur coût"
- Se rendre compte qu'il y a des fuites dans le système de vent du cubilot ou dans le système de traitement des fumées, estimer l'ampleur des fuites et choisir les actes de correction optimaux (en fonction du budget ou/et de l'efficacité énergétique ou d'épuration)
- Vérifier la qualité des analyses des fumées effectuées par ses instruments ou par ceux d'organismes de contrôle
- Connaître les différentes propriétés des cokes de fonderie et choisir le meilleur coke pour son procédé industriel
- Décider de changer une partie du coke par un combustible de substitution (gaz, pétrole, coke sidérurgique, déchets)
- Modifier l'installation pour utiliser correctement tous les combustibles chargés
- Comprendre l'influence de l'enrichissement en oxygène sur la composition chimique de la fonte, et optimiser le taux d'enrichissement pour obtenir le meilleur coût de fonte.
- Comprendre les réactions métallurgiques se passant dans le cubilot et calculer la recarburation, les pertes au feu en silicium et en manganèse. Choisir l'ajout métallique ayant le meilleur rendement
- Optimiser les paramètres opératoires du cubilot ainsi que les ajouts métalliques les uns en fonction des autres
- Fournir au chantier une fonte correctement désulfurée grâce au choix des matières premières, à l'utilisation du laitier, à l'utilisation de moyens complémentaires
- Choisir le réfractaire en fonction de la géométrie du four et du type de fonte produite
- Traiter les fumées de manière à respecter la législation environnementale
- Recycler des vieilles ferrailles et différents types de déchets pour produire de la bonne fonte en respectant l'environnement
- D'une manière générale, être capable de comparer deux marches de cubilot à l'aide des outils vus dans la partie théorique (bilans, diagrammes)
- Elaborer des plans d'essais relatifs à la modification d'un ou plusieurs paramètres de marche d'un cubilot, les organiser, les suivre.

Elaboration de la fonte au cubilot
Réacteurs métallurgique : Application au cubilot

PLAN DÉTAILLÉ

Jean-Bernard GUILLOT

CM 1 (2 h)	Le gazogène – Bilan des matières – Bilan thermique – Profils thermiques
TD 1 (1 h)	Exercice : Température de flamme

CM 2 (2 h)	Du gazogène au cubilot – Diagramme de Reichardt – Pincement thermique – Cinétique des échanges thermiques
TD 2 (1 h)	Exercices

CM 3 (2 h)	Les réactions chimiques dans le cubilot – Diagramme de Rist – Influence de divers paramètres sur la marche du cubilot La modélisation du cubilot – Conduite assistée par ordinateur
TD 3 (1 h)	Exercices

Enseignements sur Site Industriel

E.J. Saint Crépin : Poste de fusion, traitement de la fonte et chantier de moulage (3h + 3h TD avec Vincent DEGENNE, directeur Usine EJ)

Description du cubilot à vent chaud à navette d'E. J. St Crépin et analyse de son fonctionnement, conduite du cubilot en fonction des demandes du chantier, nécessité de l'interaction entre le cubilot et le chantier de coulée

Cet enseignement sur site permet aux élèves de voir le fonctionnement d'un cubilot à la pointe des techniques industrielles, de poser des questions pratiques aux opérateurs, aux chefs d'équipes et aux ingénieurs de production.

Les élèves sont amenés à rendre compte de leur visite en 3 groupes lors du deuxième cours : 1) caractéristiques du cubilot, réfractaires, campagnes 2) traitement des fumées 3) Métallurgie, conduite

BIBLIOGRAPHIE

Fusion de la fonte au cubilot. Aspects technico-économiques ; Louis Chazé, René Sanz ; Techniques de l'ingénieur ; 1997

Représentation graphique combinée des bilans de matières et d'énergie du haut fourneau ; André Rist, Nicolas Meysson ; Journal of Metals, avril 1967

Injection in the Iron Blast Furnace : A graphic Study by Means of the Rist Operating Diagram ; D.M. Kundrat, T. Miwa, A.Rist ; Met.Trans.B; 22B ; juin 1991

Le Cubilot, Gilles Tihon, Editions Techniques des industries de la Fonderie, 2012

 2A gdp 706	Moulage sous pression d'alliages non ferreux Intervenant : Antoine NUNES	CM : 9 h TD : 3 h PROJET : 9 h ESI : 6 h Evaluation : EM
--	---	--

OBJECTIFS

Le procédé de fonderie sous pression a comme particularité d'être une coulée forcée par injection dans un moule métallique permanent (généralement en acier). On peut donc obtenir à partir d'un même moule une quantité importante de pièces identiques, ce qui correspond aux critères des fabrications grandes séries, du domaine des transports ou de l'électroménager par exemple.

Par définition, ce moule permanent et rigide, nécessite de prévoir son ouverture (et sa fermeture), de façon à en extraire la grappe, après chaque injection, selon des directions de démoulage organisées préalablement, par construction mécanique. Ces directions de démoulage, sont en contact les unes avec les autres, selon des plans de fermeture et définissent un espace fermé.

Outre la connaissance des contraintes technico-économiques, l'objectif de ce cours est d'étudier les différentes connections entre le concept du moule sous pression (qui est une véritable machine), la machine à mouler utilisée pour sa mise en œuvre et la performance industrielle qui en est la résultante.

Organisé autour de l'industrialisation d'un produit de grande série automobile, le cours montre comment interviennent dans le processus les différentes associations entre le moule et sa machine, telles que, la dimension des carcasses et parties moulantes, les liaisons électriques, ou le programme séquentiel de fonctionnement. Enfin un bilan est effectué au travers de l'évaluation du module sous la forme d'un dessin coté des vues en plan et en coupe du moule.

Les caractéristiques technico-économiques du moulage sous pression, ses évolutions récentes et la diversité des alliages mis en œuvre font que ce procédé est largement utilisé pour l'obtention de pièces de fonderie. Par exemple, l'industrie automobile, par souci constant d'allègement des véhicules, est forte utilisatrice de pièces moulées sous pression en alliages légers et ultra légers.

Outre la connaissance des intérêts et contraintes technico-économiques, l'objectif de ce cours est d'une part d'étudier les différentes composantes techniques du processus, et d'autre part de préciser les règles qui régissent les équilibres fondamentaux en moulage sous pression, afin d'apporter aux étudiants l'éclairage « métier ». Cette mise en situation nécessairement préalable à leur intégration industrielle correspond autant aux applications opérationnelles dans le domaine précité, qu'à la connaissance du marché concurrent pour les autres procédés.

Organisé autour de l'industrialisation d'un produit de grande série automobile, le cours montre comment interviennent dans le processus les différentes notions scientifiques étudiées par ailleurs ainsi que leurs effets et interactions sur la qualité du produit moulé. Le paramétrage du processus est également étudié pour ce qui concerne la définition des lois de coulée spécifiques ainsi que les particularités métallurgiques liées au moulage sous pression. Enfin un bilan est effectué au travers de l'évaluation du module pour mettre en place les attentes et contraintes du procédé sous pression, tant sur le plan technique qu'économique.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Le procédé de moulage sous pression : intérêt et concept – Paramètres influents : Equilibre thermique, pression spécifique, vitesse d'injection et poteyage – Le moule: mécanismes, composants, réalisation, réglages, durée de vie – Evolutions technologiques : squeeze casting, SSM, vacural, full sleeve, jet cooling – ESI : Fonderie & Mécanique Renault Cléon.

Le procédé de moulage sous pression : intérêt et concept – Paramètres influents :, pression spécifique, vitesse d'injection– Le moule: mécanismes, composants, réalisation, réglages, durée de vie – Evolutions technologiques : squeeze casting, SSM, vacural, full sleeve, jet cooling.

Key words

High pressure die casting process: Interest and concept –Influential parameters: thermal balance, specific pressure, injection speed and spray deposition – Die: Technical devices, components, building, adjustment, life length – Technical development: Squeeze casting, SSM, vacural, full sleeve, jet cooling – ESI: Casting & Mécanical Renault Cléon plant.

High pressure die casting process: Interest and concept –Influential parameters, specific pressure, injection speed – Die: Technical devices, components, building, adjustment, life length – Technical development: Squeeze casting, SSM, vacural, full sleeve, jet cooling

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Décrire le principe du moulage sous pression et ses évolutions.
- Justifier les intérêts de cette technologie de moulage.
- Reconnaître une pièce moulée sous pression.
- Citer les métallurgies appropriées à ce type de moulage.
- Repérer la faisabilité d'une pièce en technologie sous pression.
- Citer les composants d'un centre de moulage et expliquer leur rôle.
- Paramétrer un groupe d'injection, pour en définir la loi de coulée propre à chaque type de pièce (courses, pressions, vitesses)
- Fixer les conditions de moulage d'une pièce (temps de cycle, poteyage, parachèvement ...)
- Choisir le sens de moulage d'une pièce, en fonction des meilleurs critères technico-économiques.
- Mettre en application les outils de calcul simulation (remplissage & thermique) pour étayer les choix techniques.
- Construire le dispositif de coulée (chenal, tirages d'air, talons de lavage, squeeze pins).
- Calculer la surface projetée de la pièce et de sa grappe (pièce avec son dispositif de coulée).

- Choisir une pression spécifique en fonction des caractéristiques "produit" recherchées.
- Mettre en relation directe la surface projetée de la grappe, la pression spécifique et la classe de la machine à mouler (force de fermeture : $F = P \times S$).
- Dimensionner le moule d'une pièce, en fonction de la machine choisie.
- Formaliser l'implantation d'un site (avec éventuellement plusieurs centres) de moulage sous pression, avec les investissements associés, pour réaliser un programme de fabrication.
- Faire la relation de cause à effet des améliorations qualité inhérentes au paramétrage des installations.
- Proposer un prix de prestation (coûts matière, valeur de transformation, coûts des outillages, investissements) pour un programme à réaliser.

Le procédé de fonderie sous pression, être capable de :

- Réaliser l'étude dimensionnée d'un moule de fonderie sous pression, à partir d'un plan de pièce brute.
- Choisir le sens de moulage de la pièce (par rapport au plan de joint délimitant la partie fixe de la partie mobile du moule), en fonction des meilleurs critères technico-économiques.
- Organiser les directions de déplacements des parties moulantes, pour permettre le démoulage de la grappe.
- Délimiter les différents plans de fermeture de chacune des parties moulantes (empreinte fixe, empreinte mobile et tiroirs), en tenant compte des opérations de parachèvement complémentaires au moulage.
- Envisager l'application des outils de calcul de simulation (remplissage & thermique) pour étayer les choix techniques.
- Imaginer le concept du dispositif de coulée (jet de coulée, chenal, tirages d'air, talons de lavage, squeeze pins), pour obtenir une pièce conforme au cahier des charges client.
- Calculer la surface projetée de la pièce et de sa grappe (pièce avec son dispositif de coulée).
- Appliquer la pression spécifique utile, en fonction, des caractéristiques de produit recherchées.
- Appliquer la relation directe entre la surface projetée de la grappe, la pression spécifique choisie et la classe de la machine à mouler disponible (force de fermeture : $F = P \times S$).
- Définir l'architecture globale du moule (matrices, empreintes, centrages partie fixe / partie mobile, positionnement des tiroirs / empreintes, broches de moulage des avant-trous bruts de fonderie, système d'éjection, système de thermorégulation)
- Déterminer les jeux de fermeture de chacun des éléments moulants.
- Dimensionner précisément chacun des éléments constitutifs du moule de la pièce, en fonction de la machine choisie (la taille des carcasses et empreintes est en relation directe avec la classe machine à mouler).
- Dessiner le montage d'une broche fixe et le montage d'un éjecteur.
- Etablir les liaisons nécessaires entre le moule et la machine à mouler (fixations sur les plateaux, accouplement de l'éjection, contrôles de positions des tiroirs et de l'éjection, alimentation en fluide hydraulique, circuits de thermorégulation).

- Formaliser le programme séquentiel de fonctionnement du moule (ordre des opérations et des mouvements).

