

EPEE

Electrochimie et Procédés pour l'Energie et l'Environnement

R. Bouchet

M. Chatenet

N. Sergent

respepee@phelma.grenoble-inp.fr

Une filière à l'interface physique/chimie

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE PHYSIQUE, ÉLECTRONIQUE, MATÉRIAUX

EPEE, pour quoi faire ?

Mots clés EPEE :

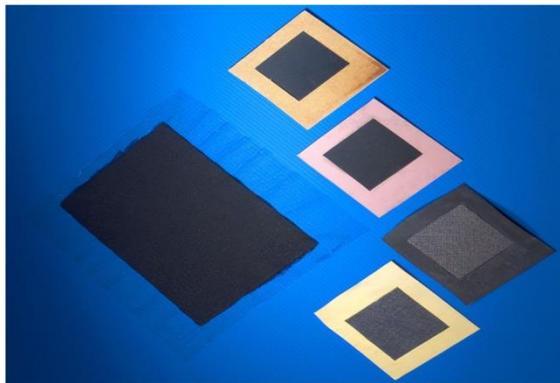
Électrochimie et Procédés pour...

- **Énergie** (renouvelable, stockage, batteries, piles à combustible)
- **Environnement** (éco-procédés, recyclage)
- **Matériaux** (élaboration, propriétés fonctionnelles, surfaces, corrosion)
- **Microsystèmes** (dépôts par voie physico-chimique et/ou électrochimique)
- ...

EPEE et énergie

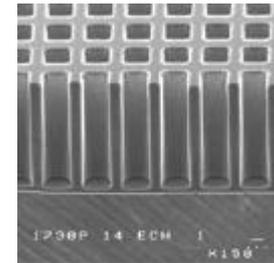
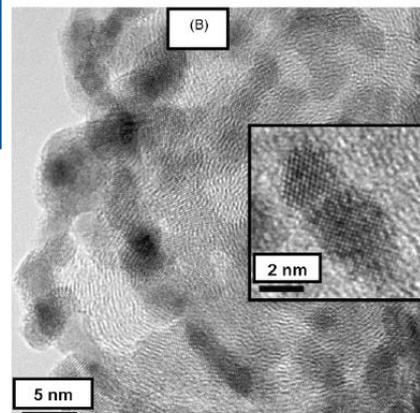
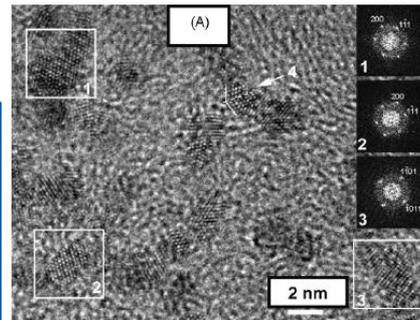
Les générateurs électrochimiques

- Les piles à combustible et les piles / accumulateurs
 - *Conception de la cellule électrochimique*
 - *Matériaux de cœur de pile*
 - *Géométrie d'assemblage*
 - *Performances et durabilité*

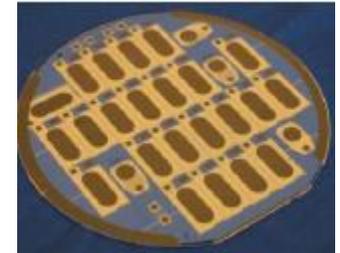


Assemblages
membrane/électrodes de
PEMFC - Paxitech

Electrocatalyseur de
PEMFC



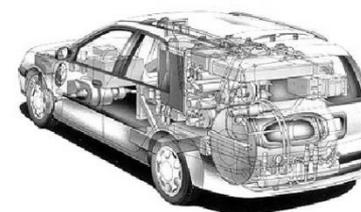
μ -générateurs pour
circuits intégrés et
MEMS - CEA Grenoble



Underground caving headlamp



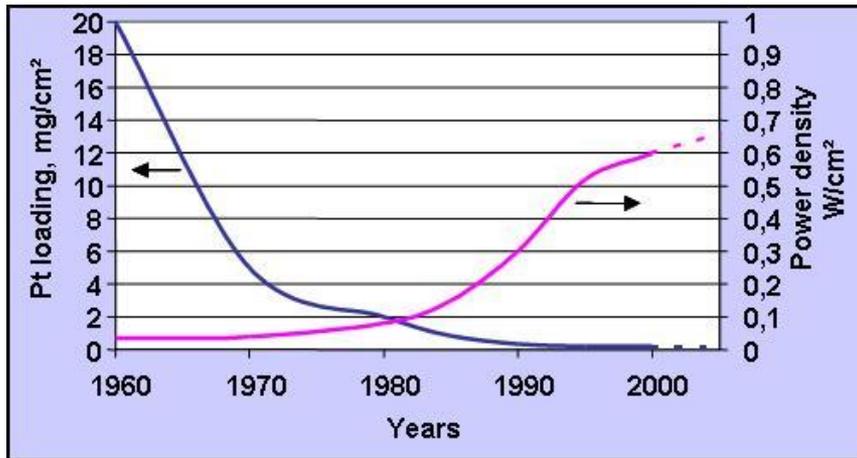
Systèmes nomades,
mobiles et stationnaires



