



institut de recherche  
sur les céramiques



UMR CNRS 7315



تجارت



# ircer

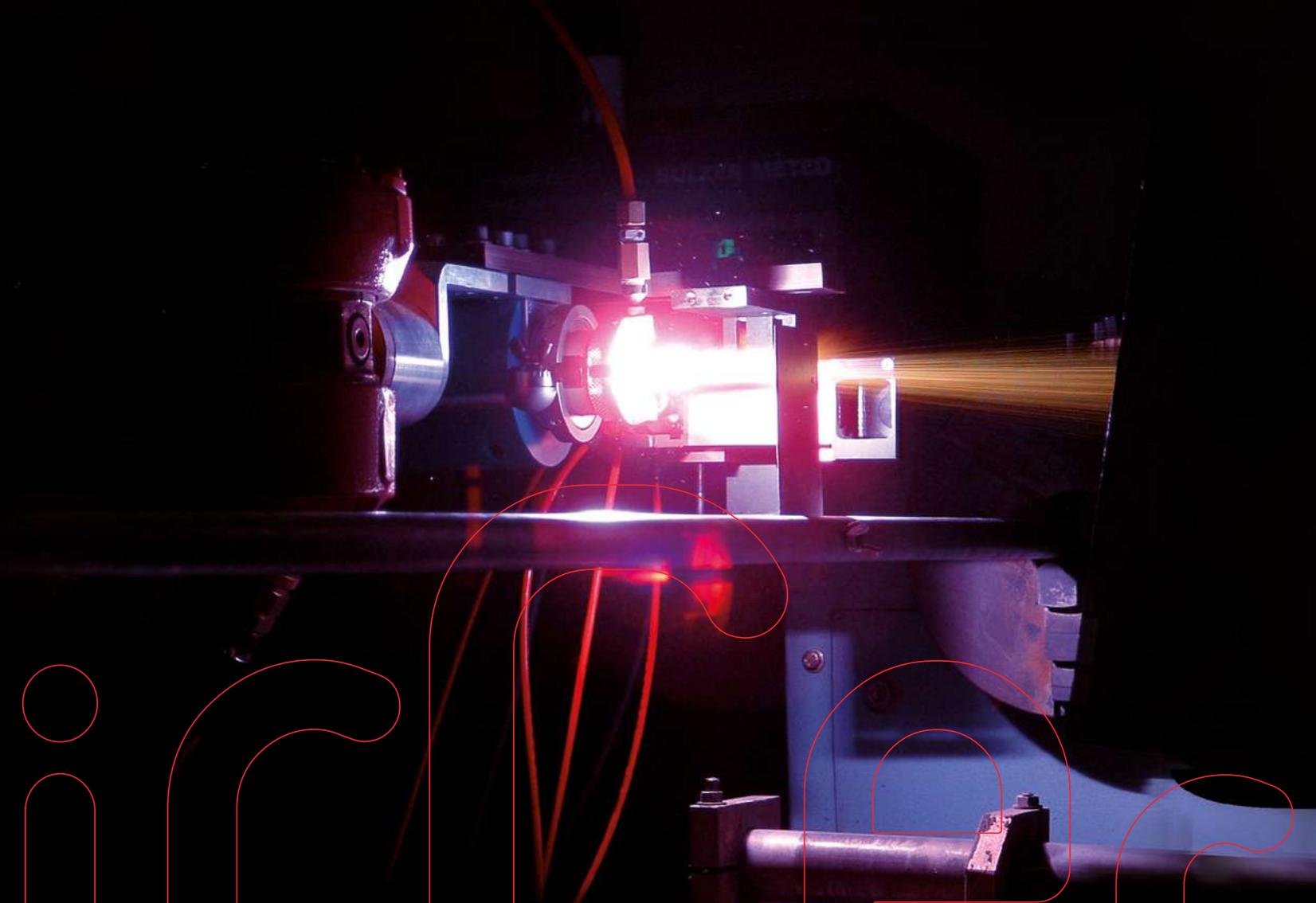


## Recherche et innovation en céramiques

**LES TRAVAUX DE L'INSTITUT DE RECHERCHE SUR LES CÉRAMIQUES - IRCER -** ont pour objet l'étude des transformations de la matière intervenant dans la mise en œuvre de procédés céramiques et de procédés de traitements de surface. L'activité du laboratoire s'inscrit ainsi à l'intersection du domaine des matériaux - céramiques pour la plupart - et de l'ingénierie des procédés.

**IMPLANTÉ EN RÉGION NOUVELLE AQUITAINE, À LIMOGES,** ville berceau de l'industrie de la céramique en France, l'IRCER établit aujourd'hui le lien entre tradition et modernité en innovant dans le développement de céramiques de très haute technologie répondant aux nouveaux enjeux industriels et sociétaux (énergie, technologie de l'information et de la communication, santé, écomatériaux...). L'IRCER regroupe sur 8500 m<sup>2</sup>, dans un bâtiment unique nommé «Centre Européen de la Céramique», l'ensemble de ses personnels (200 membres) et de ses équipements.

**RECONNU INTERNATIONALEMENT,** l'institut associe des équipes de chercheurs CNRS et d'enseignants-chercheurs de l'Université de Limoges, en chimie, physique et mécanique des matériaux base-céramiques, et en physique des procédés plasmas, ainsi que des ingénieurs, techniciens et personnels administratifs (ITA/BIATSS). Ces derniers assurent les fonctions supports essentielles aux activités du laboratoire et, en particulier, le fonctionnement des plateformes CARMALIM (CARactérisation des MATériaux de LIMoges) et SAFIR (Surface Advanced Functionalization for Industry and Research).





# De l'atome aux procédés

L'IRCER se structure autour de points forts qui constituent son cœur de métier et contribuent à la visibilité du laboratoire. La pluridisciplinarité entre la science des matériaux et l'ingénierie des procédés, ainsi que la combinaison d'approches fondamentales et appliquées, visent à comprendre, caractériser, maîtriser, modéliser les différents processus qui conduisent à l'obtention d'un objet ou d'un dépôt présentant une ou plusieurs propriétés en vue d'un usage donné. Au-delà de la capacité de l'IRCER à innover, la valorisation des résultats auprès du monde socio-économique est également inscrite dans ses gènes.

**L'APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE** réunit, dans quatre axes de recherche complémentaires et deux thèmes transversaux, des équipes constituées de chercheurs et enseignants-chercheurs issus de divers horizons scientifiques (chimie, physique, mécanique).