Moulage sous pression d'alliages non ferreux

PLAN DÉTAILLÉ

Antoine NUNES

CM 1 (3 h)	Le procédé - Présentation – avantages – contraintes – attentes - Industrialiser une pièce – les étapes - Les machines – caractères – l'injection – force de fermeture
------------	---

CM 2 (3 h)	Les paramètres - La qualité des produits – liaison produit/processus – la mise au point – les défauts et la métallurgie – maîtrise dimensionnelle - Les équilibres – le poteyage – la thermique - L'injection – le système de coulée – calcul et simulation de l'injection – le remplissage du moule – la densification – - Exercice / calcul des paramètres d'injection.
------------	--

CM 3 (3 h)	Les outillages - Conception d'un moule – les études- les fonctions - L'architecture – la nomenclature – les matériaux – le changement de fabrication – réalisation des parties moulantes – assemblage du moule – la mise au point – durée de vie
------------	---

TD (3 h)	Autres alliages - Cupro-aluminium – moulage sous pression – particularités – caractéristiques - Magnésium – moulage sous pression – particularités – caractéristiques Les évolutions : Squeeze casting direct – squeeze casting indirect – semi solide métal – vacural – full sleeve – alliages ductiles – lubrification solide – poteyage poudre – poteyage atomisé – injection verticale – jet cooling.
----------	--

1 Etude à domicile correspondant à un travail de rédaction individuel. Le temps à y consacrer est de 9 heures (projet). Un corrigé est commenté au cours de la journée d'enseignement sur site industriel. Les élèves ont un mois pour remettre un travail dans lequel il leur est demandé :

- de choisir un sens de moulage
- de réaliser l'étude de moulage (choix des parties fixe et mobile et tiroirs)
- de définir la classe de la machine à mouler (force de fermeture)
- d'étudier le système de coulée (chenal, attaques, tirages d'air)
- de définir (selon un programme à couler) et d'implanter les équipements industriels
- de chiffrer la partie économique pour fournir un prix de vente réaliste

Etude pilotée correspondant à un travail piloté ou encadré de 3 heures (TD), suivi d'un corrigé de 3 heures réalisé en TD.

Enseignements sur Site Industriel

Fonderie et atelier de mécanique RENAULT Cléon

Présentation générale et visite du site (3 h en fonderie et 3 h en mécanique par demi-groupe).

TD (6 h) Consignes et équipements de sécurité – Formation au poste – Commentaires sur une machine de série industrielle (par demi groupe) – Réglages des paramètres de la machine – Suivi de la gamme de fabrication d'un carter (de la fusion à la livraison, puis de l'usinage à l'assemblage de l'organe).

BIBLIOGRAPHIE

Manuel du régleur en fonderie sous pression – Syndicat Général des Fondeurs de France

Le traitement thermique des aciers de construction et des aciers à outils – par la société Suisse des traitements thermiques – Editeur MICROTECNIC 1001 Lausanne

Fonderie sous pression – Conception et réalisation des outillages, par Yves HEMON (avec appui de MM J. DESPEYROUX et A.VALETTE) – Editions techniques des Industries de la Fonderie

Précis de Fonderie – AFNOR – Par MM G.FACY et M.POMPIDOU, Professeurs ENSAM

Optimiser la conception d'un moule en Fonderie Sous Pression par MM Jean DE RUFFRAY CTIF et Alain VALETTE ESFF – document A3F

 3A gdp 708	Forgeage libre des lingots Intervenant : Frédéric PERDRISSET	CM 2 h TD PROJET ESI Evaluation : -
--	--	---

OBJECTIFS

Rappels de métallurgie des aciers et de leurs moyens de caractérisation.

Comprendre les modes d'élaboration et de réalisation des pièces en acier de grand volume.

Influences des traitements thermiques.

Comprendre les modalités de traitement sur des pièces massives (>75t) en acier et les propriétés requises.

- Cas des aciers inox

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Métallurgie des aciers (2A sdm 504)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Moulage grosse pièce acier, lingots, ségrégation, forgeage de pièces de grande dimension, CND

Key words

Casting large steel part, ingots, segregation, forging large parts, CND

COMPÉTENCES ACQUISES

Être capable de définir les modes de forgeage des pièces de grande dimension.

Comprendre les phénomènes induits dans le moulage, la solidification et les transformations structurales des pièces de grande taille en acier.

Forgeage libre des Lingots

Frédéric PERDRISSET

PLAN DÉTAILLÉ

CM (2 h)	Rappels de métallurgies Rappels de modes de caractérisation des pièces en acier Présentation des procédés de moulage des pièces en acier de grande taille et des spécificités techniques Présentation des procédés de forgeage des pièces de grande taille Identification des défauts induits par les techniques employés et modes de contrôle
----------	--

BIBLIOGRAPHIE

 3A gdp 711	Le soudage et ses applications Intervenant : Laurent CARBONELL – Philippe ROGUIN	CM : 6 h TD : TP : 6 h Evaluation : cc
---	--	--

OBJECTIFS

Lister les principaux procédés de soudage utilisés en fabrication et en réparation, les principaux paramètres de réglage et limite d'application des procédés :

- Soudage Oxyacétylénique
- Soudage à l'arc avec électrode enrobée
- Soudage TIG
- Soudage MIG/MAG
- Soudage sous flux en poudre
- Approche des procédés spéciaux

Connaître les principales conséquences du soudage et les principaux paramètres d'action :

- Paramètres de réglage et énergie linéaire de soudage
- Facteurs thermiques de l'opération de soudage, influence de la pièce
- Influences métallurgiques

Connaître les principaux risques de l'opération de soudage.

- Défauts liés à la soudabilité opératoire, précautions à prendre
- Défauts liés à la soudabilité métallurgique, approche des contraintes et déformations, précautions à prendre

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Procédés de soudage, limites d'applications en fabrication, réparation - Conséquences du soudage : thermique, métallurgique, mécanique - Précautions à prendre – Soudabilité.

Key words

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Lister les principaux procédés de soudage et approcher leur domaine d'application, épaisseur, matériaux, approche des facteurs économiques.
- Lister les paramètres de soudage - procédé et pièce – et les facteurs d'influence.
- Lister les principaux défauts d'origine opératoire ou métallurgique ;
- Approcher les précautions à prendre.

.../...

Le soudage et ses applications

Laurent CARBONELL

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) Présentation des procédés de soudage et limite d'application en fabrication et en réparation.

Soudage oxyacétylénique, à l'arc avec électrode enrobée, TIG, MIG-MAG, à l'arc sous flux en poudre, à l'arc de goujon, par aluminothermie, vertical sous laitier avec fils, vertical sous laitier avec guide fil fusible, en moule sous gaz de protection ("soudage électro gaz"), au plasma, par faisceau d'électron, par faisceau laser, par point, à la molette, par bossage, en bout par résistance pur, en bout par étincelage, par induction, par friction, par ultrasons, par diffusion, par explosion

Brassage

CM 2 (3 h) Principales conséquences du soudage et principaux paramètres d'action :

Paramètres de réglage et énergie linéaire de soudage.

Facteur thermiques de l'opération de soudage, influence de la pièce.

Influences métallurgiques.

Principaux risques de l'opération de soudage :

Défauts liés à la soudabilité opératoire, précautions à prendre.

Défauts liés à la soudabilité métallurgique, approche des contraintes et déformations, précautions à prendre.

TP à l'Institut de Soudure de Villepinte

Philippe ROGUIN et Laurent CARBONELL

TP (6 h) Découvrir dans les ateliers de l'IS et les différents procédés de soudage : TIG, Arc avec électrodes enrobées (AEE) et Oxyacétylénique (OA).

Explication en salle de métallographie d'un ensemble d'échantillons de soudure par tous les procédés.

BIBLIOGRAPHIE

Base de métallurgie du soudage d'Henry GRANGEON.

Soudage à l'Arc tome 1 à 4 de Bertrand LE BOURGEOIS.

 3A gdp 712	Fusion des métaux et alliages Intervenants : Olivier MOUQUET et Damien MELLINA	CM : 18 h TD : 6 h TP : ESI : 9 h Evaluation : 2 h
--	---	---

OBJECTIFS

Depuis plus d'une vingtaine d'années, on assiste à un très grand développement de la fusion électrique principalement pour la fusion de la fonte et de l'aluminium. Actuellement on installe dans le monde plus de fours électriques que d'appareils de fusion à gaz, fuel et coke.

L'objectif de ce cours est de présenter les principaux fours, électriques et ou à gaz, utilisés pour la deuxième fusion et le maintien en température des métaux et alliages.

La connaissance technologique de ces fours et les principes de base de leur fonctionnement devraient permettre aux étudiants d'en maîtriser l'utilisation lors de leur activité professionnelle future.

L'approche comparative de ces appareils devrait les aider à établir un cahier des charges pour déterminer le choix de l'équipement le mieux adapté en fonction des critères qualitatifs des pièces de fonderie.

Ce cours a également pour but de diriger, lors de 2 tables rondes, des échanges entre les élèves apprentis, les utilisateurs et les fournisseurs de fours électriques.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Les réfractaires en fonderie
- Connaissances et maitrises de l'électricité industrielle.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Fusion – Induction – Courant - Transformateur – Magnétisme – Condensateur – Creuset – Canal – Bassin – Garnissage – Réfractaires – Silice – Alumine – Spinelle – Diagrammes d'équilibre – Fonte – Acier – Aluminium – Alliages cuivreux – Combustion – Enfournements – Matières premières – Consommables – Cotation nationale et internationale.

Lits de fusion et enfournements : coût, qualité - Généralités sur la fusion électrique - Fours à résistances et à arcs - Fours à induction à basses et moyennes fréquences - Principe de fonctionnement des fours à flammes - Tables rondes utilisateurs et fournisseurs de fours - ESI : Institut de Fonderie de la RWTH, Institut de la Forge, Fonderie JUNKER et Centre technologique

Key words

Melting – Induction – Transformer – Magnetism – Energy – Power – Crucible – Chanel – Bath – Lining – Refractory material – Silica – Alumina – Spinel – Phase diagram – Iron – Steel – Copper – Brass – Combustion – Charge composition – Raw material – National & international cotation (LME).

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Connaitre la conception et le domaine d'utilisation des fours électriques à résistances et à arc
- Conduire les divers types de fusion au four à arc
- Comprendre les phénomènes électromagnétiques et leurs applications aux fours à induction
- Distinguer les divers types de fours à induction pour la fonderie et pour la forge
- Savoir choisir les types matériaux réfractaires à utiliser en fonction de l'alliage métallique fondu
- Construire un argumentaire technico-économique permettant l'évolution d'un secteur fusion dans une fonderie
- Définir les moyens de fusion, de maintien et de coulée permettant d'assurer la production de pièces de fonderie
- Calculer le débit et la capacité des divers équipements d'un poste de fusion électrique
- Construire les gammes d'utilisation et de conduite des divers fours électriques d'une fusion
- Comprendre la combustion des gaz
- Connaitre tous les domaines d'utilisation du gaz en fonderie
- Savoir choisir le brûleur le mieux adapté à son usage
- Elaborer le cahier des charges d'un poste de fusion et d'une installation de coulée

Lits de fusion et enfournements

Olivier MOUQUET

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h)	Matières premières et matières consommables : définition, exemple de coûts, suivi des cours nationaux et internationaux, statistiques européennes. Le recyclage des métaux dans la perspective d'un développement durable. Calcul du lit de fusion et coût du métal liquide : cas pratique pour les fontes GS. Qualité et contrôle métallurgique : minimum requis pour l'obtention d'un métal à la nuance et au niveau de qualité optimal. Solubilité des gaz en relation avec les matières premières. Origines et formation des laitiers et des inclusions.
------------	--

Fusion électrique

Damien MELLINA

-
- CM 2 (3 h) Généralités sur la **fusion électrique** :
- Rappels d'électricité industrielle
 - Effets des champs électromagnétiques
 - Conduction électrique et l'induction
 - Développement de la fusion électrique
 - Problèmes posés par la fusion électrique
 - Différents types de fours

-
- CM 3 (3 h) **Fours à résistances et à arcs** :
- Fours à résistances rayonnantes
 - Fours à thermoplongeurs
 - Technologie de construction
 - Revêtement réfractaire et conduite de ces fours
 - Fours à Arcs
 - Revêtement réfractaire et conduite de ces fours

-
- CM 4 (3 h) **Fours de fusion à creuset à induction** :
- Principes et lois fondamentales
 - Fours à basse et moyenne fréquences
 - Divers types de creusets
 - Nature des revêtements réfractaires et garnissage
 - Comportement thermoélectrique des creusets
 - Conduite et maintenance de ces fours

-
- CM 5 (3 h) **Fours de maintien et de coulée du métal liquide** :
- Principes et lois fondamentales
 - Les divers types de fours électriques
 - Le garnissage réfractaire du four à canal
 - Le frittage et le démarrage des inducteurs
 - Les phénomènes physiques et thermoélectriques à l'intérieur du canal

Les poches de coulée :

- Aspects thermiques de leur conception
- Aspects thermiques de leur utilisation
- Revêtements réfractaires

Fusion au gaz

Damien MELLINA

-
- CM 6 (3 h) Combustion des gaz
- Divers types de brûleurs
 - Principe de fonctionnement des **fours à flammes**
 - Bilan thermique et technologies disponibles
-

Table ronde des utilisateurs et fournisseurs

Damien MELLINA

Table ronde "Utilisateurs" : fonderies de cuivreux, fontes, aciers et alliages légers (3h)

