

<b>5CI606 Matériaux inorganiques finalisés</b>									
Mots clés : isolants – métaux – semi-conducteurs – conducteurs ioniques – matériaux pour le stockage de l'énergie et les batteries – diélectriques linéaires et non-linéaires – matériaux magnétiques – matériaux pour la photonique – luminescence – dispositifs luminescents – verres – amorphes									
Responsable Gwenaëlle Rousse, maître de conférences section 28, Sorbonne Université									
ECTS	Cours	TD	TP	Tutorat	Ecrit	CC	TP	Oral	Eval. répartie
6	44	0	0	1	60			40	oui
<i>Descriptif de l'UE</i>									
<p>Cette UE, basée sur les relations structure – propriétés – mise en forme (couches minces, cristaux, verres, céramiques), se situe à la frontière avancée des recherches actuelles sur les matériaux et leurs applications. Ceux-ci englobent les verres industriels ou du patrimoine, les matériaux pour la photonique (lasers, éclairage, scintillateur, technologie quantique), la microélectronique classique (semi-conducteurs, jonctions, diodes) et les matériaux conducteurs ioniques pour batteries et stockage de l'énergie.</p> <p>Le cours s'intéresse ainsi aux grandes familles de matériaux inorganiques fonctionnels (conducteurs, diélectriques, magnétiques, photoniques) à partir de leurs compositions chimiques, leurs structures cristallines (locale et à longue distance, présence de défauts) et leurs structures électroniques. Chaque famille de matériaux est étudiée dans une approche globale, en utilisant les notions de chimie du solide, afin de dégager une stratégie de synthèse et de mise en forme optimales.</p> <p>Les enseignements seront dispensés majoritairement sous forme de cours illustrés de nombreux exemples concrets. Les étudiants analyseront également chacun une publication différente qu'ils présenteront à leurs pairs, afin de s'appropriier la littérature scientifique et les différents axes de recherche actuels du domaine des matériaux fonctionnels.</p>									
<i>Objectifs d'apprentissage</i>									
<p>A l'issue de la formation, l'étudiant(e) sera en mesure de comprendre et d'expliquer les liens entre synthèse, structure cristalline, propriétés des matériaux, et leurs applications. Il/elle sera capable de comprendre et de porter un regard critique sur les travaux publiés dans ce domaine, et de restituer sous forme d'exposé oral construit collectivement (par groupe de 4) les enjeux, approches et solutions proposées. Suite à cet enseignement, l'étudiant(e) aura acquis une culture des problématiques actuelles portant sur les matériaux fonctionnels.</p>									
<i>Prérequis</i>									
<p>Connaissances de base (niveau licence) en chimie du solide et cristallographie. L'étudiant(e) doit savoir déterminer un état d'oxydation à partir de la formule d'un composé, la configuration électronique d'un atome ou d'un ion, est capable d'analyser une structure cristalline (type de liaisons, coordinence). La notion d'orbitales atomiques/moléculaires est aussi requise. L'étudiant(e) est capable de mener quelques calculs mathématiques (exponentielles...).</p>									
Langue <sup>(1)</sup>	Cours, TD, TP						Documents	Bibliographie	
Français									

(1) D'une manière générale, les documents de cours sont à rédiger en anglais. Les sujets d'examen sont en anglais ou accompagnés d'une explication en anglais s'il y a des étudiants non francophones.

## Description de l'UE

L'UE 5C606 comporte 3 enseignements indépendants et complémentaires : les matériaux électroniques, magnétiques et les conducteurs ioniques, les matériaux pour la photonique, et les verres industriels. Chaque

cours est construit de manière équilibrée entre un contenu strictement académique et des développements récents dans le domaine, et illustré par des applications technologiques.

Matériaux électroniques, magnétiques et conducteurs ioniques (20h dispensés par Gwenaëlle Rouse, Collège de France-Sorbonne Université, enseignement sur tout le semestre)

*Matériaux électroniques* : Structure de bandes, métal, isolant, semi-conducteurs

Métal : modèle de Drude, modèle des électrons libres, effet de la température

Semi-conducteurs : notion de gap, structure cristalline et électronique du Si, Ge, semi-conducteurs dopés, semi-conducteurs III-V et IV-VI ; applications au jonctions p-n, diodes, cellule photovoltaïque, effet de la température et des dopants

Isolants : isolants de Mott ; modèle de Hubbard

Comportement électronique de quelques oxydes de métaux de transition

*Conducteurs ioniques* : conduction dans un solide, conducteurs cationiques, conducteurs au proton, à l'oxygène, chimie d'intercalation, applications au stockage de l'énergie, batteries

