

Cellule Energie – les projets 2019

CALYSTO

Le développement de l'hydrogène en tant que nouveau vecteur d'énergie nécessite de pouvoir le stocker dans des conditions énergétiques et de sécurité acceptables, notamment dans le cadre du stockage stationnaire à grande échelle et longue durée d'électricité convertie par électrolyse en hydrogène. Bien qu'il existe différents types de stockage solide de l'hydrogène, aucun matériau n'est, à ce jour, totalement satisfaisant pour l'application visée. L'objectif de ce projet est de proposer un matériau hybride innovant pour le stockage d'hydrogène par formation de composés d'inclusion (cristaux) confinés au sein d'une matrice nanoporeuse. En bénéficiant des effets de confinement du cristal encapsulé au sein des nanopores, le couplage cristaux/matrice poreuse pourrait permettre d'obtenir un matériau hybride à faible coût permettant le stockage rapide et réversible d'hydrogène à température et pressions modérées avec des capacités de stockage, des cinétiques de réaction et des énergies mises en jeu favorables pour l'application industrielle à grande échelle.

CARDIF

In 2017, CO₂ emissions increased by 3.2% in France. Due to its inherent potential, carbon capture and utilization is considered as a complementary alternative to geological CO₂ storage. The liquid fuels that could be most readily manufactured from hydrogen (by water electrolysis) and recycled CO₂ are: methanol, mixed alcohols and gasoline. The direct CO₂ hydrogenation (CO₂-FTS) is a combination of the reverse water-gas shift reaction and the subsequent hydrogenation of CO to hydrocarbons via Fischer-Tropsch synthesis. For this cooperative catalysis, different types of active sites are required. The key to this process is to search for highly efficient (active, selective, and stable) catalysts. Thanks to the skills of the involved partners and to important recent discoveries made in the involved laboratories, we intend to develop such catalyst in the CARDIF project. The concept of cooperative catalysis between ruthenium single atom catalysts and cobalt nano-objects constitutes the corner stone of this project. If proven, the concept could allow major advances in supported catalysis field for renewable energy production.

CHEAP

We present the development of a new type of affordable nanomaterials that could serve as an alternative to the metals (Ag, Au) currently used in plasmonics. Such new species can overcome the intrinsic limitations of noble metals (cost, activity confined to a narrow section of the electromagnetic spectrum or high optical losses), thus opening a completely new set of possible applications. In the present project, these materials will be combined with large bandgap semiconductors in order to form affordable photocatalysts with a broad activity in the visible and infra-red regions of the solar spectrum. Interestingly, the lower financial costs of the new plasmonic materials presented herein may translate into an easier implementation towards industrialization.

COGIFLEX

Dans le domaine de la récupération de micro-énergie mécanique ambiante (gamme du μW au mW), de nombreuses études portent sur les vibrations basse fréquence (flexoélectriques). La flexoélectricité, qui correspond à l'apparition d'une polarisation électrique induite par un gradient de déformation (égal à la courbure) est présente dans tous les diélectriques. Toutefois, ce couplage est encore mal connu et reste faible devant l'effet piézoélectrique dans les films organiques. La finalité du projet est donc de développer et caractériser des films tout organiques souples, pouvant supporter de grandes courbures et avec des coefficients flexoélectriques suffisamment élevés pour envisager leur utilisation comme récupérateurs d'énergie mécanique ambiante issue de différentes sources (pression, vibrations dues aux flux d'air, énergie houlomotrice).

DEVOPEM

De nombreuses études ont visé à identifier les origines des variations des performances des piles à combustible à membranes échangeuses de proton (PEMFC), que ce soit au niveau électrochimique ou physico-chimique. En revanche, peu ont concerné la composante mécanique et son évolution temporelle. Le projet DEVOPEM consiste ainsi à définir puis mettre en œuvre les méthodologies ad hoc pour permettre la mesure des propriétés mécaniques des cœurs de pile, en apportant une attention particulière sur le rôle des différentes interfaces, lors de sollicitations cycliques caractéristiques du fonctionnement réel d'une pile. Ce projet s'inscrit dans le cadre du développement d'une activité de recherche globale sur l'optimisation de la durabilité des PEMFC, en suivant les variations temporelles des propriétés mécaniques, électriques, physico-chimiques et morphologiques de ses différents composants et de leurs conséquences sur sa performance électrochimique. Les résultats issus des analyses précitées permettront de disposer d'une vision multidisciplinaire à différentes échelles sur les mécanismes responsables de la dégradation de la performance des systèmes PEMFC.