Table ronde "Fournisseurs" : EDF, GDF, ABP, Inductothermie, Junker, Ajax, Sert Métal, SFR (3h)

Enseignements sur Site Industriel

Visite de l'Institut de Fonderie de la RWTH et de l'Institut de la Forge et déformation plastique à Aix la Chapelle (3h)

Présentation et visite de la fonderie d'aciers spéciaux Otto Junker à Lammersdorf (4h)

Visite du Centre Technologique et de la fabrication des fours à Lammersdorf (2h)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] LATTES R, Quelle stratégie énergétique pour la France ?, Hommes et Fonderies, juin-juillet 1979, N°96, p. 19-25
- [2] BRIAND M. ; ORFEUIL M ; THOMASSIN M-R, Cahiers des industries métallurgiques mécaniques et électriques, Spécial induction, EDF, N°1, octobre 1979
- [3] EDF, Induction électrique dans l'industrie, DOPEE 85, 1996, p. 780
- [4] PASTOURIAUX L. ; VAROQUAUX A. ; BELLIER M. ; GALICHON A, Électricité Industrielle, 1960, Librairie Delagrave
- [5] DURAND F, Le creuset froid électromagnétique pour la préparation des bains et la coulée continue, International Journal of Cast Metal Research, 2005, vol. 18, N°2, p. 93-107
- [6] EDF, Fusion électrique des métaux et alliages, Centre Français de l'électricité, Espace Elec Paris.
- [7] HALLOT L, Les fours électriques de fusion et de maintien des métaux, Cinelli, 1.42.1.00.1994
- [8] FADY G. ; REIN R, Conduite économique d'un four à canal, Fonderie, août-septembre 1976, N°359, p. 291-302
- [9] CIGNETTI N-P. ; LAZOR D-A, Dispositifs de refroidissement des fours à induction, Hommes et Fonderies, 04/2002, N°323, p. 32-36
- [10] Peugeot SA et CTIF, Comparaison des moyens de fusion moyenne fréquence et fréquence réseau pour la production d'arbres à cames dans la fonderie de Peugeot Sochaux, Peugeot SA, 1991, p. 39
- [11] DOTSCH E, Fours électriques de fusion, de maintien et de coulée, Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui, 01/2007, N°261, p. 35-39
- [12] Maintien électrique du métal chaud dans les fonderies de fonte, ETSU, Royaume-Uni, 03/200, p. 1-3
- [13] Parts des différents appareils de fusion et de maintien dans la fabrication de la fonte GS, Traduction CTIF N°T.5199, Modern Casting, 2002, N°5, p.27-27
- [14] DOETSCH E, Synthèse bibliographique annuelle sur les fours électriques de fusion, de maintien et de coulée (43^{ème} suite), Giesserei, 03/03/2009, vol. 96, N°3, p. 70-78
- [15] DOETSCH E, Synthèse bibliographique annuelle sur les fours électriques de fusion, de maintien et de coulée (37^{ème} suite), Giesserei 90, 13/05/2003, N°5, p. 93-103

- [16] DOETSCH E, Synthèse bibliographique annuelle sur les fours électriques de fusion, de maintien et de coulée (42^{ème} suite), Giesserei, 04/03/2008, vol. 95, N°3, p. 64-80
- [17] DOETSCH E, Fusion économique et écologique de la fonte au four à induction à creuset, Giesserei, 09/10/2001, vol.88, N°10, p. 25-29
- [18] SLFI, Nouveau four doseur électromagnétique, Hommes et Fonderie, 1989, N°197, p.25-27
- [19] ESPINASSE Robert, Participation à l'étude de la lévitation électromagnétique de corps solides ou liquides, Mémoire CNAM soutenu le 14/12/1967
- [20] LAPONCHE B, Les Consommations d'énergie dans le monde, Encyclopédie du développement durable, N°25, janvier 2007, p. 1-14
- [21] GABIS V. et Gauché J-P, Les réfractaires en fonderie, ETIF, 06/2008, ISBN : 978-2-71-190227-9, p. 230
- [22] ULMER G, Les possibilités des fours électriques modernes en fonderie d'alliages non ferreux, Hommes et Fonderies, 01/1982, Numéro spécial Électrothermie, p. 5-11
- [23] DOETSCH E, Fusion de fonte économe en énergie et non polluante en four à creuset à induction, Hommes et Fonderies, 04/2002, N°323, p. 26-31
- [24] MOUQUET O, Dossier spécial GIFA 2007, Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui, août-septembre 2007, N°267, p.35-36
- [25] GABIS V, Les réfractaires en fonderie : quelques progrès récents, Hommes et Fonderies, juin-juillet 2000, Numéro spécial 64^{ème} congrès mondial de fonderie Paris, N°305, p. 146-154
- [26] GAUCHE J-P, Le comportement thermique et thermochimique des réfractaires en fours à canal et à creuset, Comité Français d'électrothermie, Journée d'Étude du 13/05/1982, Paris PLM Saint Jacques
- [27] GAUCHE J-P, Garnissage réfractaire des fours de fusion pour la fonte, Collection Techniques de l'ingénieur, M3610, décembre 1998
- [28] TORS P, L'installation de fusion chez Norfond, Hommes et Fonderies, 02/2003, N°331, p. 14-28
- [29] TSENG A.A, Modélisation du chauffage par induction et son application dans l'élaboration des métaux, Advances in Engng Software Worksation, 1988, vol 10, N°2, p. 58-71
- [30] OLEG S.FISHMAN, MORTIMER J-H, Inductotherm. L'automatisation de la fusion est déterminante pour une fonderie totalement informatisée, Hommes et fonderies, 01/2004, N°340, p. 28-32
- [31] Y E LEE, H BERG, and B JENSEN, Dissolution kinetics of ferroalloys in steelmaking process, Iron and Steelmaking 1995, vol 22, N°6

 3A gdp 713	Moulage sous pression des alliages de zinc Intervenant : Jérôme PETIN – Bruno DUBAELE	CM : 3 h TD : TP : Evaluation : -
--	--	--

OBJECTIFS

Objectif général : Sensibilisation et informations sur les alliages de zinc et leurs procédés de mise en œuvre

Objectifs de savoir : L'objectif de ce cours est de transmettre aux élèves apprentis un ensemble cohérent d'informations sur la métallurgie du zinc, son procédé de mise en œuvre, ses caractéristiques physiques et mécaniques, ses avantages/inconvénients.

Objectifs de savoir faire :

- Nommer les différentes utilisations des alliages de zinc, les différentes familles d'alliages de zinc et leurs procédés de fabrication ;
- Analyser et critiquer la conception et le dessin d'une pièce destinée au moulage sous pression en chambre chaude ;
- Définir le moule, le nombre d'empreintes, le tonnage machine ;
- Définir les avantages / inconvénients du procédé d'injection chambre chaude par rapport à d'autres procédés de réalisation et aux matériaux concurrents ;
- Notion sur les éléments constitutifs d'un prix de pièces et son impact environnemental

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Moulage sous pression (Cf 2A-706)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Applications zamak – Alliages de zinc – Injection sous pression – Moules métalliques – Tracé des pièces

Key words

Zamac applications – Zinc Alloys – Die casting hot chamber – Die casting mold – Drawing parts

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Définir le tracé d'une pièce
- Définir les différents organes moule/machine
- Valider la faisabilité d'une pièce
- Définir un principe moule en fonction du tracé de la pièce
- Définir sur une pièce où positionner les points d'injection, la masselotte, les éjecteurs, les plans de joint, les tiroirs

Moulage sous-pressure des alliages de zinc



PLAN DÉTAILLÉ

Jérôme PETIN – Bruno DUBAELE

CM 1 (3 h) **Présentation de la métallurgie du zinc** – Le marché – Les Applications – La Métallurgie – Normalisation – Compositions chimiques – Influence des constituants – Caractéristiques mécaniques – Propriétés physiques – Propriétés de fonderie – Traitements.

Les machines à couler – Principes – Comparaison des systèmes - Caractérisation des machines – Les mises au points et la validation des EI – Paramètres d'injection - Eléments constitutifs des coûts.

Les moules – Conception des moules – Réalisation des moules - Systèmes d'alimentation.

Tracé des pièces – Règles – Epaisseur – Nervurage – Dépouilles – Plan de joint – Retrait – tolérances dimensionnelles.

Parachèvement – Ebavurage – Assemblage – Usinage.

Revêtement et traitement de surface –

Les Procédés – Préparation des pièces – Les traitements électrolytiques.-
Les protections et le revêtement pour le décor – Le dégazage

BIBLIOGRAPHIE

Les alliages de Zinc de A à Z Editions ETIF Du projet à la pièce finie 2011

Séminaire Zincentive ZFF

Normes NF EN 1774 (norme sur la composition du Zn et des alliages de Zn, NF EN ISO8062-3 (certains BE utilisent)

ET ISO 2768 (tous les BE l'utilisent)

 3A gdp 715	Fonderie de précision Intervenants : Julien SORO	CM : 12 h TD : 3 h ESI : 3 h Evaluation : 2 h
--	---	--

OBJECTIFS

Le moulage d'alliages à haut point de fusion par fonderie à modèle perdu a débuté dans les toutes premières années 1930 aux USA à des fins médicales (alliages base cobalt).

Bien que vieux de plus 4000 ans, ce procédé n'avait jamais été mis en œuvre dans l'industrie mais seulement dans le domaine de l'art. General Electric présentant une application possible de ce procédé dans le domaine aéronautique fit réaliser avec succès, dès la fin de cette même décennie, des aubages pour moteur d'avions à piston.

L'objectif de ce cours est d'apprendre aux étudiants les procédés de fonderie de précision à modèles à savoir la cire perdue, le moulage plâtre et le lost foam. Il s'agira de présenter les moyens nécessaires pour ce type de fonderie, les matériaux utilisés pour la fabrication des modèles et des moules, les paramètres à maîtriser et à contrôler pour un procédé de fabrication optimisé et enfin de présenter les défauts et les remèdes préconisés.

Ce cours aborde aussi le procédé cire perdue en montrant son utilisation dans le domaine aéronautique et en insistant sur le fait que l'évolution de ce procédé, ainsi que des superalliages et des définitions des aubages ont permis d'accroître les performances des turboréacteurs depuis 60 ans.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Des connaissances de base de fonderie : conception, métallurgie, fusion, coulée

Des connaissances de base de chimie des solutions : pH, viscosité, stabilité, dispersion,

Des connaissances de base en matériaux : céramiques oxydes, réfractaires, poudre, sable, granulométrie.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Outillages d'injection - Modèles : cire, urée - Noyaux : céramique, soluble - Montage des grappes, dégraissage – Barbotines - Farine et stucco : zircon, zircone, alumine, chamotte - Liants : silice colloïdale silicate d'éthyle, silicate de sodium - Adjuvants, additif : agent mouillant, anti-moussant - Décirage : autoclave, four flash - frittage - Coulée : sous air, sous vide, atmosphère contrôlée, gravité, retournement - solidification équiaxe, solidification dirigée, solidification monocristalline - Lost foam : polystyrène, le moulage plâtre.