EPEE et énergie

Les générateurs électrochimiques

- La pile à combustible : un système d'avenir très complexe...



Matériaux connus depuis 1960 :
pourquoi cette amélioration ?

Cinétique intrinsèque du catalyseur

Mécanisme de réaction

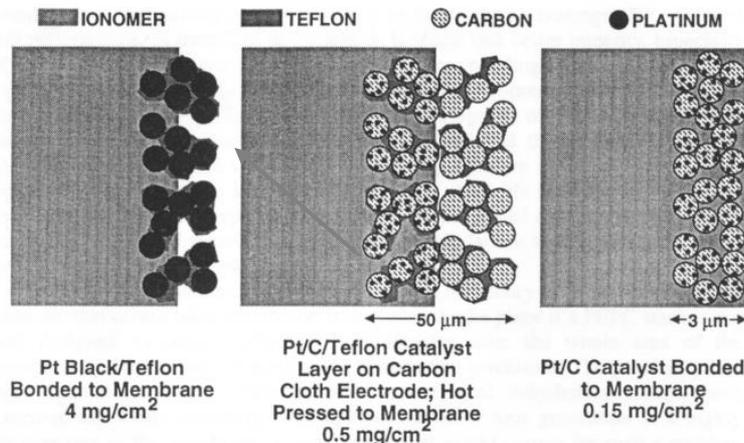
Sélectivité/tolérance

Empoisonnement

Disponibilité de la surface du catalyseur

Transport de matière

Géométrie de l'électrode



↳ **Génie électrochimique !**

Quelques exemples de systèmes



Véhicule électrique :
- supercondensateurs
- piles à combustibles
- accumulateurs

Microsystèmes sur Wafer Silicium :
- piles
- accumulateurs



Stockage pour énergies renouvelables :
- accumulateurs



Alimentation de sites isolés :
- piles à combustible



EPEE et énergie

Compétences développées

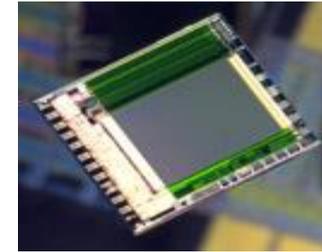
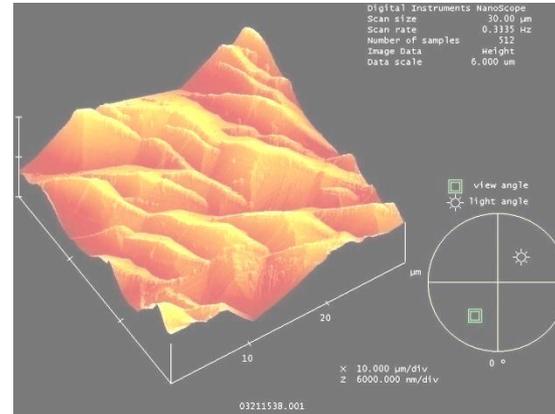
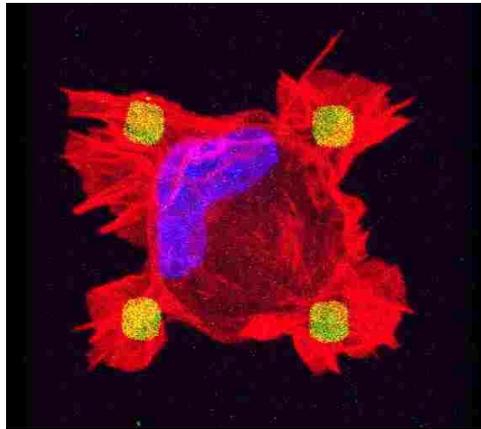
- * **Conception et fabrication**
 - Matériaux de cœur de pile
 - Géométrie d'assemblage
- * **Caractérisation (performances, durabilité)**
- * **Modélisation et simulation**
- * **Recyclage/valorisation**