DROME

One approach followed so far to address the reduction of energy employed in the production process and transports is the use of lightweight design, for which high speed forming processes offer several opportunities. They consume less energy while permit higher formability with respect to quasi-static processes. Numerical simulation appears as an efficient tool for optimizing these processes. However, designing parameter-dependent dynamical models involving reasonable computation time presents several difficulties. Model Order Reduction (MOR) techniques have been so far essentially focused on elliptic and parabolic Partial Differential Equations (PDEs), while these processes are modelled with hyperbolic ones, for which the available techniques usually fail. The main goal of this project is to develop efficient and suitable MOR methods to provide robust approximations of discontinuous solutions generated by parameter-dependent nonlinear hyperbolic systems. This should provide efficient tools for optimizing high speed forming processes.

ELECTROFUEL

L'hydrogène moléculaire (H₂) est devenu essentiel comme matière première pour les procédés industriels et comme vecteur énergétique pour les piles à combustible fournissant de l'électricité propre. Le projet ELECTROFUEL concerne le micro-tissage 3D de fibres par électrospinning avec dopages azoté et métallique (Cu, Ni et Mn) pour la conception et la fabrication d'une nouvelle génération d'électrodes électrocatalytiques nanostructurées pour la réduction de l'eau en H₂ ultra-pur, en milieu basique. Il s'agit d'élaborer un matériau sous forme de tissu servant à la fois de collecteur de courant et fournissant des sites actifs afin d'assurer le meilleur contact support-site actif pour des performances électrochimiques renforcées sur le long terme, en activité et stabilité. La stratégie adoptée permettra la mise au point d'une plateforme pour le développement de nouveaux matériaux nanofibreux sans métaux nobles/onéreux pour divers champs d'application en énergie. ELECTROFUEL est une approche transversale à la fois innovante et pertinente aussi bien sur les aspects scientifiques et techniques (électrospinning, électrocatalyse) que pour les applications (H₂)

ELIOS

Ce projet de recherche vise à démontrer une rupture dans les performances des systèmes photovoltaïques en exploitant l'énergie perdue et dissipée sous forme de chaleur dans la cellule solaire. Nous proposons pour cela une stratégie originale d'intégration de la cellule dans un système de cogénération photovoltaïque-thermoélectrique comprenant une interface nanostructurée multifonctionnelle pour exalter la synergie entre la cellule et le générateur thermoélectrique. L'objectif du projet ELIOS est d'étudier la faisabilité d'une métasurface plasmonique combinant des propriétés de filtrage spectral et de conduction électrique. L'ambition à terme est d'intégrer l'électrode multifonctionnelle développée à l'arrière de la cellule solaire afin de gérer simultanément les photons et les phonons dans le système photovoltaïque-thermoélectrique.

HABANA

Le projet HABANA vise à faire face en un seul dispositif à trois limitations majeures des batteries Li-ion : la capacité limitée des matériaux de stockage, la sécurité de fonctionnement et l'approvisionnement du lithium à grande échelle. Le but est de démontrer, pour la première fois, le stockage réversible de l'électricité dans une demi-cellule

électrochimique Na-ion tout solide à base d'hydrures. La demi-cellule sera constituée par un hydrure métallique (MgH_2), capable de faire une réaction de conversion avec Na, un hydroborate ($Na_{1,5}(CB_{11}H_{12})_0,5(B_{12}H_{12})_0,5$), ayant une conductivité ionique (Na^+) élevée à température ambiante, et du sodium métal. La mise en forme des composants de la cellule est aussi originale car l'hydrure sera préparé sous forme de couche mince avec une épaisseur contrôlée et l'assemblage de la cellule sera évalué soit par compression à froid dans une presse uniaxiale, soit par frittage flash (SPS).

ImHESurNaASA

Heat and mass transfer across nanostructured surfaces are uncharted scientific areas and the knowledge of the amount of energy involved in these nanoscale transfers appears to be critical in numerous domains. Particularly, physical insight in this field is essential for fabrication of highly efficient substrates for heat dissipation from solid inside fluid. However, the description of heat and mass transfer involving multiphase system is challenging because of the lack of methodology well suited for any cases. Atomistic simulations can contribute to the elaboration of the tools and models applicable from the smallest to the macroscale. This is the main goal of the present project which aims to study heat and mass transfer across nanostructured solid/fluid using both classical and coarse-grain molecular dynamics techniques and by the means of multiscale experimental techniques (SThM and LIF). Simulations will provide useful information regarding heat transfer mechanisms that depends of factors like: wettability, adsorption, nucleation site formation, etc. The experimental techniques ensure the applicability of the project to real systems. Thus, recommendations for engineering of solid substrates for efficient heat transfer will be proposed.