Key words

Injection molding tools - Pattern: wax, urea - Core: ceramic, soluble - Cluster assembly, degreasing – Slurries - Flour and stucco: zircon, zirconia, alumina, chamotte - Binders: colloidal silicate ethyl silicate, sodium silicate - Additive: wetting agent, anti-foaming agent - Dewaxing: autoclave, flash fire - sintering - Casting: under air, under vacuum, controlled atmosphere, gravity, turning - equiaxed solidification, monocrystalline solidification - Lost foam: polystyrene Casting plaster. Aircraft engines and materials evolution – parts (blades and nozzles) – molding – melting under vacuum – finishing – checking – superalloys – equiax, colonnar, structures and single cristal – heat treatment – Ni3Al precipitates – defects and their beginning – influent parameters.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**L'étudiant doit être capable :**

- De choisir le procédé de fabrication de fonderie de précision adapté à la pièce à fabriquer.
 - Cire perdue
 - Moulage plâtre
 - Lost foam
- De choisir les différents matériaux utilisés dans chacun des procédés : différents types de cire, différentes couches de céramique au moulage, différents alliages
- De préparer les barbotines et contrôler les paramètres influents à chaque étape de la fabrication
- De décrire et d'expliquer des mécanismes physico-chimiques mis en jeu durant les différentes étapes du procédés : cuisson des noyaux, la consolidation de la barbotine par la prise de la silice colloïdale, le frittage, obtention des structures métallurgiques en fonction du procédé de coulée : équiaxe, Ds, monocristalline.
- D'assurer la fabrication - Mode opératoire : injection, montage grappe, nettoyage grappe, la fabrication de moule, décirage, frittage, enrobage, coulée, décochage, parachèvement

Fonderie de précision*Julien SORO***PLAN DÉTAILLÉ**

CM 1 (4 h)	Le principe de fabrication Fonderie de précision à modèle perdu : Origines et Intérêt Différents procédés de fonderie à modèle à perdue : domaines d'application et limites - moulage plâtre - lost faom - moulage carapace Les matériaux du modèle: chimie comportement tenue dimensionnelle.
------------	---

CM 2 (4 h)	Fabrication et assemblage des modèles en cire (Types de cire, Accessoires et noyaux, Outillages d'injection, Injection, Contrôles des modèles) Fabrication de noyaux : soluble et noyaux céramiques Conception et montage des grappes (Encombrement, Différents montages, Positionnement des pièces et jets d'alimentation, Bouchons de décirage, Raidisseurs, Mise au mille) Préparation des grappes : (différents collages, modèles stéréo, contrôles) – Défauts : origines et remèdes - Préparation avant moulage (dégraissage)
------------	--

-
- CM 3 (4 h) Propriétés des constituants et Fabrication des carapaces
- Constituants des carapaces : nature, comportement : Barbotines - les farines et stucco céramiques, les liants, adjuvants
 - Fabrication des carapaces :
 - principe du procédé - moyens de production - différents procédés
 - Couche de contact et renfort (rôle, préparation, contrôles)
 - Mode opératoire – décirage – Cuisson - Caractérisations du moule

Les défauts spécifiques à ces procédés de moulage

- Défauts de surface
 - Défauts de surface et en profondeur
 - Défauts structurels
-

- TD 1 (3 h) **Application aéronautique** pour comprendre la mise en œuvre et les contraintes. Dans le cas d'un alliage les modes de fusion de remplissage de solidification contrôlée et dirigée
- Les moyens employés (fours, et paramètres process)
 - L'emploi de noyaux céramiques et leur positionnement
 - Le parachèvement et TTH
 - Les CND appropriés
-

Enseignements sur Site Industriel

SAFRAN AIRCRAFT ENGINE Gennevilliers (3 h avec Thierry GADREY)

- Forge – Fonderie – Usinage et traitement thermique
 - Présentation des différentes installations et familles de pièces.
-

BIBLIOGRAPHIE :

P. Heugue, J. SORO "Caractérisation des matières premières et mise en place de protocoles d'élaboration et de contrôles des barbotines en fonderie de précision" Rapport d'étude CTIF, Janvier 2013

P. Heugue, J. SORO "Réalisations et contrôles des barbotines de Fonderie de Précision" Rapport d'étude CTIF, Septembre 2013

P. Heugue, J. SORO "Optimisation de la fabrication et caractérisation mécanique des carapaces à fibres en Fonderie de précision" Rapport d'étude CTIF, février 2014

P. BEAUVAIS et P. HAIRY, «Amélioration de la productivité et des conditions de fabrications des carapaces en fonderie de précision,» CTIF, Mars 2010.

A.-S. LEBLANC, "OPTIMISATION EN MOULAGE CIRE PERDUE" CTIF, Sèvres, 2009.

F. BENZAIT, "Propriétés des carapaces à chaud" CTIF, Septembre 2011.

S. JONES, "Ceramic Shells for Investment Casting: Material Properties, Material Development and De-Waxing," Janvier 2005.

S. JONES and C. YUAN , "Advances in shell moulding for investment casting," Journal of Materials Processing Technology, vol. 135, pp. 258-265, 2003.

J. NILES, "Ceramic Shell and Slurry Characterization," in Presented at the 51th technical conference & expo , Cleveland, Novembre 2003.

B. S. Sidhu, P. Kumar et B. Mishra, «Effect of Slurry Composition on Plate Weight in Ceramic Shell Investment Casting,» Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 17, pp. 489-498, 4 août 2008.

J. R. DICK, "Process controls of investment casting Slurries and shell molds," Modern Casting, pp. 23-25, Octobre 1986.

P. MAGNIER, «La couche de renfort en fonderie à cire perdue procédé carapace,» Hommes et Fonderie, vol. n°270, pp. 21-22, Octobre 1996.

P. MAGNIER, «La couche de contact en fonderie à cire perdue,» Hommes et Fonderie, vol. n°264, pp. 29-31, Avril 1996.

S. PATTNAIK, B. KARUNAKAR and P. JHA, "Developments in investment casting process - A review," Journal of Materials Processing Technology, vol. 212, pp. 2332-2348, 2012.

J. G. KOVACS, "Slurry development and control," REMET CORPORATION, Août 1997.

G. W. SCHIEFELBEIN, "Colloidal Silica in the Precision Casting industry," REMET CORPORATION, Mars 1987.

T. R. OWENS, "Proper techniques to be followed in preparing and maintaining a slurry," REMET CORPORATION, Juin 1987.

C. T. LANHAM, "Understanding the shell room process "Defeat Defects Before They Start!"," vol. n°3, pp. 18-19, Avril 1995.

R. C. FEAGIN, "The influence of refractory Particle Size of slurries and Shells," in Presented at 25th annual meeting of the Investment Casting institute, Octobre 1977.

T. BRANSCOMB, "Study Examines Potential of New One-Shift Shell System Alternatives," Incast, pp. p24-30, Avril 2007.

E. HELLSTROM et D. MCGUIRE, «Universtiy study explores building investment casting shells using rapid-setting stucco compounds,» Incast, pp. 26-30, Avril 2007.

R. FEAGIN and S. WSZOLEK, "Hot modulus of rupture measurments on some aluminosilicate shell systems," in Fifth World Conference Investment Casting Paper, Florence, 1980.

G. W. SCHIEFELBEIN, "Ceramic Shell Production for Controlled Shell Cracking," REMET CORPORATION, Juin 1987.

 3A gdp 716	Pétrissage triaxial et Matriçage de précision Intervenant : Guy HIERNAUX	CM : 4 h TD : TP : 2 h Evaluation : cc
---	--	---

OBJECTIFS

L'objectif de cette session est de revenir :

- Sur l'utilité du pétrissage triaxial découvert en deuxième année lors du séminaire dans l'Est de la France, d'évaluer les gains obtenus sur les caractéristiques mécaniques par ce procédé et de se familiariser avec le calcul du taux de corroyage.
- Sur le principe de conception des outillages pour le matriçage de précision et de parcourir le domaine d'utilisation dans l'industrie aéronautique de cette technologie.

L'analyse de l'écoulement du métal dans le procédé de matriçage de précision sera abordé et comparé par rapport au concept du matriçage conventionnel.

Ces connaissances leur permettront de comparer ce procédé par rapport aux autres procédés de transformation sur les plans techniques et métallurgiques.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Bonnes connaissances en construction mécaniques notamment en résistances des matériaux et en structures métallurgiques
- Bonnes connaissances des essais « destructifs » et « non destructifs » sur un matériau afin de satisfaire aux exigences de son utilisation.
- Bonnes connaissances des outils de conception et simulation dans différentes technologies de transformation.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Caractéristiques mécaniques – Pétrissage triaxial – Ecoulement – Simulation – Gamme de transformation – Contrainte d'écoulement – Déformation – Sollicitation – Défauts – Matriçage conventionnel – Guide à la conception pour le Matriçage de précision.

Key words

Mechanical properties, three dimensional kneading open die forging, flow stress, simulation, forming process, flow stress, strain, request, defects, conventional forging, concept note for precision forging

COMPETENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TP)

- Connaissances théoriques sur le pétrissage triaxial, Méthodes et Gains sur les différentes caractéristiques mécaniques (Traction, allongement, fatigue... etc),
- Calcul d'un taux de corroyage en fonction d'une gamme de pétrissage,
- Connaissances théoriques sur la conception des outillages modulaires du Matriçage de précision en fonction des équipements des machines,
- Savoir choisir un mode de conception en fonction, des quantités à fabriquer, des géométries à obtenir et des coûts résultants du process choisi.

Pétrissage triaxial et Matriçage de précision

PLAN DÉTAILLÉ

Guy HIERNAUX

- CM 1 (4 h) Le pétrissage triaxial dit "Forgeage 3D" sur les alliages d'aluminium :
Son utilité, son influence sur les caractéristiques mécaniques et son mode d'élaboration.
Calcul du taux de corroyage obtenu et analyse de l'évolution des caractéristiques mécaniques.

Historique du besoin de pièces matriçées en alliage d'aluminium.
Les outils de transformation en matriçage des alliages d'aluminium.
Les avantages de ces produits matriçés par les aspects métallurgiques.
La technique du matriçage de précision, historique, tolérances, domaine d'application.
La conception des outillages en coquilles et les écueils à éviter.
Le guide pour une bonne conception
-
- TP 1 (2 h) Travaux pratiques sur une conception d'outillage de matriçage et recherche des formes résultantes de la conception aux différentes étapes de la gamme (avec notation).
-

BIBLIOGRAPHIE

Technique de l'Ingénieur sur le Pétrissage triaxial des Aluminiums

Guide Technique sur le Matriçé de Précision Manoir Ind. Bar/Aube et Manoir Ind. Bologne

 3A gdp 717	Fabrication additive Intervenants : Sabeur JEDID – Camille OLLIVIER	CM : 9 h TD : ESI : 3 h Evaluation : cc
--	--	--

OBJECTIFS

Techniques additives

Les procédés de fabrication additives se développent et prennent place dans le milieu industriel, c'est pourquoi il est important de connaître les différentes technologies présentes sur le marché et leurs applications. Dans ce module, il sera abordé à travers des exemples sur des pièces ou outillages de forge et fonderie, les possibilités offertes (complexité, petite série, délais) par la fabrication additive mais également les contraintes (géométrie, contrôle, prix).

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Connaissance des contrôles métallurgique en forge et fonderie

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Impression 3D - Fabrication additive – Fusion laser – Fusion par faisceau d'électron – Dépôt de matière sous énergie concentrée

Key words

3D Printing - Additive Manufacturing – Laser beam melting – Electron beam melting – Direct Energy Deposition

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Connaître l'ensemble des techniques actuellement développées et utilisées
- Connaître une large étendue des appareils de mesure.
- Comprendre les principes et les potentialités de la stéréovision. Savoir positionner (justesse, incertitude, temps de mesure, ...) la stéréovision par rapport à la métrologie tridimensionnelle (MMT).
- Savoir utiliser correctement le vocabulaire de la métrologie dimensionnelle.
- Connaître les termes techniques en anglais et en français
- Connaître les différentes technologies de fabrication additive ainsi que le principe de fonctionnement (7 classes de procédé)
- Identifier les bonnes applications pour la fabrication additive
- Connaître la démarche de développement d'une pièce
- Connaître les termes techniques en anglais et en français et savoir les utiliser

Techniques additives
Camille OLLIVIER – Sabeur JEDID

CM 2 (6 h) Classe de procédé : Enumération et description des procédés
Avantages et point faibles des technologies de fabrication additive
Cas d'applications : technologie sable, cire et métallique
Développement de la chaîne numérique
Contrôles associés

ESI (6h) Platinum 3D (Charleville) avec Nicolas PONSART

- Présentation de la plateforme
- Rappels des moyens et procédés
- Présentations de cas d'applications
- Avantages inconvénients partage
- Visite des installations

BIBLIOGRAPHIE :

BRÉMAND, Fabrice et COTTRON, Mario et DOUMALIN, Pascal et autres, « Mesures en mécanique par méthodes optiques ». R1850. Editions T.I. [Paris, France], 2016.

EPMA, "Introduction to Additive Manufacturing technology. A guide for Designer and Engineers." 2nd Edition. www.epma.com/am. 2017.

 3A gdp 718	Usinage Intervenants : Jérôme DUCHEMIN	CM : 6 h TD : TP : 6 h Evaluation : cc
--	--	---

OBJECTIFS

Acquérir des notions élémentaires sur l'usinage par enlèvement de matière :

- Étude de la typologie des machines et des outillages utilisés
- Analyse de la structure d'une machine outils à commande numérique (MOCN)
- Les centres d'usinage à grande vitesse
- Étude de la technologie des outils coupants
- Théorie de la coupe, processus de coupe, facteurs influents
- Choix des outils de coupe
- Optimisation sous contraintes des conditions de coupe en tournage.