Nos partenaires industriels



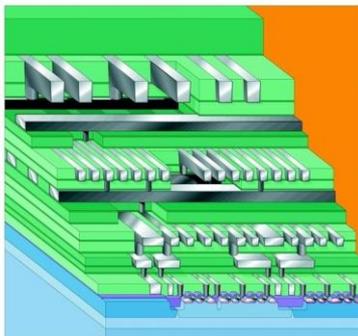
- Fonctionnalisation des surfaces (capteurs, bio-compatibilité)

Orientation de l'adhésion d'une cellule vivante sur surface structurée traitée (microscopie de fluorescence).
E. Planus, Institut Albert Bonniot, Grenoble

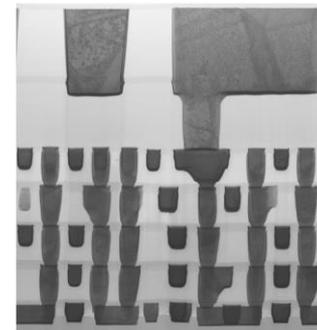


Dissolution contrôlée du Fe. (AFM). R. Nogueira

- Dépôt en couche mince des métaux / oxydes (μ -électronique)



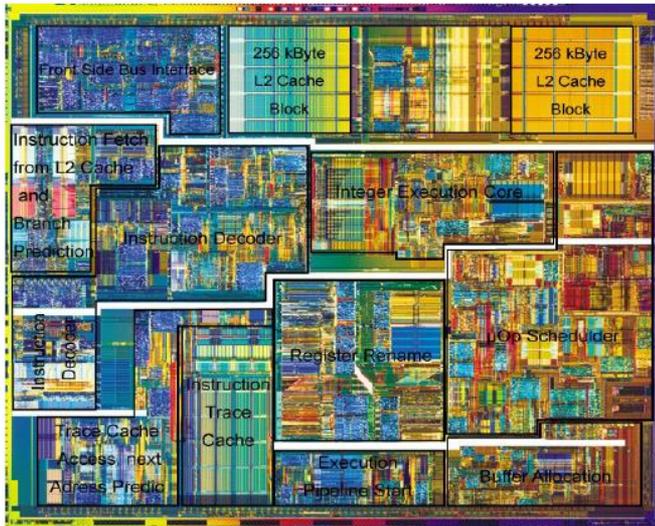
65nm design rules on 300mm wafer (Crolles 2 Alliance) : 6 metal levels interconnects using Cu and porous MSQ - R. Fox et al. IEDM 2005



1,7 km de connections Cu par cm^2 de circuit en μ -électronique (procédé CVD puis dépôt électrochimique)
Sans connectique adaptée, la miniaturisation n'est rien...

Elaboration des interconnexions

Pentium IV, Intel Inc.

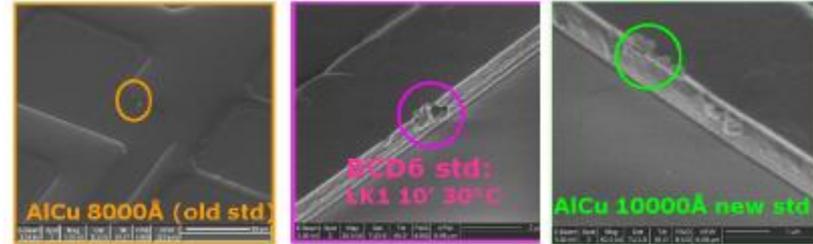


Micro générateurs sur silicium



EPEE et micro-systèmes

Corrosion des interconnexions



Compétences développées

- * *Conception et fabrication*
- * *Caractérisation (performances, durabilité)*
- * *Modélisation et simulation*
- * *Recyclage/valorisation*

Partenaires industriels

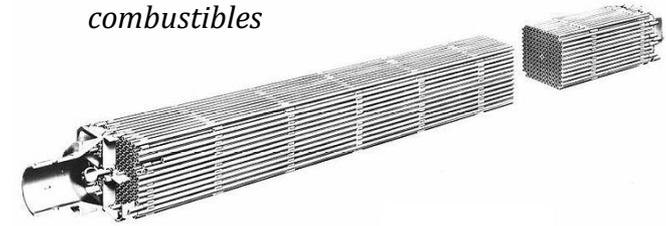


- **Combustible**

- **concentration U** : formation Yellow Cake (attaque & extraction chimique)
- **enrichissement UF_6** : dissolution, précipitation, etc. \Rightarrow ^{235}U