**LE DÉVELOPPEMENT DE CÉRAMIQUES INNOVANTES** signifie contrôler les arrangements des entités depuis l'atome jusqu'à l'objet pour générer des propriétés nouvelles ou améliorées, qu'il s'agisse de matériaux cristallins ou amorphes. La caractérisation de ces arrangements nécessite d'avoir recours à des outils analytiques de très haute résolution. Ces outils sont, pour la plupart, combinés à des simulations numériques et à la synthèse de (nano)matériaux modèles afin de mieux appréhender les relations structure/propriétés.

**LE DÉVELOPPEMENT DE PROCÉDÉS INNOVANTS**, objectif affiché de l'IRCER, s'appuie sur la compréhension des mécanismes fondamentaux de la mise en forme de matériaux massifs ou de couches et de leur consolidation, dans le but d'atteindre des propriétés améliorées ou des fonctions spécifiques. Le panel de procédés étudiés et potentiellement hybridés est très large : procédés physiques de dépôt par plasmas et/ou lasers, voie sol-gel, impression numérique 2D/3D, procédés de frittage non conventionnels, etc.

**LA LOGIQUE « MATÉRIAU + PROCÉDÉ => PRODUIT »** induit, dans le domaine des matériaux de structure comme dans celui des matériaux fonctionnels, de nombreuses collaborations avec les acteurs industriels concernés par la production de pièces ou de composants, ou encore avec les concepteurs impliqués dans les technologies utilisatrices de ces matériaux (énergie, technologies de l'information et de la communication (TIC), santé, mécanique, transports, transformation des matières premières...).

**D'IMPORTANTES MOYENS MATÉRIELS** sont mis en œuvre pour élaborer et caractériser les matériaux aux différentes échelles, et pour étudier diverses propriétés chimiques et physiques pertinentes en relation avec les propriétés visées. Il s'agit là d'un atout stratégique majeur pour les thèmes de recherche de l'IRCER se situant au niveau fondamental. D'autres projets menés dans le cadre de partenariats nationaux et internationaux stimulés par des perspectives d'exploitation industrielle bénéficient aussi de la performance du vaste plateau technique dédié.



# Des applications innovantes

**L'IRCER élabore et maîtrise les propriétés des objets / dépôts à base de céramiques avec des applications innovantes dans de nombreux domaines où l'avancée technologique est stratégique.**

## **POUR LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION**

- Miniaturisation des composants : élaboration par ablation laser, PVD (Physical Vapor Deposition) ou PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) de couches minces pour composants et systèmes micro-électro-mécaniques
- Conception et développement de procédés d'élaboration de matériaux nanocomposites multifonctionnels
- Nouvelles architectures de composants : élaboration par fabrication additive (stéréolithographie, impression jet d'encre, micro-extrusion 3D...) de composants diélectriques micro-ondes, de circuits à trois dimensions et de capteurs multifonctionnels
- Nouveaux matériaux vitreux à base d'oxyde de tellure présentant une non-linéarité optique des deuxième et troisième ordres
- Élaboration de fibres et/ou de guides d'ondes à partir de ces matériaux
- Matériaux céramiques polycristallins transparents de grande dimension pour amplification laser de puissance
- Nouveaux composés oxydes piézoélectriques / ferroélectriques sans plomb

## **POUR LES ÉCOMATÉRIAUX**

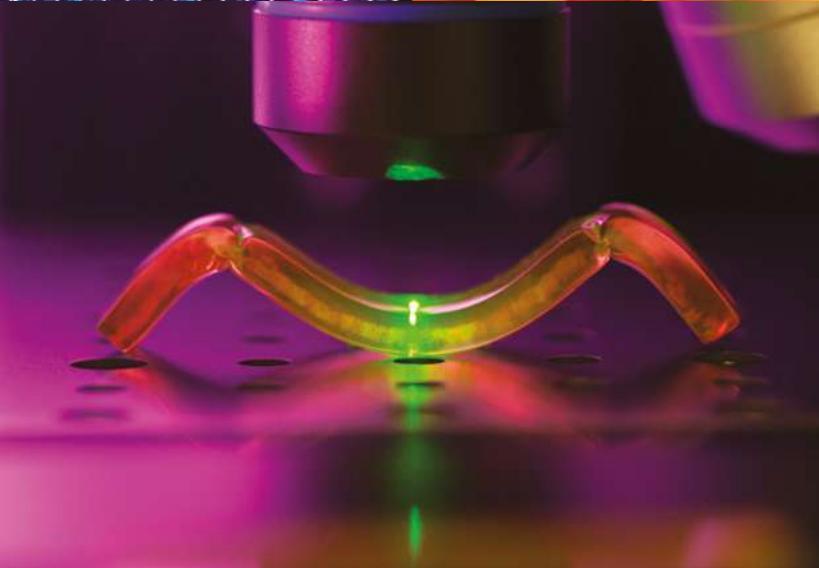
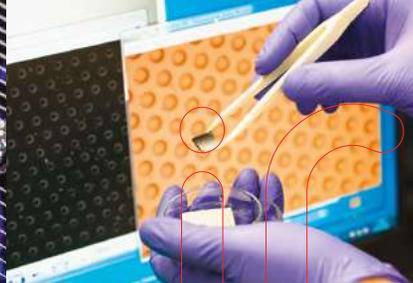
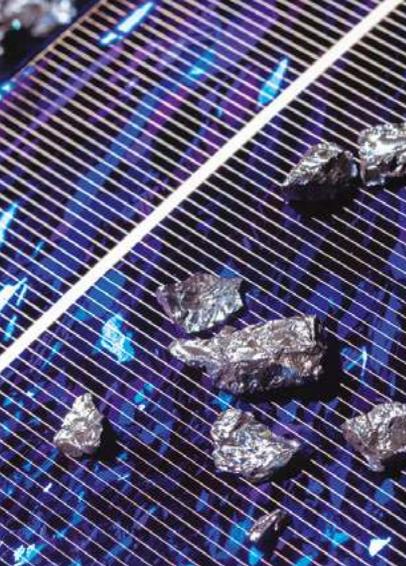
- Conception de matériaux céramiques sans substance toxique (e.g. en accord avec la norme REACH)
- Substitution des additifs issus de la pétrochimie par des additifs biosourcés
- Développement à partir de céramiques, de nouveaux matériaux durables, recyclables, dont les déchets sont valorisables
- Mise au point de procédés de fabrication à base d'eau et sans cuisson afin de minimiser l'impact environnemental

## **POUR L'ENVIRONNEMENT ET L'ÉNERGIE**

- Matériaux hautes températures en environnements agressifs (e.g. nouvelles générations de réacteurs nucléaires, chambres de combustion de réacteurs d'avion ou d'engins spatiaux, vaporeformage du méthane)
- Nouvelles générations de barrières thermiques (e.g. aubes de turbine de réacteur d'avion)
- Revêtements multimatériaux pour applications tribologiques
- Systèmes catalytiques pour la production de gaz de synthèse ou d'hydrogène à partir du gaz naturel
- Nouveaux matériaux d'électrolyte pour SOFC (700 °C). Élaboration de cœurs de piles et d'EHT (Electrolyse Haute Température)
- Nouveaux matériaux pour la récupération (e.g. photovoltaïque) et le stockage d'énergie (e.g. systèmes hybrides entre batteries et supercondensateurs)