Cet enseignement a pour mission de procurer aux apprentis la base de l'industrialisation d'une pièce mécanique et d'illustrer sur un exemple concret la production d'une pièce simple

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Conception et fabrication mécanique DI (Cf 1A-601)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Série de pièces – Machine outils à commande numérique – Tournage – Fraisage – UGV - Coupe des métaux - Outils de coupe – Théorie de la coupe – Lois d'usure - Loi de Taylor – Optimisation des conditions de coupe – Logiciel de CFAO – TP sur machines à commande numérique

Key words

Series of parts – Machine tool with numerical control – Turning – Milling – High speed machining – Cutting tools – Theory of the cut – Law of Taylor – Cutting conditions

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Élaborer le dossier d'industrialisation de produits mécaniques
- Spécifier les moyens de production nécessaires
- Réaliser l'étude d'une phase d'usinage après avoir déterminé les conditions de coupe
- Appréhender la problématique d'industrialisation d'une pièce mécanique
- Valider un processus de production simple
- Définir et identifier les paramètres du modèle géométrique d'une MOCN

Usinage

Jérôme DUCHEMIN

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (?) Présentation du projet

Au CERTA de Flins

CM 2-3 (6 h) Le bureau des méthodes : Rôle du Bureau des Méthodes – Étapes de travail – Notion de série de pièces - Vocabulaire et définitions.

La coupe des métaux : Introduction – Rappel des différents types de machines-outils – Les centres d'usinage – Structure physique d'une MOCN – Les machines d'UGV – Exemple d'usinage UGV - Technologie des outils coupants – Les fluides de coupe – Les lois d'usure.

Optimisation des conditions de coupe : Généralités – Modélisation du coût d'usinage d'une pièce – Modélisation du temps d'usinage – Détermination des conditions de coupe en tournage.

TP usinage au CERTA de Flins

-

Transport : Gare d'Elisabethville-Aubergenville puis 15-20' à pied ou en voiture (parking à disposition)

TP 1 (7 h) Mise en œuvre d'une production sur MOCN :

- présentation du support de perceuse,
- appropriation de la F.A.O. faite sur TopSolid'Cam,
- mise en place de la modélisation vectorielle des MOCN. et des principes de réglages,
- étude de la C.E.U.,
- analyse du montage d'usinage,
- mesure de différents vecteurs,
- test du programme,
- usinage de pièces sur centre d'usinage,
- corrections,
- conclusion.

BIBLIOGRAPHIE

Support de cours "Usinage" de Bruce Anglade

Site internet : www.coromant.sandvik.com

Usinage : Technologie et pratique – J. Vergnas – Collection Génie Mécanique – Dunod

Memotech : Génie mécanique – C. Barlier, B. Poulet – Collection A. Capliez – Educavivre

Production mécanique : Fabrication générale – P. Padilla, B. Anselmetti, L. Mathieu, M. Raboyeau – Collection Génie Mécanique – Dunod

 3A gem 803	Principes de management Intervenant : Jean-Bruno DELRUE	CM : 24 h TD : TP : Evaluation : rapport
--	--	---

OBJECTIFS

Sensibiliser les élèves ingénieurs à l'évolution des méthodes de Management et de Décision ainsi qu'à leur pratique :

- Qualité et satisfaction client
- Outils modernes de la qualité
- Pratique de la décision
- Définition et partage d'une vision stratégique
- La caisse à outils du manager
- Communication interpersonnelle
- Relations interculturelles
- Approche managériale de la représentation du personnel
- Stress et Travail.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Connaissances de l'environnement professionnel et industriel

Enjeux de la qualité (2A gem 801) – Communication (1A com 901) - Management de la santé et de la sécurité (2A gem 808)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Management – Pratique de la décision – Lean Management – Relations sociales – Risques psychosociaux – Relations Interculturelles – Qualité – Audit.

Key words

Management – Decision Making – Lean Management – French labor regulatory framework – Social Intercourse – Psychosocial Risk Factors – Cross Cultural Management – Quality Management – Inspection – Purchasing

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**Etre capable de :**

- Comprendre la relation entre politique de satisfaction des besoins et attentes des clients et pérennité de l'entreprise ;
- Appliquer les outils basiques de résolution de problèmes (méthode KJ, brainstorming, diagramme cause-effet, diagramme des interrelations) ;
- Analyser les méthodes et les pièges de la décision ;
- Connaître les mécanismes de partage d'une vision stratégique et du management par la finalité ;
- Comprendre le soin à apporter aux relations interculturelles à partir des exemples donnés en cours ;
- Comprendre les enjeux et l'importance de la représentation du personnel ;
- Appréhender les différentes facettes de la responsabilité sociale et pénale du manager ;
- Appréhender les risques psychosociaux.

Principes de management *Jean-Bruno DELRUE***PLAN DÉTAILLÉ**

CM 1 (4 h)	Qualité et Satisfaction Clients Principes généraux
CM 2 (4 h)	Les outils de la qualité et du lean management : méthodologie d'animation et applications concrètes sur le terrain : 5S, Kaizen.
CM 3 (4 h)	La Pratique de la Décision
CM 4 (4 h)	Principes de Management Définition et partage d'une vision stratégique
CM 5 (4 h)	Communication interpersonnelle Relations interculturelles La caisse à outils du manager Stress et travail
CM 6 (4 h)	Management et social Relation avec les instances représentantes du personnel (CHSCT et délégués du personnel) Informatique et liberté, politique de sécurité du système d'information

BIBLIOGRAPHIE

Pratique de la décision - L. Falque et B. Bougon (DUNOD, 2009)

 3A gem 805	Gestion de production Intervenant : Pascal CAESTECKER	CM : 12 h TD : TP : Evaluation : 2 h
---	---	--

OBJECTIFS

Il s'agit de sensibiliser les élèves ingénieurs aux concepts de gestion de production.

Une présentation de l'approche systémique permet d'abord de promouvoir une vision globale et décloisonnée pour appréhender les questions posées par le pilotage de toute production de biens matériels. En contrant le taylorisme opposé aux notions de flux physiques, on peut montrer la pertinence d'indicateurs de performance globaux et opérationnels.

Une simulation sur un exercice comptable d'un mois permet ensuite de mesurer concrètement les limites d'une gestion au jour le jour, et l'apport d'une optimisation informatique des flux.

Enfin la présentation comparée des concepts utilisés en gestion industrielle doit permettre aux futurs ingénieurs de reconnaître et améliorer le type de pilotage des flux qui est utilisé dans l'entreprise où ils effectuent leur apprentissage.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Savoir utiliser le solveur d'Excel
- Notions de gestion de stocks
- Notions de Lean Manufacturing

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Flux poussés – Flux tirés – Flux tendus - MRP – Juste à temps – Kanban – ERP – Approche systémique - Concepts de management : MRP, Kanban, OPT - Simulation de production

Key words

Production Management – Supply Chain Management – Just in Time – MRP – ERP – Lean Manufacturing

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)**Etre capable de :**

- Avoir une vision globale des flux de production
- Différencier les flux poussés et les flux tirés
- Faire appel à la simulation pour dimensionner un outil de production
- Comprendre un compte de résultats et actionner les bons leviers de pilotage
- Comprendre un calcul des besoins nets dans un MRP
- Appréhender un ERP pour maîtriser une production
- Mesurer l'importance des stocks et de leur gestion
- Participer à l'amélioration de l'ordonnancement
- Articuler la gestion des flux de produits et les aspects économiques (compte de résultat)
- Prendre des décisions en équipe

PLAN DÉTAILLÉ***Gestion de production****Pascal CAESTECKER*

CM 1 (3 h)	Approche systémique, science de la production Notions d'implantations. Méthode des chaînons
CM 2 (3 h)	Simulation de production, pour dimensionner l'outil de production. Frais fixes et frais variables. Liaison pilotage des flux/aspect comptable.
CM 3 (3 h)	Calcul des prix de revient. Optimisation de production à l'aide du solveur d'Excel Mise en place de flux poussé et flux tiré.
CM 4 (3 h)	Concepts comparés de management : MRP, Kanban, OPT. Exemple de calcul des besoins. Présentation des ERP et de leur logique de fonctionnement Approche de l'ordonnancement.

BIBLIOGRAPHIE

Courtois, Pillet, Martin (Ed organisation) "Gestion de production"

George W. Plossl "Orlicky's Material Requirements Planning" (McGrow-Hill)

Shigeo Shingo "Système de production Toyota"

Bill Belt "Basiques de la gestion industrielle et logistique" (Ed. d'organisation)

E. Goldratt (Eyrolles) "Le but"

 3A gem 806	Gestion comptable et financière Intervenant : Matthieu HURBAIN	CM : TD : 12 h TP : Evaluation : cc h
--	---	---

OBJECTIFS

La comptabilité et la Gestion Financière d'une entreprise sont aujourd'hui des aspects importants de la formation des ingénieurs qui se trouvent confrontés soit à la gestion de projets soit à la supervision globale d'entité économique.

Il faut donc :

- Sensibiliser les étudiants au cadre de travail de l'Entreprise
- Donner les notions élémentaires de la comptabilité
- Définir les agrégats de base permettant une évaluation des entreprises
- Valoriser l'outil de pilotage qu'est la Gestion Financière

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Aucun

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Ecritures – Journal – Bilan – Résultat – Besoin en fonds de roulement (BFR) – Fonds de roulement (FR) – Capacité d'autofinancement (CAF) – Soldes intermédiaires de gestion (SIG) – Tableaux de financement et de flux financiers, Trésorerie.

Key words

Balance sheets, Result, Need in Working Capital, Capacity of Self Financing, Intermediate Pay of Management, Board of Flows

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Lire un plan comptable
- Construire : un compte de résultats, Bilan et Trésorerie
- Accompagner une gestion financière
- Gérer un projet et identifier des résultats à terme.

Gestion comptable et financière

Matthieu HURBAIN

PLAN DÉTAILLÉ

Serious game

BIBLIOGRAPHIE

Mémento Pratique Francis Lefebvre Comptable, Fiscal, Social

Manuel de Comptabilité approfondie, CASPAR ENSELME

 3A gem 806	Gestion comptable et financière Intervenant : Matthieu HURBAIN	CM : 18 h TD : TP : Evaluation : 1 h
--	--	--

OBJECTIFS

La comptabilité et la Gestion Financière d'une entreprise sont aujourd'hui des aspects importants de la formation des ingénieurs qui se trouvent confrontés soit à la gestion de projets soit à la supervision globale d'entité économique.

Il faut donc :

- Sensibiliser les étudiants au cadre de travail de l'Entreprise
- Donner les notions élémentaires de la comptabilité
- Définir les agrégats de base permettant une évaluation des entreprises
- Valoriser l'outil de pilotage qu'est la Gestion Financière

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Aucun

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Ecritures – Journal – Bilan – Résultat – Besoin en fonds de roulement (BFR) – Fonds de roulement (FR) – Capacité d'autofinancement (CAF) – Soldes intermédiaires de gestion (SIG) – Tableaux de financement et de flux financiers, Trésorerie.

Key words

Balance sheets, Result, Need in Working Capital, Capacity of Self Financing, Intermediate Pay of Management, Board of Flows

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Lire un plan comptable
- Construire : un compte de résultats, Bilan et Trésorerie
- Accompanyer une gestion financière
- Gérer un projet et identifier des résultats à terme.

Gestion comptable et financière

Matthieu HURBAIN

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (4 h) Les bases de la comptabilité
 Le bilan
 Le compte de résultat

CM 2 (3 h) Les classes
 Les particularités de chaque classe (gestion du haut de bilan, les amortissements,
 l'évaluation des stocks, la trésorerie, la répartition des charges par natures)

CM 3 (4 h) Evaluations (patrimoine, revenus, marché)
 SIG, CAF

CM 4 (3 h) Le tableau de financements et le tableau de flux
 La notion de ratios

CM 5 (4 h) Comptabilité analytique (méthode des coûts complets)

BIBLIOGRAPHIE

Mémento Pratique Francis Lefebvre Comptable, Fiscal, Social

Manuel de Comptabilité approfondie, CASPAR ENSELME

 3A gem 809.a	Environnement juridique de l'ingénieur Intervenant : Mathieu HURBAIN	CM : TD : 12h TP : Evaluation : cc
--	--	---

OBJECTIFS

Cette approche professionnelle du Droit dans l'Entreprise permet de développer **trois objectifs pédagogiques essentiels** :

- **Faire prendre conscience aux futurs ingénieurs** des aspects juridiques de la réalité quotidienne (contrat de travail / responsabilité civile et pénale...).
- **Leur montrer l'intérêt du droit**, les y intéresser en développant chez eux un réflexe juridique.
- **Leur enseigner les grandes lignes du droit** en abordant des points concrets et précis et en leur expliquant comment rechercher les informations souhaitées.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Aucun

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Droit français – Loi – Décret – Doctrine – Jurisprudence – Droit du travail – Contrat de travail – Clauses du contrat de travail – Licenciement – Démission – Transaction – Représentants du personnel – Responsabilité civile et pénale – Responsabilité pénale de l'ingénieur en matière d'hygiène et sécurité – Accident du travail – Consignes générales et particulières de sécurité – Droit des sociétés – Société à responsabilité limitée – SAS – Dépôt de bilan – Abus de biens sociaux.