Assemblage de crayons combustibles



- **Analyse & contrôle-commande**

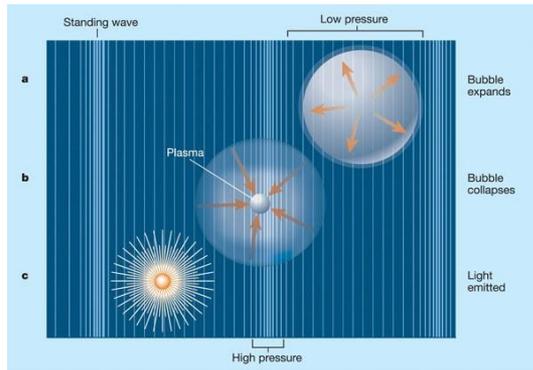
- Capteurs pour milieux extrêmes
- Simulation du procédé de fission
- Sûreté installations

- **Recyclage-valorisation / vitrification des déchets / démantèlement**

- Décapage électrochimique des tôles irradiées
- Traitement des effluents du cycle combustible
- Utilisation de l'énergie thermique : électrolyse HT

EPEE et le développement durable

- Agir en amont (conception) pour diminuer les déchets et les effluents



*Exploitation des propriétés
de la cavitation :
sonochimie*

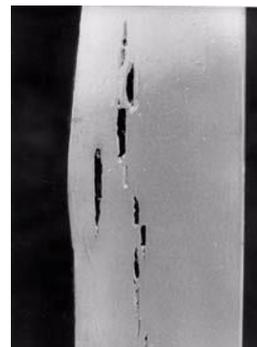
*Procédés au CO₂
supercritique :*

*efficace, bon marché, non
toxique, facilement
recyclable*



- Procédés de récupération / valorisation des matériaux et déchets

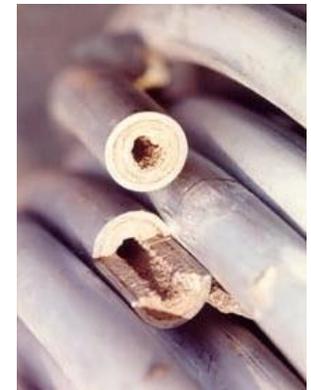
- Augmenter la durabilité :
corrosion & anticorrosion



Fragilisation



érosion



Incrustation ...

EPEE et environnement

Éco-procédés, traitement, recyclage

Procédés innovants de traitement des effluents



Compétences développées

- * *Eco-Conception, éco-production (économe et écologique)*
- * *Traitement des déchets*
- * *Recyclage/valorisation*

Des anciennes mines... aux nouvelles



Procédés de recyclage et de valorisation



Partenaires industriels



Des enseignants impliqués en recherche au LEPMI et au SIMAP :
2 laboratoires de renommée internationale

- **Électrochimie**
- **Génie des procédés**
- **Matériaux**



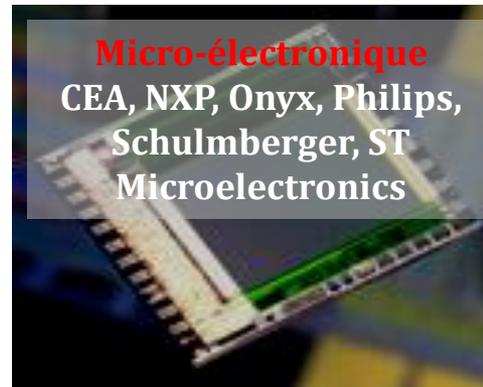
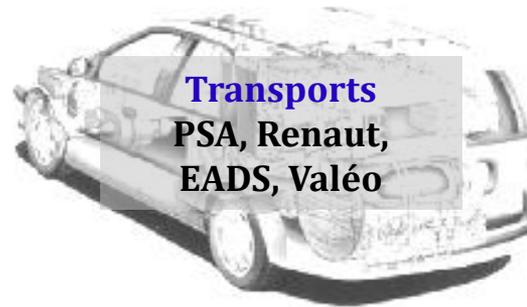
Centre d'Excellence sur les Matériaux Architecturés Multifonctionnels



Matériaux pour **environnements extrêmes**
Ingénierie des **films minces**
Matériaux multifonctionnels pour les **générateurs électrochimiques**

30-40% des étudiants de EPEE poursuivent en doctorat

- Recherche académique (universités, )
- Recherche technologique ()
- Recherche et Développement (entreprises...)