## **POUR LA SANTÉ**

- Synthèse de différents phosphates de calcium. Surfaces adaptées au greffage
- Fonctionnalisation des biocéramiques par des molécules actives pour stimuler les processus de régénération osseuse (greffage de peptides) et/ou pour un traitement thérapeutique (inclusion et libération d'antibiotiques, antiviraux, antitumoraux...)
- Élaboration d'implants à microstructure et architecture spécifiques pour des applications en ingénierie tissulaire osseuse
- Biocapteurs pour le diagnostic et le traitement des tumeurs précoces





# Un laboratoire ouvert

Les richesses et la multiplicité des recherches de l'IRCER intéressent des publics variés. Son innovation technologique l'amène à collaborer étroitement avec le tissu industriel (grandes entreprises, PME, start-up). Ses formations attirent des doctorants et des chercheurs du monde entier. La pertinence de ses recherches place l'IRCER au cœur d'un réseau international qui lui ouvre les portes sur de grands projets scientifiques.

## LES FORMATIONS DE L'IRCER

Dans le cadre des cursus LMD harmonisés de l'enseignement supérieur européen, la mission de l'IRCER est de contribuer à former les étudiants à la recherche dans sa thématique en participant aux différentes formations mises en place par sa tutelle, l'Université de Limoges :

### Niveau L

Formations INSPE de la Faculté des Sciences et Techniques :

Licence 3 parcours Science des Matériaux de la licence de Chimie  
Licence 3 professionnelle parcours Méthodes Physico-Chimiques de Caractérisation des Matériaux Céramiques;

Formations de l'IUT :

**BUT Génie Mécanique et Productique (GMP) :**

Parcours Simulation Numérique et Réalité Virtuelle  
Parcours Innovation pour l'Industrie

**BUT Mesures Physiques (MP) :**

Parcours Matériaux et Contrôles Physico-Chimiques

### Niveau M

Formation d'ingénieurs de l'Ecole ENSIL-ENSCI  
Master Sciences et Génie des Matériaux

### Niveau D

Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie (SI) - n°653  
Collège des Ecoles Doctorales de l'Université de Limoges

Ecole Universitaire de Recherche Ceramics and ICT (TACTIC)

### Formation continue

Centre d'Actualisation Scientifique et Technique – ENSIL-ENSCI (CAST)  
Direction de la Formation Continue de l'Université



## LES INTERACTIONS AVEC L'INDUSTRIE

Les travaux de l'IRCER sont porteurs de perspectives intéressantes pour le monde industriel. L'institut développe des collaborations étroites et fructueuses aussi bien avec des multinationales que des start-up où les céramiques sont le moteur de l'innovation.

- **Laboratoire correspondant avec le CEA le Ripault**  
Le laboratoire correspondant ELECTRA est dédié à l'élaboration de céramiques techniques et de revêtements pour des applications en température.
- **Laboratoire commun avec SAFRAN et OERLIKON**  
Le laboratoire commun PROTHEÏS est spécialisé dans le domaine des traitements de surface pour les applications aéronautiques.
- **Laboratoire commun avec IMERYS**  
Le laboratoire commun LIRYS est spécialisé dans le développement de solutions innovantes et durables pour la réalisation de dépôts céramiques en couches minces pour des industries de pointe.
- **De nombreuses collaborations industrielles**  
Adisseo, Air Liquide, Alantum, Bernardaud, Balzers, CEA, Ceradrop, CILAS, 3DCERAM, Dior, EDF, GDF, Imerys, Lafarge, Oerlikon, PSA, Renault, Rio Tinto Alcan, Saint-Gobain, Safran, Thalès, Total, Usinor, Volvo, Sulzer, EADS/Astrium...
- **Exemples de start-up issues des recherches du laboratoire**
  - 3DCeram (Stéréolithographie)
  - Ceradrop (Impression jet d'encre)
  - DYAMEO (Diagnostic medical in vivo)
  - GAT (Géopolymères)

## LE TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

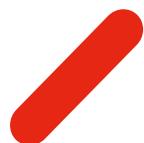
L'institut est un partenaire scientifique privilégié de deux Centres de Ressources Technologiques implantés à Limoges, le Centre de Transfert de Technologies Céramiques (CTTC) et le Centre d'Ingénierie en Traitements et Revêtements de surface Avancées (CITRA) ainsi que d'un Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC). L'IRCER est également impliqué dans deux pôles de compétitivité : le Pôle Européen de la Céramique (PEC) et le Pôle ALPHA-RLH.

## LES COLLABORATIONS INTERNATIONALES

On retrouve l'IRCER dans de nombreux réseaux et projets internationaux où il est reconnu comme l'un des grands laboratoires de recherche sur les céramiques, comme par exemple ces dernières années :

- **International Research Project (IRP-CNRS) FRESH (Functional inoRganic matERials for global Societal cHallenges)** avec le Nagoya Institute of Technology (NITech-Japon) (coordinateur)
- **International Research Project (IRP-CNRS) B3Lab (Biointerfaces, Biominerals, Biomaterials)** avec l'Institut de Sciences des Matériaux de Mulhouse et le «Department of Condensed Matter, Applied Physics and Nanoscience (CBPF, Brésil)
- Le réseau d'acteurs académiques européens dans le domaine des technologies additives céramiques : **Europe Makes Ceramics** (co-fondateur)
- Le **réseau mondial FIRE** (Réfractaires)
- Le programme européen, **Research and Innovation Staff Exchange (RISE): AMITIE** (Additive Manufacturing Initiative for Transnational Innovation in Europe (coordinateur))
- Le programme européen, **Concerted European action on Sustainable Applications of REfractories (CESAREF)** (coordinateur)
- Le programme européen **InVeCOF** sur les céramiques renforcées de fibres et les composants O-CMC
- Le programme européen **ASTRABAT** pour la mobilité électrique durable
- Le programme H2020 conjoint européen collaboratif **EURAD 2** pour la gestion des déchets radioactifs
- Le programme M-ERA.NET **NewLUMIS (plateforme polyvalente pour la lumière et la détection)**
- Le programme European Defence Fund (EDF) : **LAser CEramics (LACE)**





# Un environnement scientifique

L'IRCER est un acteur majeur de la recherche sur les céramiques. Son expertise, ses activités et son sens de l'innovation sont depuis de nombreuses années reconnus par les grands organismes de la recherche, la filière céramique industrielle, les chercheurs et les doctorants.