Key words

French law - law decree - jurisprudence - employment contract - clauses of the employment contract - dismissal - resignation - transaction - staff representatives - civil and criminal liability - accident - general guidelines and specific security company law - company limited liability - sas - deposit balance - misuse of corporate assets - criminal responsibility of the engineer

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Analyser les aspects juridiques liés au travail de l'ingénieur
- Connaître les grandes lignes du droit du travail
- Connaître les clauses principales d'un contrat de travail
- Connaître les instances représentatives à l'intérieur d'une société
- Connaître la responsabilité pénale de l'ingénieur en matière d'hygiène et sécurité
- Connaître les notions élémentaires du droit des sociétés

Environnement juridique de l'ingénieur

Mathieu Hurbain

PLAN DÉTAILLÉ

Serious game

BIBLIOGRAPHIE

Code du travail

Code de commerce

Précis Francis Lefebvre en DROIT SOCIAL

Précis Francis Lefebvre en DROIT DES SOCIETES

Convention collective de la Métallurgie

Convention collective de la Plasturgie

 3A gem 809.b	Environnement juridique de l'ingénieur Propriété intellectuelle Intervenant : Alexandre LEBKIRI – Nicolas MARANZANA	CM : 9 h TD : TP : Evaluation :
--	---	---

OBJECTIFS

L'innovation sous toutes ses formes constitue le moteur de la croissance et de l'emploi. Elle est le vecteur de l'économie. La Propriété Intellectuelle est l'outil par excellence à la disposition des innovateurs pour préserver leur investissement. La Propriété Intellectuelle permet de garder l'exclusivité de l'exploitation et elle autorise, par la concession de licence, la rentabilisation optimale des innovations.

L'objet de ce cours est de sensibiliser les étudiant(e)s aux problèmes liés aux différentes branches du **Droit de la Propriété Intellectuelle**, qu'il s'agisse d'inventions brevetables, de marques de commerce ou de services, de dessins & modèles industriels ou de droit d'auteur, afin que, dans le cadre de leur vie professionnelle, ils (ou elles) soient en mesure d'identifier les problèmes qui peuvent se poser et de trouver les solutions appropriées soit directement, soit en faisant appel aux spécialistes.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Brevet – marque – dessin & modèle – droit d'auteur – contrefaçon – protection – propriété industrielle

Key words

Patent – trademark – design – copyright – infringement – protection – industrial property

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- savoir si une création est protégeable :
 - par un brevet
 - par une marque
 - par un dessin & modèle industriel
 - par le droit d'auteur
- déterminer, en matière de brevet :
 - si les conditions de brevetabilité sont remplies
 - quelles sont les différentes stratégies de protection (brevet / secret)
 - quelles sont les erreurs à ne pas commettre
 - quelles sont les principales voies de protection à l'étranger
- savoir, en matière de marque :
 - si le signe choisi est susceptible d'être enregistré en tant que marque
 - quelles sont les principales voies de protection à l'étranger
- savoir, en matière de dessin & modèle industriel :
 - si le dessin & modèle industriel créé est susceptible d'être enregistré
 - quelles sont les principales voies de protection à l'étranger
- en matière de droits d'auteur :
 - faire la distinction entre droit moral et droits patrimoniaux
 - connaître les caractéristiques du droit moral et des droits patrimoniaux
 - savoir les pièges à éviter en matière de cession de droits d'auteur
- avoir une vision générale des problèmes de contrefaçon
 - actes contrefaisants
 - sanctions
- connaître d'autres concepts autour de propriété industrielle (le secret, l'enveloppe soleau, etc.)

Propriété intellectuelle
Alexandre LEBKIRI

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) Présentation de l'ensemble des droits de la Propriété Intellectuelle – les Conventions Internationales en matière de Propriété Intellectuelle – le droit spécifique des brevets – les critères de brevetabilité – l'obtention de droits – l'usage des droits – la contrefaçon

CM 2 (3 h) Le droit spécifique des marques – les critères de protection – l'obtention de droits – l'usage des droits – la contrefaçon – la procédure en France et à l'étranger
Le droit spécifique des dessins et modèles industriels – les critères d'obtention – la procédure en France et à l'étranger
Le droit d'auteur – les critères de protection – l'obtention de droits – l'usage des droits – la contrefaçon
Les relations entre les différentes branches du droit.

Nicolas MARANZANA

CM 3 (3 h) Applications
Comment déposer une marque, un dessin ou modèle, un brevet ?
Recherche de Bulletins Officiels de la Propriété Industrielle (BOPI) pour les marques, dessins ou modèles et brevets
Recherche de marques, dessins ou modèles et brevets via les sites de l'INPI, Office Européen des Brevets et World Intellectual Property Organization
Analyses de brevets

BIBLIOGRAPHIE

Brevets d'invention, Marques et Propriété Industrielle, de Frédéric et Jean-Michel Wagret – Collection "Que sais-je ?"

Code de la Propriété Intellectuelle (Daloz)

 3A gem 809.c	Environnement juridique de l'ingénieur La sous-traitance industrielle Intervenant : Wilfrid BOYAULT	CM : 6 h TD : TP : Evaluation :
--	---	---

OBJECTIFS

Sensibiliser ces futurs cadres aux différents aspects juridiques de la vie de l'entreprise auxquels ils vont être confrontés dans leurs fonctions techniques, commerciales ou de direction. Fondé sur les besoins qu'expriment chaque jour les fonderies et les forges, cet enseignement vise à fixer quelques notions juridiques clé dont les élèves auront quotidiennement besoin dans leur pratique professionnelle.

Cela suppose de situer la notion essentielle de contrat dans l'environnement juridique français, européen et international avant d'étudier cette figure centrale de la vie de l'entreprise (fournisseurs/clients).

L'enseignement porte ensuite avec précision sur divers aspects du droit commercial, fiscal et des affaires qui appellent un traitement particulier en fonderie et/ou forge pour permettre aux élèves d'avoir demain les bons réflexes dans leur pratique quotidienne.

Thème : système juridique français – conflit de lois et de juridiction – contrat – sous-traitance – traitement juridique et fiscal des outillages – propriété intellectuelle – procédures collectives.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Il est souhaitable que les étudiants aient une première expérience vécue de, tout ou partie de, ce qui suit :

- comment se passe en pratique la mise en place de relations avec un client ou un fournisseur de l'entreprise (offre, devis, commande, AR de commande ...) ?
- que puis-je « montrer » à un prospect puis à mon client de mon savoir-faire, de mes méthodes ?
- difficultés de délais, de paiement, de qualité et relations client-fournisseur autour de ces difficultés.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Droit français – Droit européen – Droit international – Juridictions – Hiérarchie des normes - Contrat – Conditions générales – Conflit de lois – Conflit de juridictions – Sous-traitance – Loi n° 75-1334 – Obligations – Responsabilité – Garantie – Outillages – Propriété intellectuelle – Savoir-faire - Confidentialité - TVA — Assurances – Droit de rétention – Procédures collectives – Procédure de sauvegarde – Redressement judiciaire – Liquidation judiciaire – Créances antérieures – Contrats en cours – Revendication.

Key words

French Law – European Law – International Law – Jurisdictions – Hierarchy of rules - Contract – General conditions – Conflict of laws – Conflict of jurisdictions – subcontracting – Law n° 75-1334 – Obligations – Liability – Warranty – Tools – Intellectual property – Know-how – Confidentiality - VAT – Insurance – Right of retention – Insolvency procedures in French law.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Faire de la juste compréhension du cadre juridique dans lequel s'inscrit un projet un atout, notamment face aux achats clients
- Avoir les bons réflexes, les bonnes références pour sécuriser/orienter la négociation d'une affaire, d'un projet
- Conduire de façon sécurisée pour l'entreprise l'exécution du projet
- Avoir les bons réflexes, à temps, en cas de défaillance d'un autre intervenant (fournisseur, client, etc.) ou d'inexécution imputable à ce dernier
- Avoir les réflexes indispensables à la protection de la propriété intellectuelle, au sens large, de l'entreprise et mettre en place les procédures à cette fin
- Avoir une bonne connaissance de questions juridiques propres aux deux professions (outillages) et plus généralement à la sous-traitance industrielle (contrat d'entreprise, loi de 1975)
- Avoir les éléments pour effectuer un audit pertinent de première intention en cas de réclamation et de précontentieux

Aspects juridiques de la sous-traitance industrielle
PLAN DÉTAILLÉ *Wilfrid BOYAULT*

CM 1 (3 h) Système juridique - Contrat

Sources du droit et système juridictionnel

- droit interne : les normes et leur hiérarchie, les juridictions
- droit international : les normes, les juridictions et les institutions

Qu'est-ce qu'un contrat ?

- un accord sur des éléments essentiels
- le processus de formation de l'accord

Le contrat international, le juge, le droit applicable

CM 2 (3 h) La sous-traitance – Problématiques particulières

La sous-traitance

- notion et enjeux
- la loi n° 75-1334 du 31 décembre 1975

Obligations, responsabilités et garantie

- obligations du donneur d'ordres et du sous-traitant
- responsabilités et garantie : droit commun, responsabilité du fait des produits défectueux

Régime juridique et fiscal des outillages de fabrication

- outillages et "propriété intellectuelle" du fondeur
- outillage et fiscalité (taxe professionnelle, TVA)
- outillage et assurances
- outillage et droit de rétention

Aspects du droit et des procédures collectives

- sort des créances antérieures
 - réserve de propriété et revendication
-

BIBLIOGRAPHIE

Dictionnaire permanent Droit des Affaires ; Dictionnaire permanent Construction (notamment pour ce dernier, l'étude "sous-traitance")

Lamy Droit commercial, Lamy Droit économique

Précis Dalloz Droit civil, Droit des obligations (Terré, Simler, Lequette)

Guide contractuel des relations de sous-traitance du CENAST

Conditions générales contractuelles des fonderies européennes, édition 2014 :

<http://www.forgefonderie.org/conditions-generales-119>

 3A gem 812.a	Excellence industrielle : Ingénierie et optimisation investissements industriels en fonderie Intervenant : Alain STREIFF	CM : 6 h TD : TP : Evaluation :
--	--	---

OBJECTIFS

Les investissements en fonderie sont lourds par comparaison à d'autres industries de transformation (L'industrie de la fonderie est une industrie de capital). En outre certains équipements de production : chantier de moulage au sable, installation de fusion des métaux, sablerie, peuvent être monolithiques c'est-à-dire qu'une seule installation assure l'ensemble de la production de l'usine. Le droit à l'erreur n'est donc pas admissible lors de la décision d'investissement correspondante.

L'objectif du cours est en premier lieu de fournir aux élèves apprentis la méthodologie globale d'ingénierie permettant d'estimer la faisabilité d'un projet d'investissement, et le cas échéant de piloter celui-ci jusqu'à sa mise en route et sa réception industrielle. Cette méthodologie doit permettre aux futurs décideurs d'optimiser les caractéristiques techniques des équipements concernés, sur la base de critères techniques et économiques, ainsi que de les sensibiliser à tous les critères permettant d'effectuer objectivement les choix des fournisseurs.

Un atelier de fonderie est caractérisé par les équipements de production clés (fusion, moulage, sablerie, noyautage, parachèvement...) connectés entre eux par les dispositifs de manutention et les éventuels stocks tampons. Le deuxième objectif du cours est donc de sensibiliser les élèves à l'importance de l'implantation des équipements en liaison avec des critères technico-économiques : flux tendus, stocks réduits, utilisation optimisée du personnel et des moyens, maintenabilité et socio-économiques : conditions de travail, respect des normes environnementales.

Enfin le cours comporte une large introduction aux critères de compétitivité économique des industries de la fonderie et ouvre le débat sur les nouvelles stratégies industrielles (Augmentation de la valeur ajoutée par l'ajout de nouvelles fonctions (usinage, traitement de surface, assemblage) ou services annexes (Simultaneous engineering, livraisons just-in-time, contrats de performance) adaptés au contexte actuel de délocalisation de cette industrie.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

- Connaissances générales de l'industrie de la fonderie,
- Bon niveau d'anglais

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Productivité – investissement – ingénierie – faisabilité – coûts d'exploitation – manutentions – implantation – conditions de travail – environnement.

Key words

Productivity – investment – engineering – feasibility- manufacturing costs – handling operations – lay out – working conditions – environment.

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Evaluer la rentabilité économique d'un projet d'investissement
- Piloter, en tant que maître d'ouvrage ou en tant que chef de projet un projet d'investissement industriel : Usine neuve, améliorations (productivité, qualité) ou augmentation de capacité
- Définir une implantation optimisée pour les équipements de production et les manutentions correspondantes
- Définir les caractéristiques techniques d'un nouvel équipement de production sur la base de critères technico-économiques
- Dominer les différentes étapes de consultation d'un équipement industriel
- Effectuer le choix d'un fournisseur en fonction de tous les critères objectifs
- Connaître les évolutions stratégiques du métier de la fonderie permettant d'assurer la compétitivité de cette industrie dans le contexte de mondialisation actuel.