Des interventions de partenaires industriels en enseignements

Applications des Procédés et de l'électrochimie, Éco-industrie, Projets multidisciplinaires,

Stages :

- ~3 mois en 2^{ème} année (stage d'application industrielle)
- 6 mois en 3^{ème} année (projet de fin d'étude)
- vraie 1^{ère} expérience professionnelle, reconnue par nos industriels partenaires

EPEE, c'est comment ?

La complémentarité de 3 disciplines

Électrochimie

Conversion d'énergie, microélectronique, élaboration, récupération, corrosion...

→ Analyser, comprendre et maîtriser réactions et procédés électrochimiques

Génie des Procédés

Transformation de la matière et de l'énergie

→ Concevoir, simuler et optimiser des procédés alternatifs plus propres et moins coûteux

Physico-chimie - Matériaux

Analyser, caractériser et comprendre les propriétés de la matière

→ Maîtriser les méthodes d'élaboration



Une **spécialisation reconnue** par les industriels

Des **débouchés multiples** dans des métiers porteurs

Pour découvrir EPEE en 1A

Cours **Electrochimie**
PMP S1

Cours **Transferts de chaleur**
PMP S2

Cours **mécanique des milieux continus / mécanique des fluides**
PMP S2

TP Matériaux - Génie des procédés - Electrochimie PMP S2
TP Matériaux-Physico-chimie PMP PET S1
Cours Matériaux PMP PET S1

Semestres à choix

PIME

Procédés Industriels et
Management Environnemental
(Pagora)

MaNuEn

Material Nuclear Energy
(Phelma)

MANINTEC

Management Innovation et
Technologies

Formations extérieures...

Grenoble école de
Management

IFP SCHOOL
(IFPEN, PSA, Renault, Total)