## **DES CHERCHEURS ET DES PERSONNELS ISSUS DE DIVERS HORIZONS**

L'originalité de l'IRCER se situe dans sa culture de la transversalité et de la pluridisciplinarité qui, tout naturellement, se retrouvent dans les équipes issues d'horizons divers :

### **Plusieurs composantes de l'Université de Limoges :**

- La Faculté des Sciences et Techniques
- L'école d'ingénieurs ENSIL-ENSCI
- La Faculté de Pharmacie
- L'Institut Universitaire de Technologie du Limousin (IUT)
- L'Institut National Supérieur du Professorat et de l'Éducation (INSPE)

### **Du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) :**

- CNRS Chimie
- CNRS Ingénierie

## **PARTENAIRE DU LABEX $\Sigma$ -LIM**

L'IRCER est associé à XLIM UMR 7252, un autre institut labellisé CNRS, pour développer des matériaux innovants spécifiques aux systèmes communicants intégrés, sécurisés, intelligents dans le cadre du LABEX  $\Sigma$ -LIM. Ces travaux se focalisent autour de quatre thèmes centraux : «Aller au-delà de la 5G», «Améliorer la santé grâce à des diagnostics et des thérapies de pointe», «Apporter un nouvel éclairage sur la photonique» et «Faire plus avec moins d'énergie».  $\Sigma$ -LIM s'inscrit dans une intensification des échanges nationaux et internationaux avec d'autres laboratoires, des industriels, des organismes et des centres de transfert... Cette politique s'avère très efficace pour la valorisation scientifique des travaux et favorise la mobilité des chercheurs, des enseignants-chercheurs et des doctorants.

## **UN ACTEUR INCONTOURNABLE DE LA FILIÈRE**

L'IRCER est un des principaux acteurs du Pôle Européen de la Céramique (PEC), un pôle de compétitivité chargé de dynamiser la filière céramique. Il contribue également au pôle de compétitivité Alpha-RLH (Route des Lasers et des Hyperfréquences) et est impliqué dans trois fédérations de recherche : FR3469 « Matériaux Val de Loire – Limousin » (MatV2L), FR2050 « Fédération de Recherche Spectroscopies de Photoémission » et FR2044 (FRH2) « Fédération de Recherche Hydrogène du CNRS ».



## L'IRCER en chiffres

### **MOYENS HUMAINS**

Plus de 200 personnes, dont 105 permanents  
Plus de 60 Professeurs et Maîtres de Conférences  
Une quinzaine de chercheurs CNRS  
Plus de 100 doctorants, post-doctorants, CDD  
Une vingtaine de personnel ITA/BIATSS

### **INFRASTRUCTURE**

8500 m<sup>2</sup> à Limoges



## Des résultats scientifiques majeurs

### **FABRICATION ADDITIVE**

précurseur de ces technologies depuis une vingtaine d'années dans le domaine des céramiques, le laboratoire occupe une position de leader au niveau mondial.

### **GÉNÉRATION D'UN PROCÉDÉ PLASMA**

d'arc pulsé auto-entretenu permettant la projection par voie liquide en mode pulsé. La synchronisation de l'injection de type jet d'encre avec les oscillations de plasma constitue une avancée significative pour contrôler les transferts plasma/matériau.

### **DÉTERMINATION D'UNE EXPRESSION EXACTE ET EXPLICITE**

de la fonction de distribution de paires atomiques (PDF) totale obtenue par diffusion totale des rayons X en fonction des PDF partielles.

### **PRÉCURSEURS PRÉ-CÉRAMIQUES NON OXYDES**

recherche de nouvelles synthèses organo-métalliques de polymères contenant des métaux du groupe IV.

# INSTITUT

## Les céramiques en 4 axes de recherche et 2 thèmes transversaux

L'institut est structuré en quatre grands axes thématiques. Cette structure s'enrichit d'actions transversales dans lesquelles peuvent s'exercer les compétences pluridisciplinaires de ses moyens humains.

### AXE 1

PROCÉDÉS  
CÉRAMIQUES  
INNOVANTS

### AXE 2

PROCÉDÉS  
PLASMAS  
ET LASERS

### AXE 3

ORGANISATION  
STRUCTURALE  
MULTIÉCHELLE  
DES MATÉRIAUX

### AXE 4

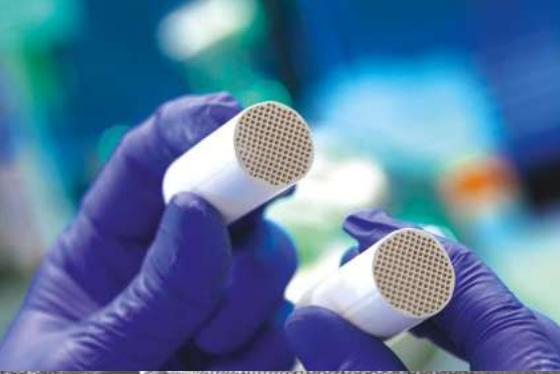
CÉRAMIQUES  
SOUS CONTRAINTES  
ENVIRONNEMENTALES

#### INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR LA SCIENCE DES MATÉRIAUX ET LES PROCÉDÉS CÉRAMIQUES

Développement et application de méthodes d'IA pour l'étude et la découverte de nouveaux matériaux, le contrôle et l'amélioration des procédés céramiques

#### DÉVELOPPEMENT DURABLE ET RECYCLABILITÉ

Conduite d'activités de recherche dans le domaine des matériaux et procédés céramiques en adoptant une démarche de développement durable visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> ainsi que la consommation d'énergie et à préserver les ressources naturelles



- 1\_ Structures en nids d'abeilles extrudées
- 2\_ Émulsion de Pickering
- 3\_ Additifs biosourcés
- 4\_ Coulage en bande

## AXE 1

### PROCÉDÉS CÉRAMIQUES INNOVANTS

**Développement de procédés de mise en forme innovants** adaptés aux enjeux de la fabrication d'objets céramiques à architecture et nano/micro-structure contrôlées.

**Fabrication additive**, couplage de procédés, numérisation des procédés.

En amont, **synthèse des éléments structurants** (i.e. grains individualisés d'une poudre, agrégats, agglomérats, granules, etc.) et **étude de leurs interactions** : synthèse de poudres et nanopoudres, fonctionnalisation et modification de leur chimie de surface, développement de nouvelles formulations. L'objectif est d'**optimiser la stratégie d'assemblage multi-échelles**, ou apporter de la texturation, en prenant en compte les enjeux environnementaux (écofabrication, économie d'énergie, chimie verte).

En aval, **compréhension des mécanismes de consolidation** (séchage, déliantage), amélioration des propriétés des matériaux par une meilleure maîtrise de la microstructure via l'optimisation des procédés de mise en forme.

