

## Parcours MADI

# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

### ORGANISATION DES ÉTUDES

#### Master 2 : Parcours « Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie » - MAD1

Le parcours « Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie » s'intéresse à la sélection, la conception, l'optimisation et l'usage d'un matériau innovant : réflexion en amont en vue d'un usage défini, élaboration et mise en valeur de ses fonctionnalités. Ce parcours permet de délivrer à l'étudiant les stratégies pour bien concevoir un matériau d'un point de vue technique (stratégie de choix des matériaux) mais aussi pour répondre à un cahier des charges précis tant scientifique qu'économique et/ou environnemental (conception par l'innovation, design thinking). Dans une telle approche pluridisciplinaire, l'apport du travail en équipe autour de projets définis (projet industriel ou projet design) est essentiel, rassemblant des étudiants de différentes sensibilités.

Le parcours MAD1 est structuré autour d'un tronc commun et d'une coloration au choix parmi 4, mettant l'accent sur une approche ingénierie ou design, sur une ou des familles de matériaux (par exemple, matériaux métalliques ou matière molle) et/ou sur l'impact environnemental (procédés et matériaux durables, sustainable energy and materials).

#### Coloration « Procédés et Matériaux Durables » - C1

La coloration « Procédés et Matériaux Durables » s'intéresse à l'élaboration de matériaux dans le cadre du développement durable. Elle présente un panorama des techniques depuis les plus anciennes (matériaux historiques du patrimoine) jusqu'aux plus modernes (telles que les matériaux pour l'habitat et les systèmes recyclés). Elle analyse les contraintes liées aux ressources, à l'environnement, à la mise en forme technique mais aussi à l'acceptabilité sociale afin de délivrer à l'étudiant des connaissances techniques multidisciplinaires nécessaires à la fabrication des matériaux de notre environnement familier. Elle analyse le comportement des matériaux tout au long de leur cycle de vie, qu'il s'agisse de leur écoconception, de leur durabilité et du recyclage.

#### Coloration « Matériaux Métalliques Innovants » - C2

La coloration « Matériaux Métalliques Innovants » s'intéresse aux propriétés physico-chimiques et mécaniques des matériaux métalliques pour aborder des recherches fondamentales ou appliquées en vue, soit d'améliorer les performances des matériaux, soit de mettre en œuvre de nouveaux matériaux tant à applications structurelles que fonctionnelles. Une attention particulière est portée sur la caractérisation et la mise en œuvre de matériaux spécifiques pour les applications sous sollicitations dans différents environnements.

#### Coloration « Design et Innovation des Matériaux » - C3

La coloration « Design et Innovation des Matériaux » propose une vision intégrée de différents matériaux d'avenir incluant procédés de synthèse, structure ou architecture visée et propriétés physiques associées. Dans ce parcours sont présentées en synergie les propriétés physiques et chimiques des grandes classes de matériaux (métaux, céramiques, inorganiques, polymères,...). A l'issue du parcours, l'étudiant doit savoir imaginer un matériau pertinent et/ou innovant pour une application dont le cahier des charges aura été défini en relation avec les autres acteurs de la conception (designer, responsable du marketing, ...).

#### Coloration « Formulation et mise en forme de la matière molle » - C4

La coloration « Formulation et mise en forme de la matière molle » a pour but de former les étudiants à la formulation de suspensions colloïdales, de solutions de tensioactifs ou de polymères, constituants que l'on retrouve dans de nombreuses applications telles que la détergence, les cosmétiques, l'agroalimentaire ou les matériaux de construction. Dans ce parcours l'étudiant apprendra comment la nature physico-chimique de ces composants contrôle les propriétés interfaciales (moussage, émulsification, mouillage), rhéologiques et mécaniques (seuil d'écoulement...) des formulations via un contrôle des interactions à l'échelle microscopique.

#### Coloration « Sustainable Energy and Materials » - C5

La coloration "Sustainable Energy and Materials" offre une vision d'ensemble des matériaux fonctionnels utilisés dans les dispositifs de conversion et de stockage d'énergie. Les technologies électrochimiques sont en plein essor et suscitent de nouveaux défis par rapport aux matériaux, incluant leur nature et leur structuration jusqu'à l'échelle nanométrique. Les nouveaux concepts sont mis en avant dans tous les domaines abordés. Les UE de cette coloration sont mutualisées avec le Master « Energie » de PSL et sont enseignées en anglais.

# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

Semestre 3 5 UE obligatoires (14 ECTS) + 4 UE optionnelles (16 ECTS)	langue		ECTS	C1	C2	C3	C4	C5
<b>TRONC COMMUN MATERIAUX</b>		<b>117 h</b>	<b>10</b>					
<i>Choisir et imaginer des Matériaux pour la Ville Durable</i>	Fr ou En <sup>1</sup>	39 h						
<i>Conception pour l'Innovation ou Design Thinking</i>	Fr ou En	39 h						
<i>Projet Industriel ou Projet Design</i>	Fr ou En	39 h						
<b>OUTILS ET COMMUNICATION SCIENTIFIQUES</b>		<b>57 h</b>	<b>4</b>					
<i>Langue</i>		20 h						
<i>Semaine PSL Automne</i>	Fr / En	37 h						
<b>COLORATION (3 UE selon coloration)</b>		<b>117 h</b>	<b>16</b>					
<i>Matériaux et Environnement</i>	Fr ou En	39 h		O		X	X	X
<i>Ecoconception</i>	Fr	39 h		O	X	O		X
<i>Matériaux du quotidien : des défis scientifiques</i>	Fr	39 h		X		O	X	X
<i>Tenue en service des matériaux métalliques</i>	Fr ou En	42 h		X	O			X
<i>Métallurgie physique</i>	Fr	42 h			O			
<i>Physico-chimie et formulation des colloïdes</i>	Fr ou En	39 h				X	O	
<i>Formulation et procédés</i>	Fr ou En	39 h					O	
<i>Valorisation des bioressources</i>	Fr	39 h		X				X
<i>Procédés et Revêtements</i>	Fr	39 h		X	X	X	X	X
<i>De l'essai mécanique à la loi de comportement</i>	Fr	39 h			X			
<i>Matériaux du patrimoine et durabilité</i>	Fr ou En	39 h		X				X
<i>Sustainable Energy and Materials</i>	En	60 h						O
<b>Total du S3</b>		<b>294 h</b>	<b>30</b>					
<b>Semestre 4</b> Stage obligatoire de 5 mois minimum, 30 ECTS *			<b>30</b>					
<b>Total du S4</b>			30					
<b>Total du M2</b>		294 h	60					