IAE de Grenoble

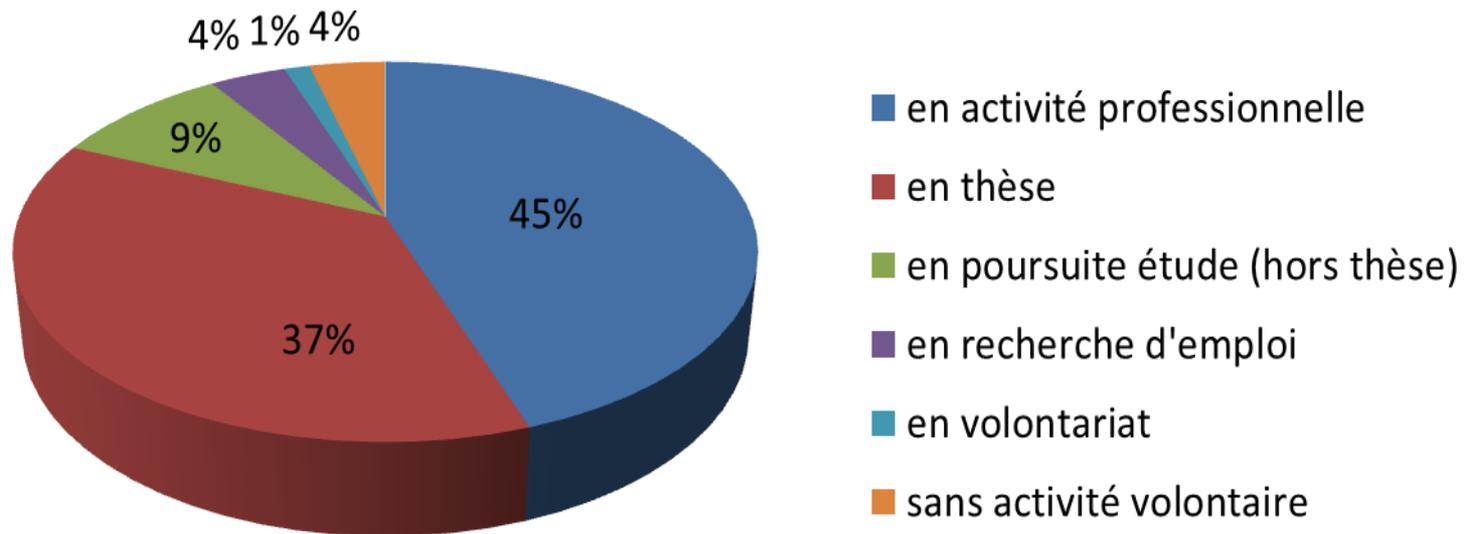
INSTN

<p>Formation : destinations prioritaires EPEE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Universitat Karlsruhe (Allemagne) - Ecole Polytechnique Montreal (Canada) - Kunggliga Tekniska Hogskolan (KTH), Stockholm (Suède) - Chalmers Tekniska Hogskola (CTH), Goteborg (Suède) - Universidad Politecnica de Madrid (Espagne) - Technische Universiteit Eindhoven (Pays-Bas) - Universidade de São Paulo (Brésil) - ... <p>mais aussi USA, Japon, Argentine, Chili, etc.</p>
<p>Stages</p>	<p>Nombreux partenaires industriels et académiques (laboratoires : USA, Allemagne, Brésil)</p> <p>Grande valeur ajoutée au niveau du CV</p>
<p>Spécificités EPEE</p>	<p>Départ (S4, stage 2A, S5, PFE) intégré au cursus EPEE</p>

Secteurs des postes occupés : quelques exemples

- Matériaux et corrosion (Inatis, Lafarge)
- Chargé d'étude sur centrales nucléaires (EDF)
- Responsable développement batteries (PSA, Renault, IFPEN)
- Production en métallurgie (Ferropem)
- Risques Management (Air Liquide)
- Analyse Cycles de Vie (Greenext)
- Chargé d'études Environnement (Saur)
- R&D en métallurgie (Sophia Conseil, Aperam, AREVA)
- Recherche batteries Li-ion (SAFT America, Hutchinson, BlueSolution)
- ...

Les débouchés EPEE



Enquête CGE 2015

La filière EPEE

Électrochimie
Procédés
pour
et l'Énergie
l'Environnement

*R. Bouchet
M. Chatenet
N. Sergent*

Pour plus d'informations, contacter :

respepee@phelma.grenoble-inp.fr

et participer au Forum filières

Quelques exemples

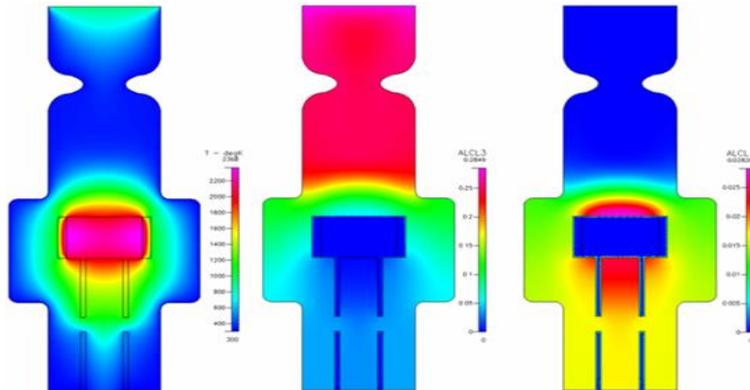
Domaines d'application
Stages



*Reacteur de synthese de niture
d'aluminium monocristallin*

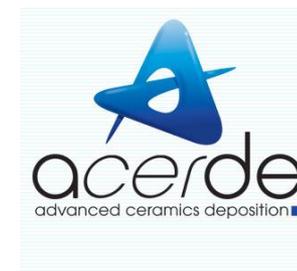
Compétences EPEE

- Génie de l'élaboration des matériaux
- Procédés d'élaboration
- Simulations numériques



*Simulations numériques d'un réacteur de synthèse
de niture d'aluminium monocristallin*