**3 grandes thématiques :**

- **Matières d'œuvre**
- **Mise en forme**
- **Consolidation / propriétés**

Il s'agit d'une approche intégrée et multidisciplinaire de la problématique de la mise en forme. Dans chacune des grandes thématiques, la démarche scientifique commune vise à limiter les approches empiriques en couplant matériaux modèles, simulations numériques et outils de caractérisation aux échelles représentatives des éléments structurants de l'assemblage (i.e. échelle locale).

## DÉMARCHE INTÉGRÉE DE LA POUDRE AUX COMPOSANTS

VOLET EXPÉRIMENTAL  
**MATÉRIAUX  
ET PROCÉDÉS**

VOLET NUMÉRIQUE  
**MODÉLISATION  
ET SIMULATION**

Architectures/microstructures  
contrôlées à toutes les échelles  
Valorisation industrielle  $1 \leq \text{TRL} \leq 4$

**TECHNIQUES DE CARACTÉRISATION  
PHYSICO-CHIMIQUES MULTI-ÉCHELLES**

**SIMULATIONS NUMÉRIQUES  
MULTI-PHYSIQUES/MULTI-ÉCHELLES**

### **MATIÈRES D'ŒUVRE**

-----  
Matières premières  
adaptées à l'écofabrication  
-----

Synthèse de poudres  
(modèles)  
-----

Fonctionnalisation,  
contrôle des interactions,  
de la texturation  
-----

Formulation,  
additifs biosourcés

### **MISE EN FORME**

-----  
Comportement des  
systèmes céramiques  
sous sollicitations  
(texturation)  
-----

Développement, optimisation  
et hybridation de procédés  
-----

Fabrication additive/  
soustractive  
-----

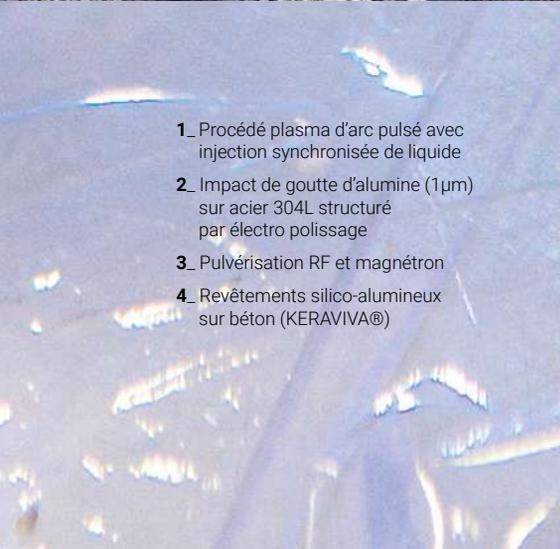
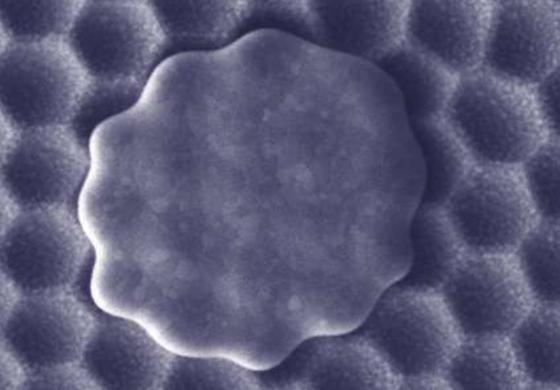
Chaîne numérique

### **CONSOLIDATION / PROPRIÉTÉS**

-----  
Transformations physico-  
chimiques, séchage,  
traitement thermique  
-----

Propriétés électrochimiques,  
mécaniques, thermiques  
-----

Relations procédé /  
microstructure / propriétés  
en vue de piloter les  
procédés



- 1\_ Procédé plasma d'arc pulsé avec injection synchronisée de liquide
- 2\_ Impact de goutte d'alumine (1 µm) sur acier 304L structuré par électro polissage
- 3\_ Pulvérisation RF et magnétron
- 4\_ Revêtements silico-alumineux sur béton (KERAVIVA®)

## AXE 2

### PROCÉDÉS PLASMAS ET LASERS

Développement de **procédés de revêtement et de traitement de surface** intégrant recherche fondamentale et recherche appliquée. A l'interface de la physique des procédés plasma et de la physique de la matière condensée, notre démarche scientifique aboutit à la synthèse de dépôts présentant des propriétés spécifiques et à la réalisation d'objets fonctionnels.

#### Démarche scientifique

- Compréhension des processus élémentaires dans le plasma via des modélisations physiques et numériques couplées à des diagnostics
- Etude des mécanismes de croissance propres à chaque matériau pour une meilleure connaissance et pour la maîtrise des propriétés des matériaux
- Elaboration des dépôts, caractérisation et relations procédé/propriétés
- Intégration des matériaux dans des dispositifs/systèmes/objets fonctionnels soumis à des exigences croissantes en termes de performances.

#### Trois thématiques de recherche

- Conception et optimisation des procédés
- Processus élémentaires en phase plasma et en surface
- Films et Dépôts fonctionnels et matériaux intelligents

Les thématiques de recherche s'appuient sur deux groupes de compétences relatifs aux procédés mis en œuvre.

#### Deux groupes de compétences

- Projection thermique : Projection plasma de poudres, de suspensions, de solutions, Plasma Spray PVD, Projection flamme, Projection à froid
- Films minces et Nanostructures : Ablation laser, Pulvérisation cathodique, PECVD basse pression et pression atmosphérique, Plasma micro-ondes étendu

#### Deux laboratoires communs

- **PROTHEIS** avec les entreprises **SAFRAN** et **OERLIKON**
- **LIRYS** avec l'entreprise **IMERYS**

Conception et optimisation  
des procédés  
Couplage, hybridation,  
digitalisation

## DU PROCÉDÉ... AU MATÉRIAU ET À L'OBJET FONCTIONNEL

Processus élémentaires  
en phase plasma  
et en surface

Films et Dépôts  
fonctionnels  
Matériaux intelligents

### PROJECTION THERMIQUE

-----  
Procédés de projection  
thermique  
-----

Modélisation/Simulation  
des torches à plasma  
d'arc et des procédés  
de projection plasma  
-----

Diagnostics des plasmas  
et des particules  
-----

Revêtements pour  
l'aéronautique  
(Barrières thermiques  
et environnementales,  
anti-CMAS), revêtements  
antibactériens et virucides

### FILMS MINCES ET NANO-STRUCTURES

-----  
Procédés lasers et plasmas  
hors d'équilibre, caractérisation  
-----

Génération de nanoparticules  
en phase gazeuse  
-----

Films minces micro  
et nanostructurés  
-----

Matériaux intelligents  
pour l'électronique et la  
photonique / Intégration  
dans des composants  
micrométriques  
-----

Revêtements multicouches  
pour composants mécaniques  
de précision (aéronautique)



## AXE 3

### ORGANISATION STRUCTURALE MULTIÉCHELLE DES MATÉRIAUX

**Découvrir de nouveaux matériaux avec des propriétés améliorées / optimisées** selon une démarche scientifique correspondant au triptyque « synthèse/structure/propriétés ».