ISORE

La motivation du projet ISORE (Infrastructure de gestion intelligente pour une Société tournée vers les énergies RENouvelables) est de fédérer des expertises en sciences de l'information (informatique et microélectronique) et en sciences sociales (architecture, aménagement urbain, environnements urbains) pour adresser les enjeux scientifiques et technologiques liés la problématique sociétale de l'énergie. Le projet explore ainsi les opportunités d'exploitation de technologies numériques innovantes pour la gestion conjointe des calculs, données et flux d'énergie dans les environnements urbains, à différentes échelles (bâtiment, quartier, ville) et selon différents types d'usages sociétaux. S'appuyant majoritairement sur la collecte et le stockage d'énergie solaire, il s'inscrit logiquement dans le contexte du développement durable et de toutes ses facettes, allant de la ville connectée aux bâtiments à énergie positive et réseaux de distributions intelligents.

Lignin-H

Nowadays there is a massive production of lignin as a by-product of the pulping industry for cellulose production from biomass. This lignin is usually just incinerated to recover some of the energy. The aim of this project is to valorize lignin for the production of pure H_2 . We will develop, characterize and understand a ?proof-of-concept? of a sustainable, economic and environmentally friendly technology to produce pure H_2 by lignin electrolysis. In recent preliminary experiments (publication in preparation) we have demonstrated, for the very first time, that lignin electrolysis could be performed in PEM cell devices in continuous flow mode, obtaining pure H_2 with much lower energy requirements compared to water electrolysis. In order to make this technology feasible in terms of its further practical implementation, in this project we will go one-step forward. First, in order to thoroughly understand the electrolysis process, high-resolution analytical techniques will be used to analyze the lignin electro-oxidation products (anode). In addition, novel economic/environmentally friendly materials (catalysts for the electrodes) based on non-noble metals (Ni, Fe) supported on biomorphic carbon-based structures will be developed, thoroughly characterized and tested.

MicroPower

The continued development of wearable and miniaturized electronics has led to an urgent need for on-chip energy storage systems. By contrast to the electrochemical microscale energy storage technologies, such as micro-batteries and micro-supercapacitors, dielectric microcapacitor can deliver extremely high power densities, high fatigue and retention properties. The flexible and printable microcapacitors are critical components in many printed power electronics. Because of the low energy density of conventional polymer dielectrics, these capacitors

currently occupy significant printing area and weight in the entire printed electronic devices. Today, it remains challenging to develop novel dielectric materials with stable printability, high flexibility and durability, in particular high capacity and efficiency of charging/discharging. In this project, we address this issue by proposing a new generation of printable 3D-structured polymer nanodielectrics based upon an original concept, i.e., water-based nanodielectric inks comprised of polymers and liquid crystalline nanoplatelets. By contrast to competing projects with randomly mixed inorganic/organic hybrids, our concept can lead to larger energy density by generating stronger polarizations at higher fields due to the macroscopic alignment of liquid crystal domains of nanoplatelets during inkjet printing. Two classes of polymer nanodielectrics will be investigated in this project, i.e., high-permittivity BaTiO₃ nanosheets in polyvinyl alcohol matrix of high breakdown strength, and hexagonal boron nitride nanosheets with high breakdown strength in ferroelectric polyvinylidene fluoride matrix which enjoys high polarizations. These printed polymer nanodielectrics will be flexible, robust, and of large energy density. The development of this project can profit the long standing expertise of the laboratory CRPP on soft matters, more importantly expands the current research scope by implementing new process and new energy applications of soft matters, therefore creating new research axe in the laboratory. The success of this exploratory project would definitely favor the elaborating an ANR JCJC project or ERC starting grants project 2020.

MMO-GRACE

This project is focused on the evaluation of the applicability of novel type of mixed metal oxide nanoparticles supported on reduced graphene as an electrode materials in supercapacitors (SCs). In particular, this project aiming preparation and structural and electrochemical characterization of V₂O₃ / V₂O₅ oxides doped by Ti and Cr and AVO₃ (A=Ca,Sr) perovskites. Electrochemical properties of vanadium oxides are scarcely studied owing to their low conductivity; this problem will be tackled by fine tuning of the composition of mixed phases based on vanadium oxide. Hydrothermal synthesis of supported metal oxide nanoparticles will be extended to the preparation of these mixed phases, as a synthetic route which allows fine tuning of a composition and morphology of resulting nanoparticles. The project is expected to provide new class of metal oxide materials for SCs electrodes, and deeper understanding of the mechanism of hydrothermal synthesis and correlation between metal oxide (single and mixed) phase composition and electrochemical properties.