Partenaire industriel





*Dépôt nanométrique de nitrure de tantale
sur substrat silicium*

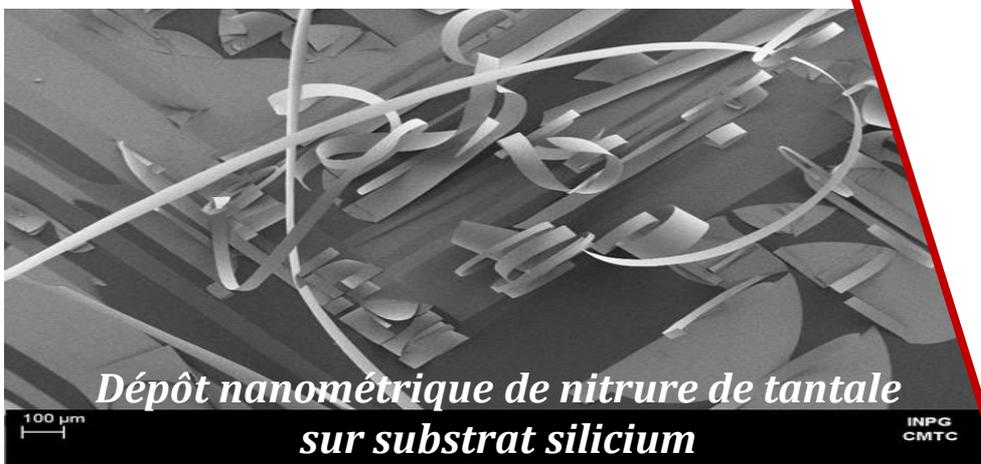
Compétences EPEE

- Génie de l'élaboration
de matériaux

Partenaire industriel



STMicroelectronics



*Dépôt nanométrique de nitrure de tantale
sur substrat silicium*

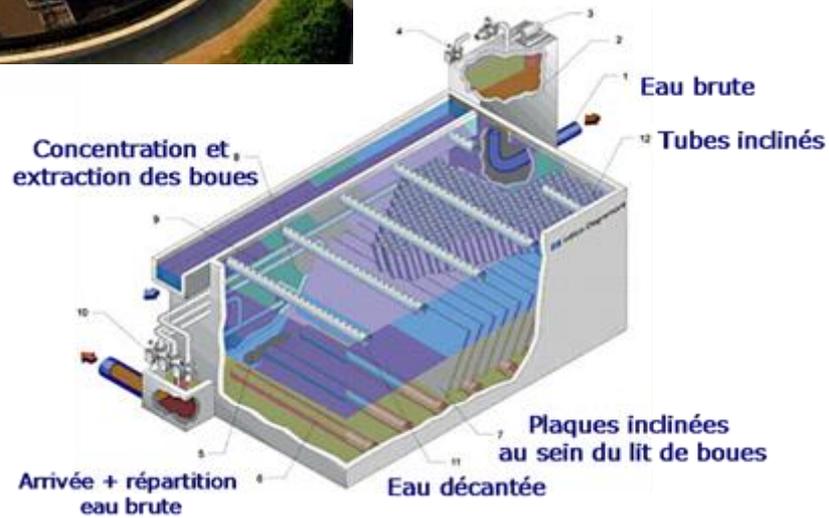
Traitements des effluents



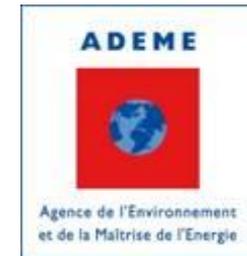
Compétences EPEE

- Environnement
- Génie des procédés

Décanteur ultrapulsator



Partenaire



Valorisation des déchets
Récupération des métaux précieux



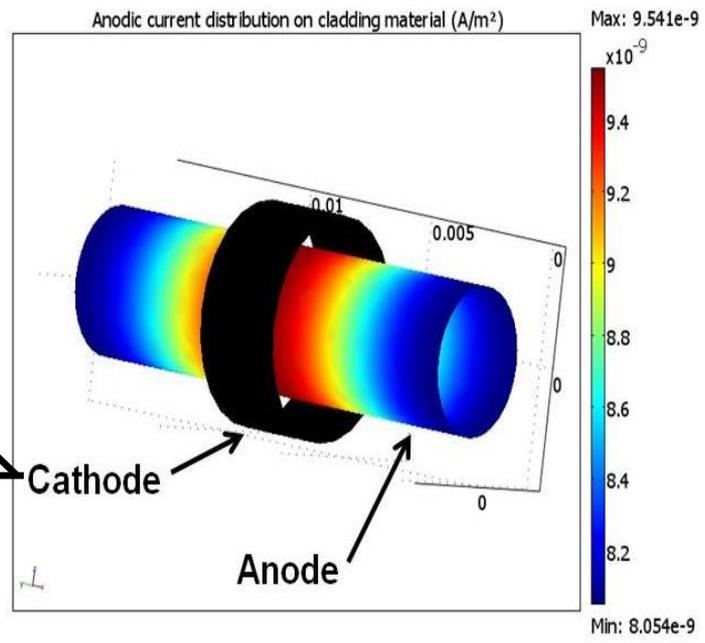
Compétences EPEE

- Éco-industrie, Éco-procédés
- Opérations de séparation
 - Transfert de matière
 - Electrochimie