**Synthétiser** de nouveaux composés et **élaborer** de nouvelles micro et nanostructures par différentes voies de synthèse (dont la voie solide et les voies précurseurs telles que sol-gel, hydro/solvothermale, coprécipitation, polymère...). Favoriser les synthèses peu énergivores et impliquant des matériaux bas carbone, dans un esprit de **développement durable**.

**Déterminer/caractériser** ces structures et nanostructures en couplant techniques expérimentales et méthodes de simulation. Ceci à l'aide d'équipements mi-lourds (microscopie électronique à transmission, diffraction et diffusion des rayons X, spectroscopies vibrationnelle et optique...) et des Très Grandes Infrastructures de Recherche dont SOLEIL, l'ILL et l'ESRF.

**Analyser des données massives** par approches non conventionnelles (IA) et **développer des outils prédictifs**.

**Mesurer et calculer** les propriétés optiques (émission/conversion de lumière, non-linéarité), électriques (piézo/ferroélectricité, diélectriques, conductivité), vibrationnelles et catalytiques afin d'établir des liens entre structure, microstructure et propriétés des matériaux.

**Répondre aux besoins sociétaux** dans les domaines de l'énergie, de l'électronique, de l'optique, de l'habitat et des ressources naturelles. **Assurer la valorisation** des travaux innovants et le **transfert d'échelle**.

- 1\_ Banc de mesures optiques non linéaires
- 2\_ Synthèse des géomatériaux
- 3\_ Montage de diffraction des rayons x sur couche
- 4\_ Synthèse de nanoparticules d'oxydes métalliques

Mesure et calcul des propriétés à diverses échelles (atomique, nanométrique et macroscopique)

## STRUCTURE PROPRIÉTÉS

Développement de méthodes de synthèse

Caractérisations structurales et microstructurales

### MODÉLISATION À L'ÉCHELLE ATOMIQUE ET CRISTALLOCHIMIE

-----  
Cristallochimie, affinements de structures moyennes et locales, DFT, dynamique moléculaire, machine learning

-----  
Oxydes, nanoparticules, clusters, systèmes désordonnés, surfaces et interfaces

-----  
Relations structure-propriétés, optique non linéaire, diffusion ionique, structure électronique

-----  
Développement de codes

### PRÉCURSEURS ET MATÉRIAUX INORGANIQUES

-----  
Géopolymères et polymères précéramiques

-----  
Hybrides, PDC et matériaux à base de silicium

-----  
Synthèse, mise en forme et céramisation des précurseurs : revêtements, fibres, matrices & composites, poreux

-----  
Réactivité des précurseurs inorganiques et organométalliques

### MATÉRIAUX FONCTIONNELS

-----  
Electrocéramiques : matériaux oxydes sans plomb

-----  
Verres, vitrocéramiques et céramiques transparentes pour l'optique et l'énergie

-----  
Méthodes de synthèse, dont chimie douce, et technologies de mise en forme (SPS, impression 3D hybride, ADM...)

-----  
Traitement de données hyperspectrales (chimiométrie, machine learning)

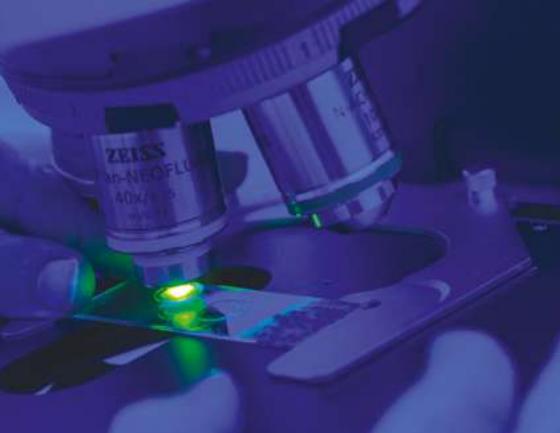
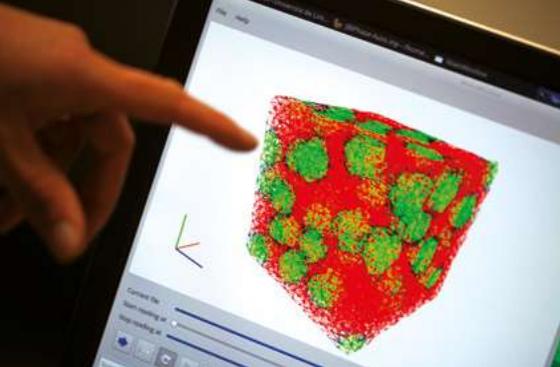
### CRISTALLOGRAPHIE ET MICROSTRUCTURE

-----  
Transitions de phases, nanostructures et défauts

-----  
Diffraction / diffusion des rayons X et instrumentation synchrotron

-----  
Microscopies électroniques et champs proches

-----  
Développements logiciels open source, données massives et deep learning



## AXE 4

### CÉRAMIQUES SOUS CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

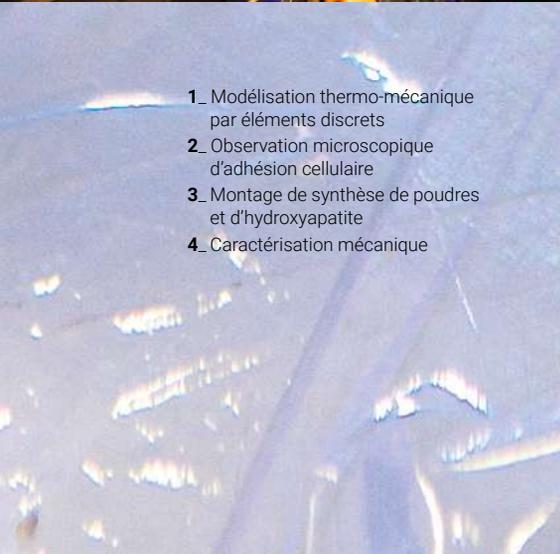
**Concevoir des matériaux céramiques** architecturés aux propriétés originales répondant à des conditions d'usage ciblées.