NanoPharE

This project is a fundamental work aiming at providing a fast theoretical tool to accurately describe the ground and excited state properties of a NanoParticle (NP) covered with photochromic molecules, where the energy difference between the two isomers can be stored after light absorption, and be used for solar energy harvesting. Modeling works are crucial to the design of such complex devices. Within the Density functional Tight-Binding (DFTB) theoretical framework, we will benchmark and modify existing parameters to correctly reproduce the geometry, electronic structure and optical properties of these large systems. The quantum chemical treatment of these highly functional systems will then be possible, and will subsequently permit monitoring the photo-induced switching of the NP coating, reaching unprecedented size scales for non-periodic quantum theory. This will pave the way towards efficient joint experience/theory design of optoelectronic objects that would be the most efficient for solar energy harvesting, saving considerable amount of resources and time.

ODISSEHy

Il existe de nombreux sites isolés dans le monde, un défi pour les producteurs d'électricité est de trouver comment fournir en électricité ces sites isolés. La construction et l'entretien d'une ligne de transport jusqu'au réseau le plus proche n'est pas toujours possible. La solution est de produire l'électricité de manière locale et autonome. Ces sites isolés utilisent des systèmes hétérogènes (groupes électrogènes, éoliennes, batteries de stockage), pour leur production d'électricité. Ces systèmes nécessitent une stratégie de contrôle pour déterminer à chaque instant la répartition de la génération d'électricité entre ces différents éléments. Étant donné la nature combinatoire du problème et donc de sa taille, les solutions de l'état de l'art sont incapables de produire une solution considérant le problème dans sa globalité. Pour réussir cela, nous proposons dans un premier temps de modéliser le problème en utilisant un langage plus expressif. Afin de résoudre ces problèmes ainsi modélisés, nous proposons d'étudier dans un second temps des relaxations et/ou des processus d'apprentissage dédiés à ce langage de modélisation.

OPV-Siloxane

Ce projet a pour objectif de démontrer que la simple modification de la nature des chaînes « solubilisantes » (chaînes siloxanes à la place des chaînes alkyles habituelles) introduites dans des polymères semiconducteurs organiques, est capable d'entraîner une amélioration de plusieurs facteurs limitant aujourd'hui la commercialisation des dispositifs photovoltaïques organiques (de type hétérojonction en volume). Les avancées attendues sont les suivantes :

- Une meilleure solubilité des semiconducteurs dans une gamme de solvants plus larges et à température modérée permettant une mise en œuvre plus aisée
- Une meilleure organisation structurale des matériaux, permettant des propriétés de transport améliorées et par conséquent, des performances photovoltaïques accrues,
- Une perte de la cristallinité du système, associée à une amélioration de la compatibilité des deux composants de l'hétérojonction volumique, permettant une meilleure stabilité des performances dans le temps.

Pick-Up

Les systèmes électrochimiques sont tous constitués d'une interface unique entre un matériau d'électrode massif et un électrolyte constitué d'un seul solvant. Imaginer des systèmes dans lesquels les matériaux d'électrodes seraient présents, non plus seulement à une interface, mais dans tout le volume qui contiendrait plusieurs électrolytes différents serait un changement de paradigme total en électrochimie. Les émulsions de Pickering qui sont des phases « huile dans l'eau » stabilisées par une interface solide correspondent exactement à ce type de configuration. Ma stratégie, consistera à utiliser ces émulsions pour étudier la réduction de l'oxygène, dans deux phases, aqueuse et organique, stabilisées par des nanotubes de carbone décorés par des nanoparticules de platine. Les résultats obtenus ouvriront un nouveau champ d'investigation dans le domaine de l'électrochimie aux interfaces. D'une part, des mécanismes réactionnels originaux pourront être mis en évidence. D'autre part, ces émulsions devraient permettre d'augmenter la surface d'échange d'un électrocatalyseur et donc d'en augmenter les performances.