Ingénierie des investissements industriels en fonderie

PLAN DÉTAILLÉ *Alain STREIFF*

CM 1-2 (6 h) **1^{ère} partie :**

Définitions : La productivité, l'ingénierie
Méthodologie générale d'un projet industriel
Phasage des études d'ingénierie dans les deux cas :

- construction d'une nouvelle usine
- réaménagement d'une unité existante

2^{ème} partie :

Données et hypothèses de base d'un projet industriel
Matières – site – personnel – production - organisation

3^{ème} partie :

Méthode itérative de calcul des caractéristiques des équipements
Moulage – fusion – noyautage – finition

4^{ème} partie :

Avant projet sommaire d'implantation
Construction d'une nouvelle unité :

- Choix 1 ou 2 niveaux – optimisation des surfaces
- Etude des flux internes

Réaménagement d'une unité existante :

- Etude de l'existant : surface, flux, "goulots"
- Etude des surfaces – tiroirs – optimisation des surfaces
- Etude des flux internes

Méthodologie commune aux deux cas : plan site – étude des flux internes et externes – valorisation comparaison des solutions

5^{ème} partie :

Avant projet détaillé et réalisation du projet

Définition des phases de réalisation du projet :

Consolidation A.P.S. – Implantations détaillées

Achat des équipements, critères technico-économiques de choix

Consolidation des implantations et réalisation des bâtiments

Supervision de la construction des équipements

Supervision du montage et mise en route

Réceptions et montée en cadence

Dossiers des ouvrages exécutés – Garanties

6^{ème} partie :

Sélection des fournisseurs. Les critères objectifs

7^{ème} partie :

Evolution du métier de la fonderie. Les nouvelles stratégies industrielles face au contexte de mondialisation et délocalisation

BIBLIOGRAPHIE

Améliorer les performances en service des produits de fonderie. Recueil de conférences – CETIM mars 1993

Marketing Industriel, Stratégies et mise en œuvre - D.Michel - Collection Gestion - Economica

Un outil de validation du projet : la méthode AMDEC de M. Renoul – Travail et méthodes

Maîtrise de la production et méthodes Kanban de S. Shingo – Les éditions d'organisation

Marketing industriel M. Porter

 3A gem 812.b	Excellence industrielle : Initiation à la normalisation et processus normatif Intervenant : Laurent BIRCKEL	CM : 3 h TD : TP : Evaluation :
--	---	---

OBJECTIFS

Information sur la normalisation en général dans le domaine de la fonderie.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Aucun

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

C.E.N. (Comité Européen de Normalisation) – Normes – Normalisation française, européenne, internationale – Enquête publique - Enquête CEN – Vote formel – Ratifications – Adoptions.

Initiation à la normalisation et processus normatif - Normalisation française, européenne et internationale - Applications en fonderie - Stratégie et organisation

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Avoir un aperçu clair des mécanismes normatifs
- Avoir "enregistré" les normes essentielles dans le domaine de la fonderie

Initiation à la normalisation et processus normatif

PLAN DÉTAILLÉ

Launet BIRCKEL

CM 1 (3 h) L'AFNOR

Qu'est-ce qu'une norme ?

Normalisation en fonderie

- Normalisation française :
Normes NF, adoption des normes européennes en "NF EN"
- Normalisation européenne :
CEN/TC 190 "Techniques de fonderie"
CEN/TC 132/GT 22 et GT 23 "Aluminium et alliages d'aluminium"
CEN/TC 133/GT 7 "Cuivre et alliages de cuivre - Pièces moulées"
CEN/TC 209 "Zinc et alliages de zinc "
ECISS/TC 111 "Aciers moulés et pièces forgées"
- Normalisation internationale
ISO/TC 17/SC 11 "Aciers moulés"
ISO/TC 18 "Alliages de zinc"
ISO/TC 25 "Fontes et fontes brutes"
ISO/TC 79/SC 7 "Aluminium et alliages d'aluminium moulés"
ISO/TC 155 "Nickel et alliages de nickel"
- Normalisation relative au "Contrôle": essais physiques, mécaniques et de détermination de la composition chimique

Stratégie et organisation

BIBLIOGRAPHIE

Normes françaises (NF A...)

Normes européennes : c'est à dire normes françaises d'origine européenne (NF E...)

Normes internationales

Recueil normes fonderie

 3A gem 812.c	Excellence industrielle Intervenant : Pierre-Marie CABANNE – Frédéric TRITZ	CM : 5 h TD : TP : Evaluation : -
--	---	---

OBJECTIFS

-

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

.

Key words

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

.

PLAN DÉTAILLÉ

Fonderie mondiale via fontes GS

Pierre-Marie CABANNE

CM (3 h)

Fonderie d'art au XX^e siècle et marchés du luxe

Frédéric TRITZ

CM (2 h) Arthus Bertrand

BIBLIOGRAPHIE

 3A gem 813	Innovation facteur de croissance Intervenants : Nicolas MARANZANA – Camille JEAN – Fabrice MANTELET – Frédéric SEGONDS	CM : 16 h TD : 3 h TP : Evaluation : soutenance projet
--	---	--

OBJECTIFS

Découvrir l'environnement de l'innovation et de la conception de produits. Initialisation du projet à réaliser en sous-groupe.

Savoir mettre en œuvre une démarche systémique dans le cadre d'un projet d'innovation au sein d'un système complexe

Savoir mettre en œuvre et animer une session de recherche de solutions innovantes.

Exploiter les potentialités de la FA dans un projet d'innovation.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Propriété intellectuelle (Cf 3A-814)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Innovation – invention – croissance - R&D – veille technologique – brevet – marché – protection – secret – propriété industrielle – créativité – stratégie – partenariats – anticipation - besoin client – confidentialité.

Key words

Innovation, invention, growth, R&D, technological watch, patent, market, protection, secret, industrial property, creativity, strategy, partnership, customer need, confidentiality

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Initier, consolider ou participer à une démarche d'innovation dans l'entreprise,
- Evaluer la maturité de l'entreprise par rapport à l'innovation
- Initier et animer des réunions de créativité en s'appuyant sur différents outils et méthodes d'animation ("brainstorming", carte heuristique, matrice des découvertes, méthode des 6 chapeaux ...)
- Appréhender les enjeux de la protection de l'innovation,
- Appliquer (et faire appliquer) les réflexes et précautions nécessaires vis-à-vis de la propriété industrielle
- Appréhender les enjeux de la veille technologique indispensable à toute démarche d'innovation
- Mettre en place des critères d'évaluation de l'innovation (impact marché, impact technologique, risques ...), qui permettent à partir d'un vivier d'idées d'innovation de se focaliser rapidement sur les idées les plus prometteuses pour l'entreprise (compromis "attractivité/accessibilité")

Innovation facteur de croissance

PLAN DÉTAILLÉ

		<i>Nicolas MARANZANA</i>
CM 1 (4 h)	Intro projet, Innovation/Conception, définition du CdC /Projet Historique, définitions, méthodes et outils de conception de produits, management de l'innovation, présentation du projet à mener en sous-groupe et définition du cahier des charges. Méthodes et moyens pédagogiques (apport théorique, étude de cas) : cours théorique et mise en application	
		<i>Camille JEAN</i>
CM 2 (4 h)	Innovation / systémique Définition de l'innovation et des systèmes complexes, distingue les moyens de les appréhender et explique comment mettre en œuvre une démarche systémique dans le cadre d'un projet d'innovation. Méthodes et moyens pédagogiques (apport théorique, étude de cas) : cours théorique et mise en application	
		<i>Fabrice MANTELET</i>
CM 3 (4 h)	Recherche de solutions innovantes Définition de la créativité, une définition des différentes étapes de la session (approche double diamant), une présentation d'outils de créativité et exemples concrets issus d'études réelles avec des industriels. Méthodes et moyens pédagogiques (apport théorique, étude de cas) : cours théorique et mise en application	
		<i>Frédéric SEGONDS</i>
CM 4 (4 h)	Fabrication additive liée au projet Complexités réalisables en FA en partant de cas concrets et en découle, de manière inductive, des méthodes de conception dédiées à la FA et customisables en fonction du procédé retenu. Méthodes et moyens pédagogiques (apport théorique, étude de cas) : cours théorique et étude de cas.	
Une étude de cas est réalisée de fil rouge, par exemple sur la thématique d'un outil de maintenance de vélo innovant réalisé en FA.		
TD (3 h)	Restitution des exposés des principes et mécanismes régissant les démarches d'innovation et de R&D. Mise en évidence des liens avec la croissance. Outils de management de l'innovation. Eléments de marketing et de propriété intellectuelle en relation avec l'innovation pour en faire un relais de croissance.	

BIBLIOGRAPHIE

Propriété industrielle : breveter ou non une invention ? Une question de stratégie ..., Alain Reynaud, Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui, n° 254, avril 2006, p 46-48

Le design fond pour le métal, ETIF, Sèvres, ISSN n° 978-2-7119-0230-9

Les Technologies-clés 2010, Alain Reynaud, Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui n° 249, novembre 2005, p. 9-10

Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui, n° 261, janvier 2007, p 6-7

Les clés pour Innover (Brice Auckenthaler – Pierre d'Huy – Aubry Pierens)

Stratégie et Marketing de l'Innovation Technologique (P. Miller)

La boîte à outils de l'innovation (G. Benoit-Cervantes)

 3A gem 816	Entrepreneuriat Intervenant : Jean-Frédéric NAVARRE – Bernard DELAPORTE – Paul BERGAMO	CM : 7 h TD : ESI : 7 h Evaluation : -
--	--	---

OBJECTIFS

-

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

.

Key words

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

.

PLAN DÉTAILLÉ

Création d'entreprise et entrepreneuriat *Jean-Frédéric NAVARRE*

CM (3 h)

Préparation des moules prototypage *Bernard DELAPORTE*

ESI (5 h) Danielson

Fonderie de cloches et projet carillon *Paul BERGAMO*

CM (4 h)
ESI (2h) Visite Notre Dame

BIBLIOGRAPHIE

 3A com 901	Activation des comportements professionnels Intervenants : Pierre-Yves BRAZIER – Mourad TOUMI	CM : 3 h TD : 3 h TP : Evaluation : cc
--	--	---

OBJECTIFS

Dans la perspective de la fin du cycle de formation d'ingénieur, cet enseignement contribue à donner les conditions actuelles de recrutement des entreprises.

En premier lieu, les différentes étapes d'une recherche d'emploi sont exposées avec les règles de construction d'un CV, d'une lettre de motivation ainsi que les conseils et préparation à l'entretien d'embauche.

Dans un deuxième temps, sont présentées les moyens mis à la disposition des futurs ingénieurs. (réseaux sociaux, aides diverses,...)

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Curriculum vitae, motivation, réseaux sociaux, comportement

Key words

Curriculum vitae, motivation, social networks, behavior

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Construire un CV et rédiger une lettre de motivation
- Savoir préparer un entretien de motivation ou de recrutement
- Connaître les outils et aides disponibles pour réussir sa recherche d'emploi

Préparation à la recherche d'un emploi

Pierre-Yves BRAZIER

PLAN DÉTAILLÉ

CM 1 (3 h) présentation des différentes étapes de recherche d'un emploi – construction d'un CV et d'une lettre de motivation – les critères de recrutement des entreprises – analyse des comportements dans le cadre des entretiens – les réseaux sociaux et les outils mis à disposition des futurs demandeurs

Pierre-Yves BRAZIER et Mourad TOUMI

TD 2 (3 h) Analyse critique de différents CV et lettres de motivation
Mises en situation de recrutement

BIBLIOGRAPHIE

- Enquête nationale sur les ingénieurs (IESF)
- Bilan et perspectives de l'APEC
- Support recherche d'emploi Manpower
- Vidéos YouTube Yves Gautier (EntretienEmbauche.TV)

 3A com 903.a	Langues vivantes : Préparation au TOEIC Intervenant : Graham TULLIS	CM : 58 h TD : 32 h TP : Evaluation : 4 h
--	--	---

OBJECTIFS

Consolider le niveau et permettre aux élèves de réussir l'examen externe. En troisième année les étudiants ayant réussi l'examen TOEIC sont dispensés de cours. Pour ceux qui n'ont pas encore réussi à atteindre le niveau requis, des cours de préparation sont mises en place. Les différentes compétences sont pratiquées et renforcées, et une référence constante est faite aux stratégies de travail en autonomie, apprises en 1^{ère} année et utilisées en 2^{ème} année. Les apprentis doivent assurer un travail personnel suffisant pour surmonter les difficultés qu'ils rencontrent lors du passage du TOEIC. Dans ce but, des exercices basés sur l'examen externe leur seront proposés, ainsi que des examens blancs. Les spécificités du TOEIC seront expliquées et les élèves se familiariseront avec eux tout au long du cursus.