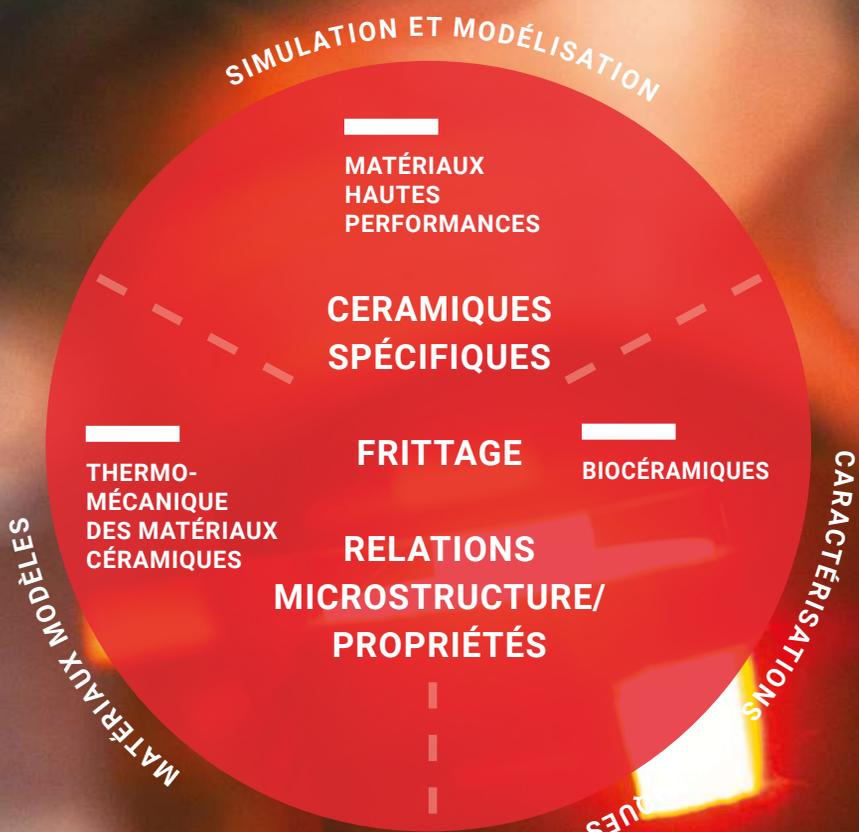
**Etablir et maîtriser les relations** entre, d'une part, les nano et/ou micro-structures du matériau générées durant la synthèse et le frittage et, d'autre part, les propriétés finales des matériaux (mécaniques, thermomécaniques, résistance à l'oxydation, à la corrosion, optiques ou biologiques).

**3 groupes thématiques** (« Biocéramiques », « Matériaux Hautes Performances » et « Thermo-mécanique des Matériaux Céramiques ») dont les activités reposent principalement sur le déploiement de trois champs de compétences communs : synthèse de céramiques spécifiques/approche physicochimique et multi-échelle du frittage/rerelations microstructure-propriétés d'usage. La démarche scientifique globale s'appuie sur trois piliers stratégiques majeurs : l'élaboration de matériaux modèles, la modélisation et la simulation du frittage et des propriétés des matériaux en conditions d'usage, et le développement de caractérisations spécifiques des matériaux au cours de leur élaboration et en fonctionnement.

**Domaines d'application** : énergie, optique et électronique, dispositifs médicaux implantables, ingénierie des tissus osseux, transport, (aéro)spatial.

- 1\_ Modélisation thermo-mécanique par éléments discrets
- 2\_ Observation microscopique d'adhésion cellulaire
- 3\_ Montage de synthèse de poudres et d'hydroxyapatite
- 4\_ Caractérisation mécanique





### MATÉRIAUX HAUTES PERFORMANCES

-----  
 Synthèse de matériaux oxydes et non-oxydes nanostructurés/ fonctionnalisés  
 -----

Céramiques à architecture complexe  
 -----

Modélisation numérique multi-échelle multi-physique du frittage

### THERMO-MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX CÉRAMIQUES

-----  
 Développement de caractérisations des comportements à haute température  
 -----

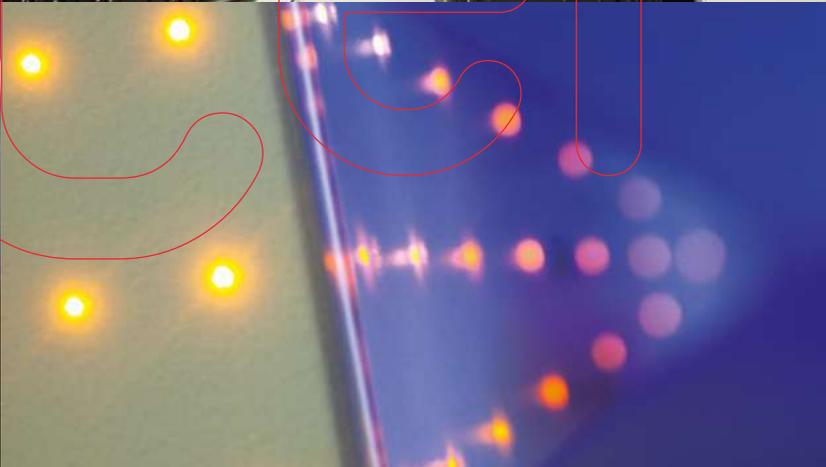
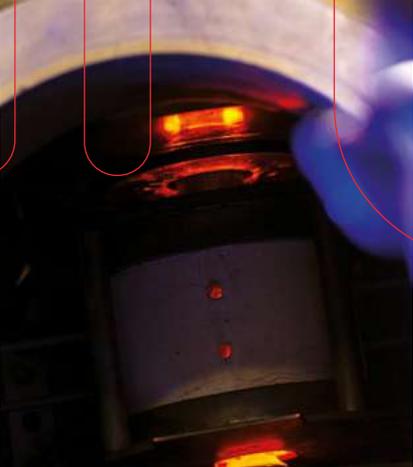
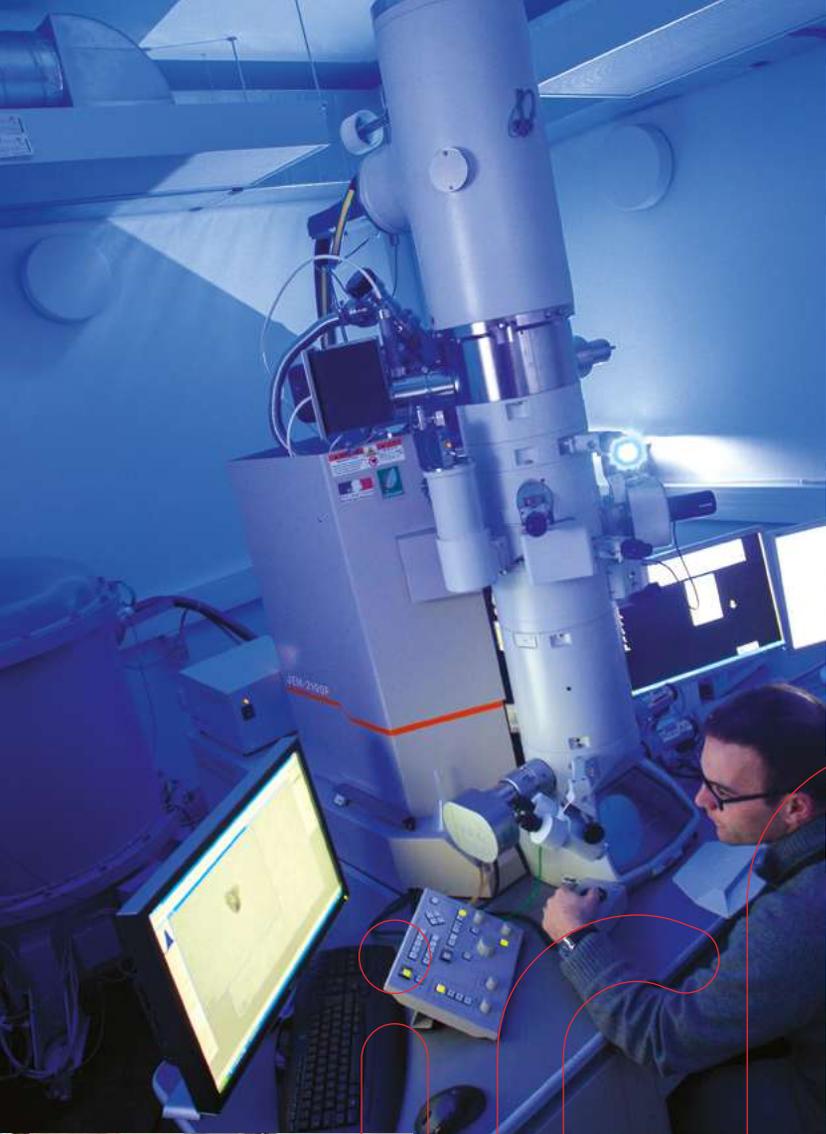
Intégration d'une complexité croissante dans l'étude des matériaux modèles  
 -----