Partenaires industriels



***Simulation de la corrosion galvanique
entre deux éléments d'un assemblage
de combustible d'un réacteur nucléaire***



Compétences EPEE

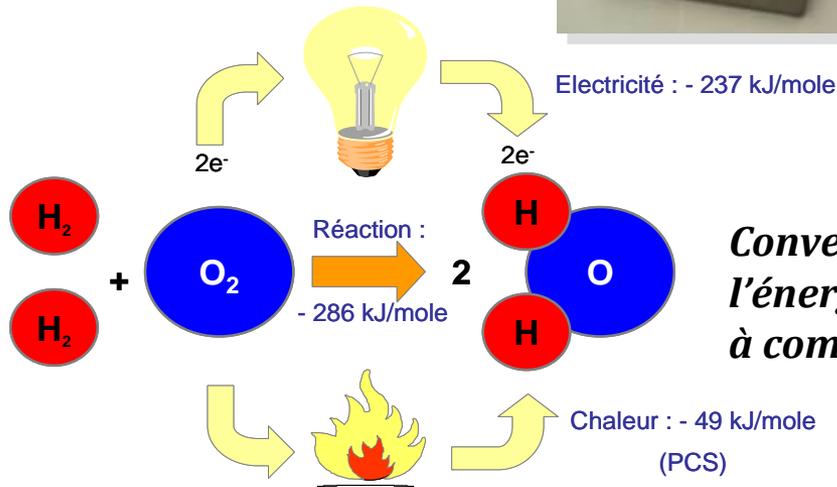
- Simulations numériques
- Corrosion

Partenaire industriel





*Assemblage Membrane
Électrode (PEMFC)*



*Conversion de
l'énergie dans une pile
à combustible*

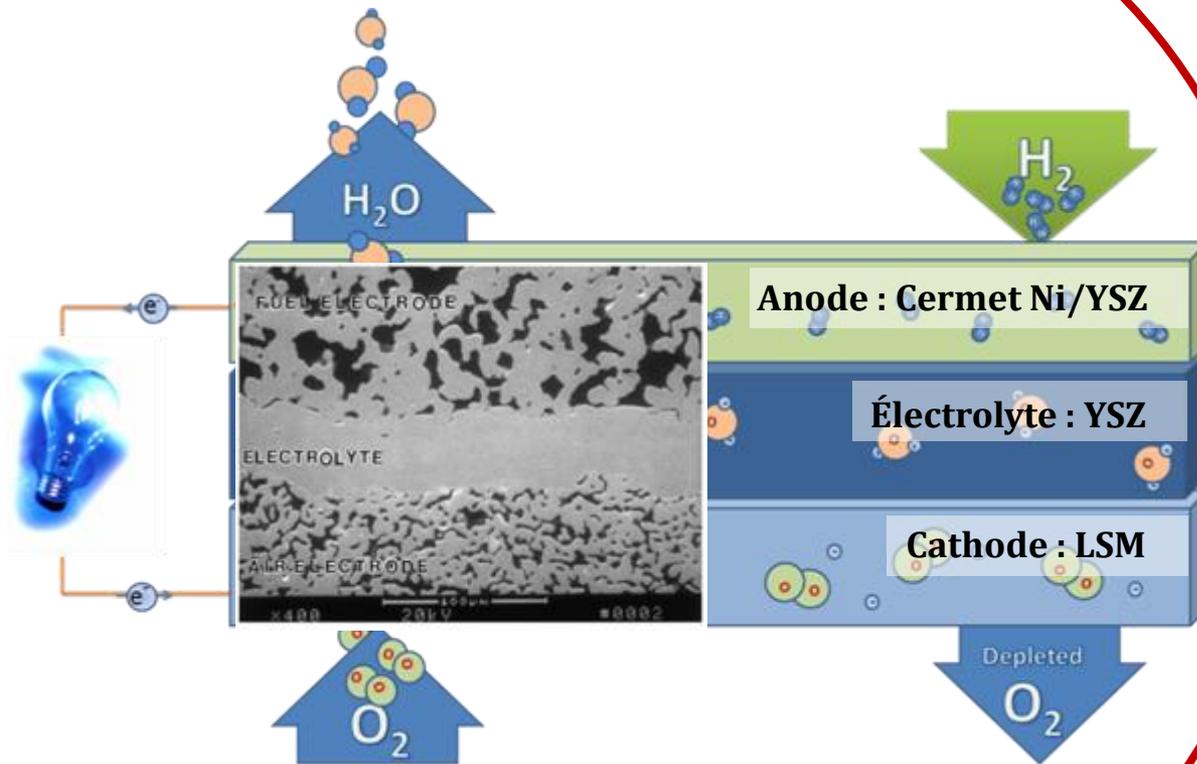
Compétences EPEE

- Générateurs électrochimiques
- Environnement
- Électrochimie
- Génie des procédés

Partenaire industriel



SOFC : Solid Oxide Fuel Cell



Compétence EPEE

- Matériaux de l'électrochimie
- Electrochimie

Partenaire industriel

SAINT-GOBAIN