*Matériaux magnétiques* : susceptibilité magnétique, origine microscopique du magnétisme, diamagnétiques, paramagnétiques, antiferromagnétiques, ferromagnétiques, loi de Curie et Curie-Weiss, domaines de Weiss et parois de Bloch, applications

Matériaux pour la photonique (12h dispensés par Alban Ferrier, ChimieParisTech, première partie du semestre)

Les matériaux photoniques jouent un rôle central dans une variété d'application, comme les télécommunications, la métrologie, les procédés de fabrication (gravure, découpe), la médecine.... Cet enseignement propose de détailler les aspects essentiels (dopants, structures, propriétés spectroscopiques) pour la conception de matériaux photoniques. Dans un premier temps, les concepts de base de la luminescence (absorption, émission spontanée et émission stimulée) seront rappelés, puis dans un second temps, utilisés sur des exemples d'applications récentes.

Mots clefs : lanthanides, métaux de transition, spectroscopies optiques, champ cristallin, laser, scintillation, luminescence persistante, information quantique.

Verres industriels (12h dispensés par Laurence Galois, IMPMC, Sorbonne Université, seconde partie du semestre)

Les verres industriels sont au cœur des matériaux d'intérêt économiques. L'origine du verre et son utilisation précoce (verres naturels archéologiques), ses applications dans le développement durable, les communications, la vitrification des déchets nucléaires, entre autres relèvent de la connaissance des relations entre la structure, la réactivité chimique et les propriétés de ces matériaux. Les recherches menées sur leur durabilité et le vieillissement de ces matériaux seront abordés. Les techniques d'étude des verres seront présentées (e.g. techniques spectroscopiques et microscopies). Des exemples de recherches récentes seront discutés comme l'utilisation des matériaux vitreux à hydraulicité latente comme substituts de choix pour les matériaux cimentaires dans le cadre de la transition énergétique.

Mots clefs : Verres naturels, pouzzolanité, hydraulicité latente, verres industriels, fabrication des verres, verres nucléaires, verres archéologiques, altération (atmosphérique, aqueuse) des verres, réactivité de surface, relations structure-propriétés, spectroscopies (XAS, optique, IR), microscopies (MEB, MET), tomographie X.

### Projet Tutoré

En parallèle avec les cours, les étudiants sont répartis en groupes de 4, chaque groupe de 4 constituant un groupe thématique. Au sein de ce groupe, chaque étudiant analyse une publication scientifique qui lui est fournie (en anglais), les 4 publications étant reliées au thème du groupe. Les étudiants sont guidés dans leur lecture par un enseignant, lors de rendez-vous personnalisés. L'enseignant accompagne l'étudiant pour comprendre l'article, savoir ce qu'il est pertinent de retenir et ce qui ne l'est pas dans le cadre de l'UE. Les quatre étudiants du même groupe thématique travaillent ensemble pour échanger sur leurs articles respectifs, de façon à les mettre en perspective pour créer une restitution orale commune (environ 30 minutes, suivie de questions).

L'ensemble des groupes présente sa synthèse lors d'une matinée scientifique, à laquelle assiste l'ensemble des étudiants et des enseignants. Chaque exposé est complétée par une brève discussion sous forme de questions-réponses entre le groupe et l'auditoire.

L'objectif de ce tutorat est d'acquérir des clés pour la lecture et la synthèse d'articles scientifiques, ainsi que de développer la communication entre pairs autour d'un thème de recherche.

### Évaluation

L'évaluation est répartie de la manière suivante : 30% Écrit en milieu de semestre portant sur le cours de Matériaux pour la Photonique et la première partie du cours sur les Matériaux électroniques, magnétiques et conducteurs ioniques / 30% Écrit en fin de semestre portant sur le cours de Verres Industriels et la seconde partie du cours sur les Matériaux électroniques, magnétiques et conducteurs ioniques / 40% projet tutoré.

### Ressources

Solid State Materials Chemistry, P. M. Woodward, P. Karen, J. S. O. Evans, T. Vogt, Cambridge University Press 2021

The Electronic structure and Chemistry of Solids, P. A. Cox, Oxford Science Publications

Introduction to Solid State Chemistry, Smart and Moore, Masson

Cours de Chimie du Solide, J. P. Boilot, Ecole Polytechnique

Basic Solid State Chemistry, A. R. West, Wiley

Magnetism and magnetic materials, J. M. Coey, Cambridge ed.