Les objectifs en 3^{ème} année sont donc :

- Améliorer le niveau de compréhension orale
- Améliorer l'aisance et la rapidité de la communication orale
- Prendre l'habitude de donner son opinion, de s'exprimer, de poser des questions
- Révision et pratique intensive pour réussir le score minimum de 785 points au TOEIC
- Consolider le travail en autonomie avec les objectifs du cours.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Avoir un niveau B1 en anglais

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Exercices pour développer les stratégies de compréhension orale et écrite - révision et consolidation des structures grammaticaux - Exercices et entraînements spécifiques au TOEIC - consolidation de stratégies de travail en autonomie

Key words

Exercises to promote strategies for oral and written comprehension - revision and consolidation of grammatical knowledge - exercises and training activities specifically aimed at preparing for the TOEIC exam - development of strategies for working autonomously on language learning

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Atteindre le score minimum de **785** au TOEIC
- Utiliser l'anglais dans le cadre de sa vie professionnelle

Anglais : préparation au TOEIC

Graham TULLIS

PLAN DÉTAILLÉ

35 h de cours en face à face, soit 14 séances de 2h30 (23 h cours+12 h TD) +TOEIC officiel :

- Etude de documents écrits divers (professionnels et presse) comme socle pour la compréhension écrite
- Etude de documents oraux divers comme socle pour la compréhension oral
- Révision des examens blancs et exercices spécifiques au TOEIC, avec individualisation des conseils à chaque étudiant.

Travaux à réaliser :

Le contrôle continu permet à l'étudiant de piloter son apprentissage lui-même, et aussi d'ajuster son travail personnel pour mieux réussir l'épreuve finale.

Chaque semaine, des exercices du type TOEIC seront à préparer pour la séance suivante. Suivant le niveau et les besoins, le professeur peut aussi demander des rédactions, des enregistrements audio ou des exercices de révision générale.

Stage intensif d'anglais à l'étranger

38 heures de cours et 20 heures de TD et official TOEIC

BIBLIOGRAPHIE

 3A com 903.b	Langues vivantes Intervenant : Fanny PEINAUD	CM : 23 h TD : 12 h TP : Evaluation : 4 h
--	---	--

OBJECTIFS

Pour les grands débutants : Apprendre la langue allemande pour répondre aux situations de la vie courante et découvrir des aspects de la culture et de la civilisation allemandes.

Pour les faux débutants : Poursuivre l'apprentissage de l'allemand, consolider ses connaissances ou se perfectionner pour répondre à des situations de la vie courante ou des situations simples de la vie professionnelle.

Niveau d'enseignement proposé : de A1 à A2 + du CECRL (B1 selon le public)

Les objectifs :

- Acquérir des bases grammaticales ou consolider son niveau de langue
- S'entraîner régulièrement aux 5 compétences définies par le CECRL (Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues) : compréhension orale, expression orale en continu, expression orale en interaction, compréhension écrite, expression écrite.
- Acquérir, réviser ou approfondir le lexique courant
- Inciter ou consolider le travail en autonomie afin de poursuivre l'apprentissage seul grâce aux sites conseillés pour travailler l'écoute, la lecture ou le vocabulaire.
- Susciter l'envie de découvrir seul la culture du monde germanophone (films, séries, villes...)

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Pour les grands débutants : aucun prérequis mais une réelle motivation pour acquérir rapidement les bases et progresser dans un temps court.

Pour les faux débutants : une envie de poursuivre l'apprentissage en dehors du cours afin de consolider ses connaissances et en acquérir de nouvelles.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Entraînement régulier aux 5 compétences du CEDRL- acquisition ou consolidation des bases grammaticales. Acquisition ou consolidation du vocabulaire de la vie courante.

Key words

Steady training in the 5 CEFR (Common European Framework of Reference) proficiencies - Aquisition of knowledge or learning consolidation in Grammar Fundamendals. Acquisition of knowledge or learning consolidation in everyday life vocabulary. documents – grammar review – English interaction

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Comprendre des phrases isolées et des expressions fréquemment utilisées en relation avec des domaines immédiats de priorité (par exemple, informations personnelles et familiales simples, achats, environnement proche, travail).
- Communiquer lors de tâches simples et habituelles ne demandant qu'un échange d'informations simple et direct sur des sujets familiers et habituels.
- Décrire avec des moyens simples son environnement immédiat et d'évoquer des sujets qui correspondent à des besoins immédiats.
- Lire et comprendre des textes simples.
- Rédiger des textes simples.
- Maîtriser du vocabulaire de la vie courante ou du vocabulaire simple de la vie professionnelle
- Prononcer avec une correction suffisante pour se faire comprendre

Allemand

PLAN DÉTAILLÉ

Fanny PEINAUD

35 h de cours en face à face, soit 14 séances de 2h30 (23 h cours+12 h TD)

Thèmes abordés :

1. se présenter/ parler de ses goûts / parler de soi et de ses qualités
2. rédiger un CV / rédiger une lettre de motivation (pour les plus avancés)
3. le monde du travail/ les métiers
4. présenter simplement son entreprise
5. simuler un entretien d'embauche
6. faire une proposition/ accepter ou refuser une proposition
7. réagir au téléphone pour prendre rendez-vous, demander à parler à qn, réserver une chambre d'hôtel
8. remplir un formulaire
9. se comporter au restaurant / passer commande
10. l'heure/ les moments de la journée
11. commenter un programme
12. exprimer une intention
13. donner un conseil
14. s'orienter en ville/ demander son chemin/ les directions

Objectifs linguistiques :

1. les règles de base de la syntaxe (phrases déclaratives, interrogatives)
 2. les W-Fragen
 3. le présent, le parfait et le futur
 4. les 6 verbes de modalité (wollen, mögen, können, sollen, müssen, dürfen)
 5. la proposition subordonnée (avec weil, dass, wenn)
 6. la proposition subordonnée infinitive (zu et um...zu)
 7. les connecteurs chronologiques
 8. les conjonctions de coordination (denn, und, oder, aber)
 9. la déclinaison
 10. le nominatif, accusatif, datif
-

SITOGGRAPHIE

- ✓ Le site de la Deutsche Welle (très riche) : <http://www.dw.com/fr/apprendre-lallemand/lernangebote-f%C3%BCr-das-niveau-a1/s-31384>
- ✓ pour des exercices en ligne : allemand facile .com
<https://www.allemandfacile.com/free/exercices/>
- ✓ pour lire des textes faciles : <http://www.nachrichtenleicht.de/>
- ✓ pour réviser le lexique : Quizlet ; Pons trainer vocabulary
- ✓ pour travailler la compréhension orale : Audio lingua
<https://www.audio-lingua.eu/spip.php?rubrique3>

 3A com 903.c	Langues vivantes Intervenant : Florence MBIANGA	CM : 23 h TD : 12 h TP : Evaluation : 4 h
--	---	--

OBJECTIFS

L'objectif principal est de permettre aux étudiants **d'accéder progressivement à une réelle autonomie en anglais**, et notamment dans la compréhension de documents authentiques, auxquels beaucoup d'étudiants sont confrontés dans la vie quotidienne ou professionnelle via internet par exemple, sous forme écrite, audio ou vidéo.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

Les séances s'adressent à des **étudiants de niveau avancé** et ont pour but de les amener à la consolidation et l'acquisition du niveau C1 tel que décrit dans le CECRL. Les étudiants doivent avoir de bonnes bases en anglais à l'écrit comme à l'oral, et ne doivent pas rencontrer de grosses difficultés.

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Exercices de développement du vocabulaire général et spécifique, d'analyse et commentaire de documents, de révision et approfondissement des connaissances grammaticales

Key words

Exercises to acquire and master general and specific vocabulary – analysis and commentary of documents – grammar review – English interaction

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Comprendre une grande gamme de textes longs et exigeants, ainsi que de saisir des significations implicites.
- S'exprimer spontanément et couramment sans trop apparemment devoir chercher ses mots.
- Utiliser la langue de façon efficace et souple dans sa vie sociale, professionnelle et académique.
- S'exprimer sur des sujets complexes de façon claire et bien structurée et manifester son contrôle des outils d'organisation, d'articulation et de cohésion du discours lors de débats, de jeux de rôles, discussions, présentations.

Anglais renforcé

PLAN DÉTAILLÉ

Florence MBIANGA

35 h de cours en face à face, soit 14 séances de 2h30 (23 h cours+12 h TD)

Les cours visent à développer et à approfondir:

- la **compréhension écrite** : par la pratique de la compréhension globale et détaillée à partir de textes authentiques extraits de la presse généraliste de qualité, d'œuvres littéraires, ou sur la base d'autres documents authentiques (publicités, lettres, tracts ...).
- la **compréhension orale** : à partir d'extraits audio ou vidéos de longueur et de difficulté adaptées (entre 2 et 5 min). Les documents audios ou vidéos traitant de sujets d'actualité. Le site et les podcasts du New York Times, les enregistrements de NPR, les TED Talks font partie des sources privilégiées.
- l'**expression écrite** : par la rédaction d'essais d'environ 300 mots dans une langue adaptée à l'exercice. Rédaction de lettre ou de courriel (de nature personnelle ou professionnelle) ainsi que des résumés et des commentaires.
- l'**expression orale** : par la pratique de l'anglais en continu et en interaction par le biais de conversations (en binômes et en groupe), de séances de questions / réponses, de débats sur des sujets divers, exposés des étudiants en rapport avec leurs entreprises et leurs missions respectives.

D'autres types d'exercices peuvent permettre de développer les compétences linguistiques et méthodologiques des étudiants :

- analyse et commentaire de documents iconographiques [L1] [SEP]
- révision et approfondissement des connaissances grammaticales
- développement du vocabulaire général et spécifique [L1] [SEP] (à l'aide de différentes applications en ligne. Exemple : Kahoot, Quizlet)

EVALUATIONS de toutes les compétences.

Exemples d'intitulés de séquences : The Mid-Term Elections in the USA, The Human Body, Transhumanism, The Sharing Economy.

BIBLIOGRAPHIE

Les documents retenus peuvent inclure des textes enregistrés, des extraits de reportages, des documentaires, des dialogues de film, des discours, des conférences. Le site et les podcasts du New York Times, les enregistrements de NPR, les TED Talks font partie des sources privilégiées.

 3A com 905	Visites, Conférences et colloques Evaluation des périodes d'apprentissage Coordinateur : Pierre-Yves BRAZIER	CM : 3 h TD : 10 h TP : ESI : 13 h Evaluation : 2 h
--	---	---

OBJECTIFS

Donner à nos élèves une ouverture sur le monde scientifique et industriel.

Les inciter à s'exprimer et à s'épanouir dans un cadre et un environnement différents de celui de l'Ecole.

Les préparer efficacement à leur future vie professionnelle.

Le but des enseignements sur site industriel est en particulier de favoriser la pédagogie inductive.

PRÉREQUIS (notions importantes, lois, lien avec autres fiches pédagogiques)

aucun

MOTS CLÉS (utilisés comme résumé pour liste des cours ESFF)

Conférences d'actualité - Conseil de suivi des apprentis

Key words

Conferences on current events - Apprenticeship follow-up survey

COMPÉTENCES ACQUISES à l'issue de cet enseignement (CM, TD et TP inclus)

Etre capable de :

- Intervenir de façon active et positive lors d'une visite en entreprise
- Présenter une synthèse orale devant un jury
- Réaliser une synthèse des éléments débattus lors d'une conférence
- Juger de la pertinence du choix du procédé et des matériels

Conférences et colloques

Pierre-Yves BRAZIER

PLAN DÉTAILLÉ

Conférence (3h) sur la protection du patrimoine informationnel (Loïc Goullieux de la DGS)

Midest (5h) – Colloque CTIF (6h) – Découverte du patrimoine culturel du musée de l'artillerie des Invalides (2h) avec Sylvie Leluc (Conservateur)

Prix Lainé – Conseil de suivi des apprentis (réunion d'évaluation des périodes école et entreprise -> 10 h) – Cérémonie sortie

Apprentissage

Maître d'apprentissage – Tuteur Pédagogique

Rapport et soutenance pour la période "Projet de fin d'études" : 1h30 à l'oral devant un jury constitué de 3 modérateurs et du directeur de l'école, puis 30 minutes d'évaluation et restitution avec le maître d'apprentissage et le tuteur pédagogique.

BIBLIOGRAPHIE

Plaquette des entreprises visitées