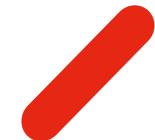
Modélisation thermomécanique multi-échelle des effets associés à la microstructure du frittage

### BIOCÉRAMIQUES

-----  
 Développement d'une nouvelle génération de biocéramiques pour l'ingénierie osseuse  
 -----

Renforcement de la capacité de compréhension des phénomènes à l'interface matériau/vivant





# Des moyens techniques

L'IRCER s'appuie principalement sur les matériels et les compétences de deux plateformes, **CARMALIM** et **SAFIR**, et d'un **atelier mécanique**.

**La plateforme CARMALIM** est spécialement dédiée à la caractérisation physico-chimique des matériaux et directement impliquée dans ses travaux. Celle-ci bénéficie du savoir-faire et de l'expérience de techniciens, d'ingénieurs, ainsi que du soutien scientifique des chercheurs et enseignants-chercheurs. La performance des équipements et les compétences des personnels associés à cette plateforme, unique en Europe, attirent de nombreux utilisateurs extérieurs, qu'ils viennent de centres de transfert de technologie ou de l'industrie. La plateforme regroupe ainsi 15 ingénieurs et techniciens et 6 chercheurs experts autour de plus de 60 équipements. Les domaines de caractérisation sont organisés autour de 6 pôles technologiques :

## MICROSCOPIE

Balayage  
Transmission  
Champ proche  
Double faisceau (FIB/SEM)

## ANALYSE THERMIQUE CHIMIQUE ET MORPHOLOGIQUE

Dilatométrie - Diffusivité  
ATG-ATD-DSC  
Morphologie - Chimie

## SPECTROSCOPIE ET OPTIQUE

Fluorimètres  
Photomètre  
Raman  
FTIR  
XPS  
Ellipsomètre

## TRAITEMENT THERMIQUE - PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Traitement Thermique  
Thermo-mécanique

## SUSPENSIONS

Rhéologie  
Suspensions

## DIFFRACTION RAYONS X

Diffractomètres  
Montages spécifiques

**La plateforme technologique SAFIR**, dont les partenaires fondateurs sont SAFRAN, OERLIKON, le CNRS et l'Université de Limoges, est spécialisée dans le domaine des traitements de surface par voie sèche. Elle répond aux besoins des industries aéronautiques, nautiques, automobiles, de l'énergie, de l'électronique et adresse des niveaux de maturité TRL 1 à TRL 6 avec la possibilité de réunir des compétences pluridisciplinaires de haut niveau. Cette plateforme met en œuvre les travaux scientifiques du laboratoire commun PROTHEÏS et est ouverte à d'autres entreprises. SAFIR s'organise autour de deux pôles technologiques :

## PROJECTION THERMIQUE ET DÉPÔT PVD

Machine de dépôt PVD  
Sableuse robotisée  
Projection thermique atmosphérique

## CARACTÉRISATION

Tests non destructifs utilisant la technique de l'excitation par impulsion (IET)  
Tribomètre polyvalent  
Microscope  
Four électrique de cyclage thermique

**L'IRCER dispose également d'un atelier mécanique** de 250 m<sup>2</sup> avec 2 personnels dédiés autour de 4 domaines d'expertise :

- Bureau d'études / fabrication assistée par ordinateur
- Usinage CN et rectifications
- Soudures,
- Découpes.

Céramiques  
Procédés de mise en forme  
Fabrication numérique  
Procédés plasmas et lasers  
Diagnostics et Simulations plasmas  
Dépôts et traitements de surface  
Synthèse de poudres  
Fonctionnalisation  
Chimie des matériaux  
Chimie du solide  
Colloïdes / Suspensions  
Matière condensée  
Frittage  
Modélisation  
Simulations numériques  
Rhéologie  
Propriétés thermiques,  
mécaniques, magnétiques,  
électriques et optiques  
Microstructures  
et architectures contrôlées  
Matériaux nanostructurés  
Biocéramiques  
TIC  
Énergie  
Écomatériaux  
Hautes températures  
Hautes performances  
Innovation et valorisation industrielle  
Intelligence artificielle

irCer

institut de recherche  
sur les céramiques

IRCER - UMR CNRS 7315  
Centre Européen de la Céramique  
12 rue Atlantis - 87068 LIMOGES CEDEX  
FRANCE

Tél. +33 (0)5 87 50 23 03  
Fax +33 (0)5 87 50 23 09  
Mél: [ircer@unilim.fr](mailto:ircer@unilim.fr)  
[www.ircer.fr](http://www.ircer.fr)