O : UE obligatoire pour la coloration considérée

X : UE proposée au choix pour la coloration considérée

<sup>1</sup> : Ces cours ne seront dispensés en anglais qu'en cas de présence d'étudiants non francophones inscrits.

# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

La rentrée aura lieu début septembre (jour à définir chaque année).

L'emploi du temps d'une semaine type est le suivant :

	lundi	mardi	Mercredi	jeudi	Vendredi
Matin	*	MAD-BIO MAD-COAT	MAD-FORM MAD-AGE MAD-ENE1	MAD-CHO	*MAD-MECA
Après-midi	MAD-THINK	MAD-PAT MAD-QUOT	MAD-PHYS MAD-PROS MAD-ENE2	MAD-ECO	MAD-MAT MAD-MECA

\*Pour les étudiants en double cursus Chimie ParisTech, ces demi-journées ne sont pas accessibles. L'U.E. MAD-MECA n'est donc pas accessible pour ces étudiants.

L'U.E. MAD-INNOV a lieu sur une semaine complète de novembre.

Les projets associés ont lieu la dernière semaine de janvier, avec quelques jours banalisés les lundis après-midi entre septembre et décembre.

La semaine PSL est la dernière semaine de novembre. Les étudiants doivent suivre une formation proposée au cours de cette semaine d'ouverture.

Les cours de langue sont programmés en soirée de 18h15 à 20h15.


# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

CHOISIR ET IMAGINER LES MATERIAUX POUR LA VILLE DURABLE									
MAD.CHO	<i>Mots clés</i> : Choix des matériaux, performance, relations composition-microstructure-propriétés, conception des matériaux								
Enseignants	Daniel Caurant, Nicolas Lequeux, Alba Marcellan, Cécile Monteux, Richard Portier, Frédéric Prima, Philippe Vermaut								
Coordinateur	Frederic.prima@chimie-paristech.fr								
ECTS 4	Cours 33 h	TD	TP	Tutorat	Écrit	CC	TP	Oral 100%	 ou
<p><b>Descriptif de l'UE</b></p> <p>Cette UE est le cœur du métier de l'ingénieur chimiste en matériaux. Elle donne les outils pour mettre en face le besoin (la fonction et le cahier des charges) et les propriétés des matériaux, de façon à sélectionner le matériau le plus performant. La méthode de stratégie de choix des matériaux d'Ashby est exposée de façon théorique et à travers des études de cas. Les propriétés des matériaux dépendent de leur composition et liaisons chimiques, mais aussi dans une large mesure de leur microstructure. Les relations composition-microstructure-propriétés sont étudiées dans les grandes lignes et à travers des exemples pour les principaux matériaux de la ville : matériaux cimentaires, céramiques, verres et vitrocéramiques, alliages métalliques, polymères. Les matériaux composites et les matériaux architecturés (dont une dimension caractéristique est de l'ordre du mm) sont abordés en tant que matériaux capables d'associer des propriétés a priori peu compatibles, et dans l'idée d'entraîner l'étudiant à imaginer de nouvelles possibilités. Les exemples permettent d'évoquer aussi les fonctions environnementales des matériaux : allègement, isolation thermique en particulier.</p>									
<p><b>Objectifs d'apprentissage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Connaître et pratiquer la méthode d'Ashby de choix des matériaux</li> <li>▪ Connaître les propriétés mécaniques et thermiques des grandes classes de matériaux : céramiques (dont ciments), verres et vitrocéramiques, matériaux métalliques, polymères.</li> <li>▪ Connaître la définition et des exemples concrets de matériaux composites ou architecturés</li> <li>▪ Prendre conscience des besoins en conception de nouveaux matériaux en particulier pour la ville durable</li> </ul>									


# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD.THINK		DESIGN THINKING							
		<i>Mots clés : design, innovation</i>							
Enseignants		Faustine Vanhulle, Damien Ziakovic, Marc Dolger, Corinne Soulié, Hélène Montès							
Coordinateur		<a href="mailto:Corinne.soulie@espci.fr">Corinne.soulie@espci.fr</a> , <a href="mailto:Helene.Montes@espci.fr">Helene.Montes@espci.fr</a>							
<i>ECTS</i>	<i>Cours</i>	<i>TD</i>	<i>TP</i>	<i>Tutorat</i>	<i>Ecrit</i>	<i>CC</i>	<i>TP</i>	<i>Oral</i>	 ou
3	11 h			24 h	30 %	35 %		35 %	
<p><i>Descriptif de l'UE</i></p> <p>Cette UE Design Thinking (MAD-THINK) a pour objectif de montrer comment imaginer un matériau / innover pour un objet précis en interagissant avec d'autres acteurs tels que designer, responsable du marketing, etc...</p> <p>Au cours de cette UE, l'approche « Design Thinking » est présentée et mise en application sur une problématique d'innovation réelle. En 2019, la thématique était « soin personnalisé » proposée par LVMH Recherche.</p> <p>L'UE s'articule entre cours et ateliers dispensés par des conseillers en innovation, des designers et des chercheurs scientifiques. Elle se déroule sur un trimestre, avec une semaine dédiée en novembre et quelques séances isolées de 2 ou 3h en amont et aval.</p> <p>La problématique de départ est d'abord analysée (exemplification de l'existant, sondages, tests) puis repositionnée dans une démarche innovante (répondre à un réel besoin identifié). Les méthodes d'analyse et de repositionnement s'appuient sur des séances d'idéation, sur la préparation d'un cahier de tendances, de tests et de sondages.</p> <p>Des séances de présentation intermédiaires permettent d'itérer le processus, d'affiner le positionnement, de définir la faisabilité technique et le business model et de vérifier la soutenabilité de la solution proposée.</p> <p>Les solutions retenues pour leur potentiel innovant sont développées au cours de l'UE MAD-DES, qui se déroule sur une semaine dédiée fin janvier, précédée d'une séance de présentation début janvier.</p>									
<p><i>Objectifs d'apprentissage</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ identifier l'innovation dans un domaine précis (ne pas confondre innovation et invention...)</li><li>▪ mobiliser les outils du design thinking pour générer des idées innovantes, les tester</li><li>▪ mobiliser les outils du designer pour positionner ses idées par rapport au marché existant (cahier de tendances)</li><li>▪ confronter ses idées à la faisabilité technique existante ou implémentable</li><li>▪ prendre en compte le développement de ses idées (marketing, publics visés, soutenabilité par l'industrie)</li></ul>									



# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD.INNOV		CONCEVOIR POUR INNOVER - INTRODUCTION AUX THEORIES, METHODES ET ORGANISATIONS DE LA CONCEPTION INNOVANTE							
		<i>Mots clés : innovation, ingénierie, conception</i>							
Responsable		Sophie HOOGE							
Coordinateur		Sophie.hooge@mines-paristech.fr							
ECTS	Cours	TD	TP	Tutorat	Ecrit	CC	TP	Oral	
3	37 h								
<i>Descriptif de l'UE</i>									
<p>Face aux enjeux de la compétition par l'innovation, les entreprises doivent s'approprier et développer de nouvelles ingénieries de l'innovation. Elles visent à organiser et maîtriser la conception de nouveaux produits ou systèmes et permettent de concevoir conjointement les dimensions techniques, scientifiques et gestionnaires d'une stratégie d'innovation. Pour comprendre les logiques contemporaines de la conception innovante il est nécessaire de présenter les apports, souvent séparés dans les universités anglo-saxonnes, de l'<i>engineering design</i> (conception réglée) qui est à la base du management classique de projets, avant d'introduire les méthodes de conception innovante (Théorie C-K) les plus récentes qui sont nécessaires pour le management stratégique de la technologie et de l'innovation et le développement collectif des capacités créatives.</p> <p>La formation est une introduction aux enjeux théoriques et pratiques contemporains de la conception. Sa composition est originale pour deux raisons principales :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour comprendre les logiques contemporaines de la conception innovante il y est choisi de <i>présenter conjointement les apports</i>, souvent séparés à tort dans les universités anglo-saxonnes, de l'<i>engineering design</i>, du management stratégique de la technologie et de l'<i>industrial design</i> ;</li> <li>• En mobilisant la base des théories les plus récentes du raisonnement de conception, le cours présente <i>autant les modèles scientifiques que les outils</i> des différents régimes de conception qui traversent l'entreprise contemporaine : conception sauvage des inventeurs-entrepreneurs, conception réglée paramétrique et systématique, conception innovante.</li> </ul> <p>Cette U.E. MAD-INNOV est associée au projet industriel MAD-IND. Ce projet se déroulera sur une semaine bloquée (dernière semaine de janvier) et permettra aux étudiants de mettre en pratique les concepts vus lors de l'U.E. MAD-INNOV autour d'une problématique posée par des industriels.</p>									

# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX


## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD.MAT		MATERIAUX ET ENVIRONNEMENT							
		<i>Mots clés : technologies nouvelles pour l'environnement, procédés économes en énergie et ressources</i>							
Enseignants		P. Barboux, T. Pauporté, V. Lair, S. Lebouil, D. Giaume							
Coordinateur		philippe.barboux@chimie-paristech.fr							
ECTS	Cours	TD	TP	Tutorat	Ecrit	CC	TP	Oral	 ou 
5	21 h			18 h	50%			50%	
<i>Descriptif de l'UE</i>									
<p>Le module porte sur les technologies nouvelles appliquées aux matériaux de l'environnement.</p> <p>Les grandes problématiques du monde durable sont liées à l'énergie, à la disparition de nombreuses ressources minérales et aux pollutions de l'environnement. Les matériaux interviennent à la fois comme solution (isolants thermiques, panneaux photovoltaïques, stockage d'énergie) et comme source de problèmes (pollutions minérales, émissions de CO<sub>2</sub>, manque de substituts, vieillissement).</p> <p>Le cours comportera une partie cours théorique (15 h), des visites de site (9h) et une partie projets tutoré (18 h) portant sur les deux aspects suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Environnement : matériaux pour le stockage et la transformation de l'énergie (photovoltaïque, batteries, thermoélectricité, les bâtiments à énergie positive), les matériaux légers</li> <li>- Economiser les ressources et l'énergie : dans la production de matériaux de grande diffusion (ciments verres ...) ; Les métaux stratégiques : leur économie, leur chimie, leur cycle, leur recyclage</li> </ul> <p>L'étudiant choisira un projet tutoré sur la thématique du cours et il devra présenter une succession d'études et d'analyses chiffrées devant le groupe d'élèves et d'enseignants qui travailleront dans un mode interactif.</p>									
<i>Objectifs d'apprentissage</i>									
<p>L'étudiant doit connaître les derniers développements en matériaux pour l'environnement et en procédés respectueux de l'environnement. Il sait gérer un projet de documentation au fil du semestre et le présenter à ses camarades aux cours de plusieurs séances de brainstorming.</p>									




# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

DE L'ECO-CONCEPTION AU RECYCLAGE							
MAD-ECO	<i>Mots clés : économie circulaire, analyse du cycle de vie, éco-conception, recyclage</i>						
Responsable Coordinateur	Anne Varenne, Professeur, Chimie Paristech anne.varenne@chimie-paristech.fr						
<i>ECTS</i> 4	<i>Cours</i> 15 h	<i>Tutorat</i> 15 h	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i> 50%	<i>C.C.</i>	<i>Oral</i> 50%	
<p><i>Descriptif de l'UE</i></p> <p>L'enseignement est un continuum entre des cours, des séminaires (acteurs du monde professionnel de l'éco-conception, du recyclage, de l'économie circulaire), une participation active des étudiants autour d'un projet et une restitution de l'acquisition des compétences sous forme de présentations. Le travail sous forme de projet aura pour point de départ un produit. Une réflexion des aspects amont et aval de ce produit amènera le groupe à une description du cycle de vie de ce composé. L'objectif de cette formation est d'approfondir les notions par la critique et la construction d'une réflexion approfondie et globale de l'éco-conception, de la gestion des déchets, du recyclage et de l'économie circulaire de façon plus globale.</p>							
<p><i>Objectifs d'apprentissage</i></p> <p>Fournir les principales clés pour aborder l'éco-conception et le recyclage, par une vision scientifique, technique, économique et sociétale, afin que les futurs ingénieurs chimistes deviennent des acteurs de l'innovation qui est un challenge dans ce domaine. L'approche de travail en format projet donnera lieu à une réflexion critique de l'existant afin de déceler des voies innovantes qu'il faudrait approfondir.</p>							



# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD-QUOT		MATERIAUX DU QUOTIDIEN : DES DEFIS SCIENTIFIQUES					
		<i>Mots clés :</i>					
Responsable		Hélène Montes, Professeur, ESPCI Paris					
Coordinateur		<a href="mailto:Helene.Montes@espci.fr">Helene.Montes@espci.fr</a>					
<i>ECTS</i>	<i>Cours</i>	<i>Tutorat</i>	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i>	<i>C.C.</i>	<i>Oral</i>	
4	39 h			100%			
<i>Descriptif de l'UE</i>							
<p>Cette UE a pour objectif de poser les différents enjeux, actuels et futurs, de la conception des matériaux, à travers des matériaux « grand public » dans différents domaines du quotidien. A travers quelques matériaux choisis, cette UE montre le lien entre le cahier des charges des propriétés physiques et chimiques fixées par une utilisation, une application ou un contexte sociétal et sa traduction en termes de questions scientifiques à résoudre pour le respecter. Les aspects associés aux procédés de fabrication sont également abordés.</p> <p>En présentant l'évolution de trois classes de matériaux, les questions scientifiques qui leur étaient ou sont encore associées sont soulevées. La physique et la chimie qui répondent à ces questions sont développées en parallèle.</p> <p>On s'appuie sur des exemples de formulations avancées requises pour fabriquer des matériaux respectant des contraintes multiples et pouvant être contradictoires (confort, législation, environnement, ...) en montrant les évolutions suivies au cours du temps.</p> <p>En 2019, les matériaux présentés étaient :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• les matériaux de construction : les liants tels que le ciment</li><li>• le verre et ses propriétés optiques</li><li>• les emballages : les propriétés mécaniques des polymères</li></ul>							
<i>Objectifs d'apprentissage</i>							
<ul style="list-style-type: none"><li>• - relier les propriétés physiques aux structures chimiques et contraintes des procédés de fabrication</li><li>• choisir les leviers scientifiques permettant de faire évoluer les propriétés d'un matériau (chimie, mise en forme)</li><li>• proposer des approches scientifiques permettant de concevoir des matériaux aux propriétés améliorées ou combinées, voire nouvelles.</li></ul>							


# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD.AGE		TENUE EN SERVICE DES MATERIAUX METALLIQUES					
		<i>Mots clés : durabilité, endommagement, rupture, oxydation</i>					
Responsable		Cécilie DUHAMEL / Anne-Françoise GOURGUES-LORENZON					
Coordinateur		cecilie.duhamel@mines-paristech; anne-francoise.gourgues@mines-paristech.fr					
<i>ECTS</i>	<i>Cours</i>	<i>TD</i>	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i>	<i>C.C.</i>	<i>Oral</i>	 ou 
4	15 h	15 h		100%			
<b>Descriptif de l'UE</b>							
<p>Ce cours porte sur les phénomènes mécaniques et/ou chimiques conduisant à l'endommagement des matériaux métalliques.</p> <p>La première partie du cours se concentre sur l'interaction des métaux et alliages métalliques avec un environnement corrosif à haute température. Dans un premier temps, les concepts de base de la corrosion à haute température seront présentés : outils thermodynamiques, cinétique d'oxydation, mode de croissance des couches. Ces notions seront ensuite mises en œuvre pour décrire et expliquer les différentes formes d'oxydation observées dans les alliages métalliques. Les modes d'endommagement liés à la formation d'une couche d'oxyde en surface seront ensuite traités. La compréhension des mécanismes fondamentaux de corrosion et la familiarisation avec les moyens d'étude quantitatifs de ces phénomènes fourniront un fil directeur nécessaire à la proposition de solutions de prévention et de protection contre la corrosion à haute température. Ce cours se concentrera plus spécifiquement sur l'oxydation à haute température c'est-à-dire sur la réaction avec O<sub>2</sub> gazeux. Toutefois, une excursion vers d'autres formes de corrosion sera proposée au cours des TD et études de cas et/ou en toute fin du cours.</p> <p>La deuxième partie du cours aborde les mécanismes et l'analyse de défaillance sous l'effet de sollicitations mécaniques. Le cours commencera par une séquence introductive d'initiation à la démarche d'expertise (approche, outils et étude de cas) et de rappel des outils mécaniques simples, théoriques et expérimentaux, à la disposition du métallurgiste. Nous aborderons ensuite, à la fois en cours et en travaux dirigés impliquant des études de cas réels, les différents modes d'endommagement et de rupture : ductile (matériaux déformables), fragile (transgranulaire et intergranulaire), rupture « différée » sous l'effet de sollicitations cycliques (fatigue) ou de grande durée dans le temps (fluage). Chacune des situations sera traitée à la fois sous l'angle des mécanismes physiques (et des moyens de contrer, via la microstructure, ces différents modes de défaillance) et sous l'angle des critères de dimensionnement quantitatifs.</p>							
<b>Objectifs d'apprentissage</b>							
<p>Etre capable d'identifier le(s) mode(s) de défaillance de matériaux métalliques et de mettre en œuvre un schéma de raisonnement permettant de s'orienter dans la résolution du problème.</p> <p>Etre capable, devant une classe de matériaux métalliques donnée, d'apprécier rapidement les risques d'endommagement encourus pour les conditions d'utilisation données et d'orienter valablement les études préalables à la mise en œuvre du matériau.</p>							



# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD.PHYS		METALLURGIE PHYSIQUE					
		<i>Mots clés : diffusion, transformation de phases, dislocations</i>					
Responsable		Vladimir ESIN					
Coordinateur		vladimir.esin@mines-paristech.fr					
<i>ECTS</i>	<i>Cours</i>	<i>TD</i>	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i>	<i>C.C.</i>	<i>Oral</i>	
4	15 h	15 h		100%			
<b>Descriptif de l'UE</b>							
<p>Ce cours d'approfondissement en métallurgie physique porte d'une part sur les transformations de phase et les modifications de microstructure dans les alliages métalliques et d'autre part sur les mécanismes de la déformation plastique dans ces alliages.</p> <p>Il s'agit en premier lieu de présenter les concepts de base de la métallurgie physique tels que la diffusion et la thermodynamique des équilibres de phases qui permettent de décrire les transformations de phase au cours de la solidification et des transformations à l'état solide dans les alliages métalliques. La germination, la croissance et le mûrissement des précipités ainsi que les transformations displacives sont abordés sous différents aspects (thermodynamique, cinétique, mécanismes physiques). La présentation des spécificités de la microstructure dendritique et des mécanismes de restauration et de recristallisation complètent l'ensemble des notions nécessaires à la description et la compréhension de la constitution et de l'évolution des microstructures.</p> <p>En second lieu, les concepts de la théorie des dislocations dans les cristaux sont développés de manière à permettre la description de l'aspect physique de la déformation plastique des matériaux cristallins. Ainsi les principes physiques du frottement de réseau, ou des interactions entre dislocations ou avec des atomes d'impureté, ou avec une interface avec un précipité ou un autre grain sont utilisés pour interpréter la limite d'élasticité, d'abord d'un monocristal de métal pur, jusqu'à celle de polycristaux d'alliages multiphasés. Les différents mécanismes du durcissement peuvent alors être corrélés à la composition et aux caractéristiques microstructurales des alliages métalliques telles que les caractéristiques de la distribution de précipités (fraction volumique, taille, distance entre précipités) ou la taille de grain. L'optimisation d'un alliage métallique en terme de limite d'élasticité est alors obtenue grâce à l'ajustement des paramètres de traitement thermique de l'alliage</p>							
<b>Objectifs d'apprentissage</b>							
Maîtriser les concepts de la métallurgie physique à l'origine de la constitution des microstructures et de la déformation plastique des alliages métalliques.							



# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

<b>MAD-FORM</b>	<b>PHYSICO-CHIMIE ET FORMULATION DES COLLOÏDES</b> <i>Mots clés : Formulation, auto-assemblages, polymères, tensio-actifs, particules, interfaces molles, systèmes organisés, suspensions, microémulsions, émulsions, mousses.</i>						
Responsable, Coordinateur	Patrick Perrin, Professeur, UPMC patrick.perrin@espci.fr						
<i>ECTS</i> 4	<i>Cours</i> 39 h	<i>TD</i>	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i> 60%	<i>C.C.</i>	<i>Oral</i> 40%	 ou 
<i>Descriptif de l'UE</i>  Cette UE présente les concepts nécessaires à la compréhension des systèmes complexes formulés que sont les dispersions colloïdales, les surfaces/interfaces et les systèmes auto-organisés qui relèvent de la matière molle. L'approche multi-échelle nous permettra de comprendre comment la maîtrise des interactions se produisant à l'échelle des interfaces détermine souvent les propriétés des systèmes dispersés rencontrés dans de nombreux domaines d'applications tels que la pharmacie, la cosmétique, l'agroalimentaire, le pétrole, la détergence, le bitume...							
<i>Objectifs d'apprentissage</i>  Acquérir une expertise en physicochimie pour la formulation de systèmes complexes appliqués.							


# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD.PROS		FORMULATION ET PROCEDES					
		<i>Mots clés : mise en forme, formulation, polymères, colloïdes</i>					
Responsable		Cécilie Monteur, ESPCI					
Coordinateur		cécile.montoux@espci.fr					
<i>ECTS</i> 4	<i>Cours</i> 39 h	<i>TD</i>	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i>	<i>C.C.</i>	<i>Oral</i>	 <i>ou</i> 
<i>Descriptif de l'UE</i>							
<p>Dans la plupart des procédés de mise en forme des matériaux, qu'ils soient traditionnels ou innovants, il existe des étapes où les matériaux sont sous forme de « fluides complexes », tels que des suspensions colloïdales concentrées ou des polymères fondus, qui doivent être mis en écoulement puis solidifiés. Pour obtenir un matériau final aux performances voulues et développer des procédés « verts » peu coûteux en énergie et peu polluants, il est nécessaire de maîtriser ces étapes, qui sont très sensibles aux formulations utilisées.</p> <p>Par exemple lors qu'on cherche à fabriquer des biomatériaux par impression 3D les propriétés d'écoulement de l'hydrogel utilisé jouent un rôle très important. De même, lors de solidification par séchage d'un matériau de construction, il est nécessaire de contrôler la formulation pour empêcher la formation de fissures et obtenir un matériau homogène.</p> <p>Nous verrons dans cette UE que jouer sur les formulations a un effet direct sur les interactions entre les constituants à l'échelle moléculaire et permet de contrôler les propriétés d'écoulement, mais aussi les phénomènes de transferts. Nous aborderons avec un point de vue physico-chimiste des grands procédés de mise en forme tels que l'émulsification et l'encapsulation, l'impression 3D, l'extrusion ou l'injection des polymères, la filtration, le séchage.</p>							
<i>Objectifs d'apprentissage</i>							
A l'issue de cette UE, les étudiants connaîtront les leviers de formulation mobilisables pour contrôler des procédés de mise en forme.							


# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD-BIO		VALORISATION DES BIORESSOURCES					
		<i>Mots clés : Biomasse, bioraffinerie, bioproduits, biomatériaux</i>					
Responsable	Frederic de Montigny, Maître de conférences, Chimie Paristech						
Coordinateur	frederic.de-montigny@chimieparistech.psl.eu						
<i>ECTS</i>	<i>Cours</i>	<i>visite</i>	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i>	<i>C.C.</i>	<i>Oral</i>	
4	39 h	10 h		50%		50 %	
<i>Descriptif de l'UE</i>							
<p>Dans un contexte économique et environnemental qui nécessitera dans le futur de trouver des solutions alternatives à l'utilisation du pétrole comme source de carbone, l'UE « valorisation des bioressources » présente les principaux procédés (thermiques, chimiques, biochimiques) qui permettent de séparer et transformer les constituants de la biomasse (cellulose, hémicellulose, lignine) en produits finis (carburants, produits intermédiaires, matériaux).</p>							
<i>Objectifs d'apprentissage</i>							
<p>Donner aux élèves ingénieurs chimistes une vision globale des potentialités que représente la biomasse végétale comme source alternative au pétrole pour la fabrication de carburants, de matériaux et de produits chimiques.</p>							

# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX


## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD-COAT		PROCEDES ET REVETEMENTS							
		<i>Mots clés : dépôt, couches minces, voie sèche / humide, traitement de surface</i>							
Responsable, Coordinateur		Frédéric Rousseau, Chimie parisTech frederic.rousseau@chimie-paristech.fr							
<i>ECTS</i> 4	<i>Cours</i> 27h	<i>TD</i>	<i>TP</i> 6h	<i>Tutorat</i> 3h	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i>	<i>CC</i>	<i>Oral</i> 100 %	
<i>Descriptif de l'UE</i>									
<p>Cette UE présente aux étudiants des exemples de traitements de surface et de dépôts organiques / inorganiques issus de la littérature scientifique, de l'industrie et des études menées par les équipes de recherche des Mines, de l'ESPCI, de l'ENSCP. Ils prendront ainsi connaissance des propriétés et des techniques de modification de surface par voies humide (Sol gel, électrochimie, solution colloïdale...) ou voie sèche (techniques physique ou chimique de dépôt en phase vapeur et / ou plasma froid, cold spray, plasma thermique...) selon l'application envisagée. Le cours comprendra des démonstrations rapides et des études de cas illustrées (par exemple réalisation d'électrodes pour les cellules solaires etc...). Nous proposons en complément des travaux pratiques (et de découverte) en laboratoire : pilotage de réacteurs et réalisation de traitement de surface ou dépôt / couche mince - caractérisation physicochimique des matériaux traités / obtenus. Enfin les étudiants seront formés à un logiciel de simulation professionnel (COMSOL) capable de modéliser des procédés de dépôt ; ils auront l'occasion de simuler le dépôt d'une couche mince de silicium dans un réacteur CVD (Chemical Vapor Deposition).</p>									
<i>Objectifs d'apprentissage</i>									
<ul style="list-style-type: none"><li>- L'étudiant aura compris l'intérêt de déposer une fonction chimique ou un matériau pour conférer de nouvelles propriétés à une surface (résistance à la corrosion, à la chaleur, isolation /conductivité électrique, mouillabilité, propriété catalytique et / ou électrochimique...)</li><li>- Il aura pris connaissance des phénomènes physique et chimique mis en jeu lors de dépôt de matière suivant différents procédés par voie humide ou par voie sèche ;</li><li>- il sera capable de choisir un type de dépôt (mince, épais) en fonction d'une application envisagée ;</li><li>- L'étudiant aura pris conscience de la nécessité d'adapter le procédé à utiliser à la surface et au type et caractéristiques de dépôt envisagé ;</li><li>- Il saura proposer des techniques de diagnostic pertinentes pour étudier et caractériser le couplage procédé / traitement de surface ;</li><li>- L'étudiant sera capable de sélectionner des techniques d'analyses du matériau permettant de valider la modification de surface ou le dépôt qui a été réalisé.</li></ul>									





# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

<b>MAD-MECA</b>	<b>DE L'ESSAI MECANIQUE A LA LOI DE COMPORTEMENT</b> <i>Mots clés : .comportement mécanique, expérimentation, simulation numérique</i>						
Responsable, Coordinateur	Alain KÖSTER & Djamel MISSOUM-BENZIANE alain.koster@mines-paristech.fr; djamel.missoum-benziane@mines-paristech.fr						
<i>ECTS</i> 4	<i>Cours</i> 21 h	<i>TD/TP</i> 18 h	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i> 100%	<i>C.C.</i>	<i>Oral</i>	
<b>Descriptif de l'UE</b> <p>Cette UE a pour objectif d'être une introduction à la conception et au dimensionnement de structures. Elle s'adresse à des étudiants ayant un profil matériau mais souhaitant s'ouvrir au comportement mécanique de matériaux métalliques et à la relation microstructure / propriétés. Elle a pour vocation de donner les bases suffisantes en mécanique des matériaux et en simulation numérique pour être en mesure d'échanger sur ces sujets avec des spécialistes du domaine.</p> <p>La conception et le dimensionnement de structures nécessitent de connaître le comportement mécanique des matériaux dans des conditions données mais aussi d'être en mesure de le modéliser afin de pouvoir le prédire via des simulations numériques. C'est pourquoi une introduction aux calculs par éléments finis sera proposée.</p> <p>Cette UE se déroulera en laboratoire sur 7 journées entières. Elle s'articulera autour de cours magistraux, de travaux dirigés ainsi que de travaux pratiques au cours desquels les étudiants seront amenés à instrumenter, réaliser et analyser divers essais mécaniques. Les résultats expérimentaux obtenus serviront de données d'entrée aux calculs éléments finis qui permettront d'une part de reproduire les essais expérimentaux réalisés (identification de lois de comportement), d'autre part, de prédire le comportement du matériau pour d'autres sollicitations extérieures.</p>							
<b>Objectifs d'apprentissage</b> .							


# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

<b>MATERIAUX DU PATRIMOINE ET DURABILITE</b>							
<b>MAD-PAT</b>		<i>Mots clés : Matériaux du patrimoine, vieillissement, corrosion</i>					
Enseignants		O. Majérus, G. Wallez					
Coordinateur		Odile.majerus@chimie-paristech.fr					
<i>ECTS</i> 4	<i>Cours</i> 35 h	<i>Tutorat</i> 6 h	<i>Exam</i>	<i>Ecrit</i> 50%	<i>C.C.</i>	<i>Oral</i> 50%	 <i>ou</i> 
<p><i>Descriptif de l'UE</i></p> <p>La maîtrise des matériaux a été, et reste un des moteurs de l'évolution des civilisations. Les matériaux, généralement très complexes et variés (verres, céramiques, matériaux organiques et organométalliques, métaux, ...), ont d'abord été créés par l'homme, puis ont évolué dans un environnement lui-même variable (par exemple de l'enfouissement jusqu'au milieu final : le musée). Ces matériaux, témoins de l'histoire, gardent la mémoire de leur origine et de leur évolution, imprimée dans leur structure à toutes les échelles allant de l'atome aux échelles nano, micro et macroscopiques. Les mécanismes de leur vieillissement dépendent des différentes classes de matériaux (corrosion, fatigues mécaniques ruptures, frottement abrasion, fractures fragiles etc..) et rencontrés dans différents domaines de l'industrie ou de la vie courante. La compréhension de l'évolution des matériaux du passé doit aider à comprendre et anticiper l'évolution des matériaux du présent. L'UE partira de l'exemple de matériaux historiques pour ouvrir sur tous ceux du milieu industriel. Elle présentera les différents modes de ruine des différentes classes de matériaux et elle se penchera sur les modes de remédiations en surface et en massif</p>							
<p><i>Objectifs d'apprentissage</i></p> <p>Apporter aux futurs ingénieurs travaillant dans le domaine des matériaux des connaissances indispensables et une culture générale essentielle, depuis la synthèse des matériaux jusqu'à leur utilisation finale, en passant par leur mise en forme. Comprendre le couplage mécanique - corrosion, les mécanismes de rupture, les surfaces et interfaces.</p> <p>Alternances intervention patrimoine/durabilité</p>							

# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

MAD-ENE1 et 2	<b>SUSTAINABLE ENERGY AND MATERIALS</b> <i>Mots clés : photovoltaïque, piles à combustible, hydrogène, batteries, Thermoélectriques, piézoélectriques...</i>						
Responsable, Coordinateur	Virginie LAIR Virginie.lair@chimieparistech.psl.eu						
ECTS 8	Cours 90 h	TD/TP	Exam	Ecrit 100%	C.C.	Oral	
<b>Descriptif de l'UE</b> <p>L'accroissement de la demande mondiale en énergie nécessite de trouver des alternatives aux ressources fossiles. Nous faisons de plus en plus appel à des sources d'énergie naturelles (solaire avec le photovoltaïque, éolien, hydrodynamique) mais intermittentes. Il est donc nécessaire de coupler ces sources avec des systèmes permettant la récupération et le stockage de ces énergies (batteries, supercondensateurs,...). La contrainte environnementale forte mène vers le développement de systèmes de stockage propres, tels que les piles à combustible. Cependant, il est temps d'arrêter cette course à plus d'énergie, et de limiter notre consommation. Nous verrons dans le cadre de l'habitat, quels matériaux intelligents peuvent être utilisés pour conserver l'énergie (matériaux thermo-isolants, thermoélectriques, piézoélectriques...).</p> <p>Nous développerons particulièrement dans chaque cas les technologies matures, les nouvelles approches, certains aspects de modélisation ainsi que l'enjeu environnemental avec le recyclage.</p>							
<b>Objectifs d'apprentissage</b> <p>Après avoir suivi cette UE, les étudiants seront capables :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- de comprendre les phénomènes se produisant au sein d'une batterie ;</li><li>- de reconnaître les réponses typiques d'un dispositif de stockage en fonction de la chimie mise en jeu ;</li><li>- de calculer des énergies et des puissances fournies à partir de résultats de tests électrochimiques classiques ;</li><li>- d'adapter un dispositif de stockage en fonction du cahier des charges de l'application</li></ul>							

# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

### INFORMATIONS PRATIQUES

#### Etablissement d'inscription

Chimie ParisTech  
11 rue Pierre et Marie Curie  
75005 PARIS  
[www.chimie-paristech.fr](http://www.chimie-paristech.fr)

#### Lieux d'enseignement

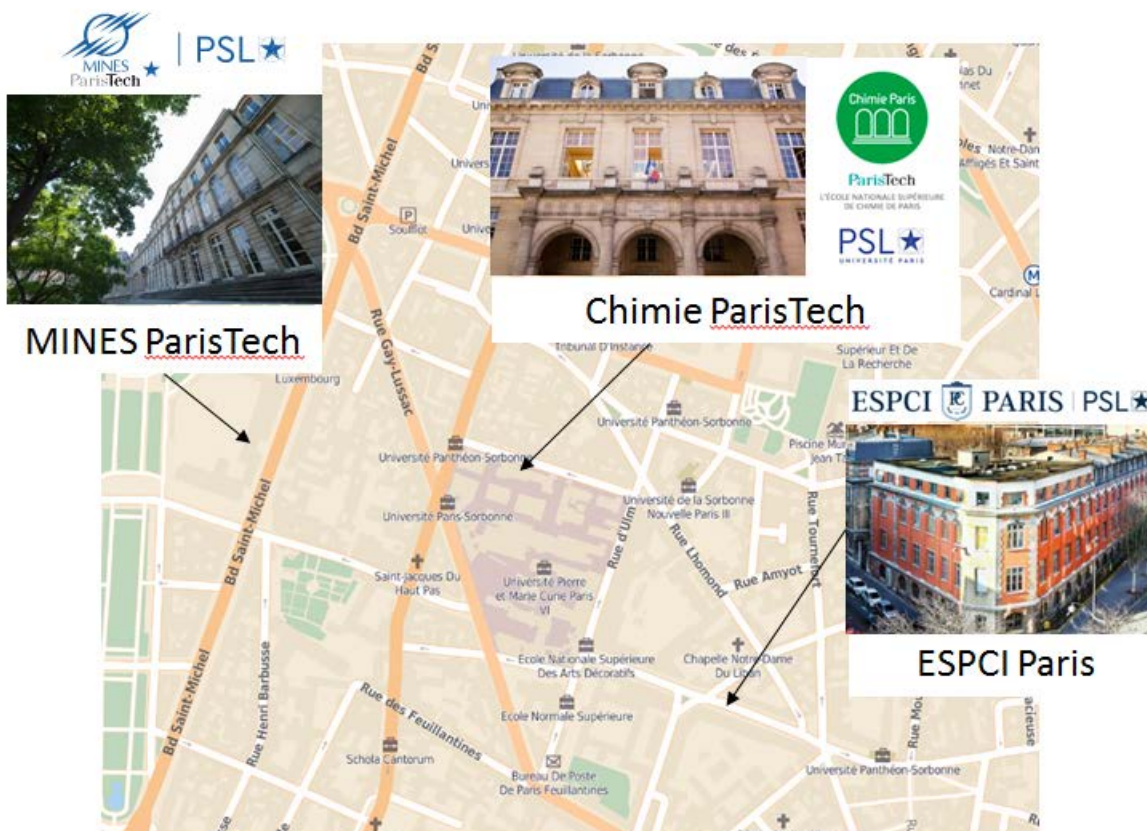
La très grande majorité des enseignements a lieu dans les trois établissements partenaires du master : Chimie ParisTech, MINES ParisTech, ESPCI Paris.

MINES ParisTech  
60 boulevard Saint-Michel  
75006 Paris  
[www.mines-paristech.fr](http://www.mines-paristech.fr)

ESPCI Paris  
10 rue Vauquelin  
75005 PARIS  
[www.espci.fr](http://www.espci.fr)

Une partie des UE du parcours MADI est mutualisée avec des UE des cycles ingénieurs des établissements partenaires.

Ces établissements sont tous situés en plein cœur du Quartier Latin.



# MASTER SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

## Parcours M2 Matériaux d'Avenir : Design et Ingénierie

### Contacts

#### **Mention Sciences et Génie des Matériaux :**

Cécilie Duhamel & Domitille Giaume, co-directrices ([contact.master-sgm@psl.eu](mailto:contact.master-sgm@psl.eu))

<https://www.psl.eu/formation/master-sciences-et-genie-des-materiaux>

#### **Parcours MADI :**

- Coloration « Procédés et Matériaux Durables » : Domitille Giaume
- Coloration « Matériaux Métalliques Innovants » : Cécilie Duhamel
- Coloration « Design et Innovation des Matériaux » : Corinne Soulié
- Coloration « Formulation et mise en forme de la matière molle » : Cécile Monteux
- Coloration « Sustainable Energy & Materials » : Virginie Lair

**Welcome Desk PSL** : [welcomedesk@psl.eu](mailto:welcomedesk@psl.eu) / 01 75 00 02 91

Le Welcome Desk accompagne les étudiants internationaux primo-arrivants dans leurs démarches administratives.

Tout au long de l'année, l'équipe du Welcome Desk PSL, composée d'étudiants bilingues, organise également de nombreuses activités: tandems linguistiques, ateliers culinaires, joggings collectifs, visites de Paris, soirées étudiantes, etc.

Chaque semaine, la newsletter du Welcome Desk vous informera des activités disponibles.

Rejoignez-les sur Facebook : PSL Welcome desk