P-NANOSOL

Le projet P-NANOSOL a pour ambition d'établir la preuve de concept d'un nouveau type de cellule solaire à base de nanocristaux de pérovskite, déposés par électro-spray sous vide. Cette méthode inédite de dépôt permettra de lever un verrou technologique qui freine le développement des dispositifs à base de nanocristaux colloïdaux, en améliorant la conductivité des films. Pour mener à bien ce projet, l'INSP UMR CNRS de l'INP et l'IMS UMR CNRS de l'INSIS mettent en commun leurs expertises et leur savoir-faire qui permettront d'élaborer un dispositif présentant une efficacité accrue. L'INSP sera en charge de la synthèse de nanocristaux, du dépôt des films par électro-spray et de leur caractérisation ; l'IMS sera en charge du design, de la fabrication des cellules prototype et de la caractérisation de leurs performances. Le projet, qui vise à explorer un nouveau type de pérovskite sous forme de nanocristaux colloïdaux par une méthode inédite, ouvrira des perspectives prometteuses pour développer des dispositifs pour l'opto-électronique.

QUANTUMSOLAR

Humankind is facing an energy challenge: the urgent need to find a clean source of energy that is able to fulfil our growing demands. Solar energy is the most promising source because it is widely available and is clean, safe and renewable. Photosynthesis is the natural process by which solar photons are converted into chemical energy. Photosynthetic organisms use a complex system of chlorophyll-protein complexes to convert the light into chemical potential energy. The quantum efficiency of energy transfer in an intricate biological system is remarkably high (close to 100%). The mechanisms that govern the ultra-fast energy transfer of the natural process is not fully understood. Due to this lack of knowledge, the current artificial antenna cannot reach similar efficiency values. I want to approach the development of artificial photosynthetic systems from an innovative point of view introducing concepts learnt from Nature like possible electronic or vibrational couplings in the energetic levels. I will use a combination of high-end ultrafast and vibrational spectroscopic methods to address the following fundamental questions: what is the exact role in the energy transfer process of the recently-discovered oscillations observed at very high time resolution? What is the physical origin of these oscillations and how can be integrated in synthetic systems? I will study the role of quantum/vibrational effects on artificial systems to optimize the processes of energy

transfer. I will use well-characterized, small supramolecular assemblies, able to mimic energy transfer over a range of yields and rates. After obtaining the first hypothesis, I will design new artificial anteaters integrating the premises from the previous designs. The characterization of these systems will provide full access to the correlation between energy transfer rates and yields, electronic coherences and vibrational properties. The results obtained will help to open strategies to design new classes of constructs for efficient artificial photosynthesis.

SESAME

Le borophène est un allotrope du bore constitué d'un unique feuillet d'épaisseur atomique - un analogue boré au graphène - synthétisé pour la première fois fin 2015 par évaporation laser sous ultraviolette sous la forme de petits îlots de quelques nanomètres de largeur. Il est à ce jour le seul matériau 2D qui soit métallique, il possède une grande résistance mécanique et est transparent dans le visible. Il est donc un matériau de choix pour de nombreuses applications, et notamment pour une micro-électronique énergétiquement efficace ou en tant qu'anode dans des batteries électrochimiques (déjà plus d'une vingtaine d'études théoriques publiées sur ces sujets ces deux dernières années). Le projet proposé consiste à synthétiser à grande échelle (cm) ce matériau sur divers substrats par une voie chimique (CVD ou ALD). Une caractérisation poussée des couches obtenues est nécessaire afin d'optimiser la synthèse et d'aboutir à des couches monoatomiques aux caractéristiques (épaisseur, taille latérale, structure, composition) parfaitement contrôlées utilisables pour des applications dans le domaine de l'énergie.

SIMULEF

L'objectif du projet « SIMULEF » est la mise en œuvre d'un outil de simulation « temps réel » offrant des modèles d'interactions complets entre les différents composants d'une éolienne flottante, et ce afin d'en améliorer les performances associées, notamment en matière de dimensionnement et de synthèse de systèmes de contrôle/commande en temps réel pour la maximisation de la production de l'énergie électrique. Les partenaires du projet couvrent la totalité des composants et des systèmes concernés par le processus de l'éolienne flottante :

- Dynamique de la turbine flottante sous l'action conjuguée de la houle et du vent (effets aérodynamiques et hydrodynamiques sur le rotor de la turbine).
- Générateur de conversion de l'énergie associé à ses convertisseurs pour le pilotage et l'injection de l'électricité sur le réseau.
- Stratégies de contrôle/commande robustes et adaptatives pour le pilotage et la maximisation de l'extraction de l'énergie, simulation temps-réel pour la validation des stratégies de commande en temps-réel.

SOPROMAG

Ce projet a pour objectif de développer un système de génération de di-hydrogène fiable, robuste et à faible coût. Le but est ensuite d'alimenter un système de pile à combustible afin de convertir cet hydrogène en électricité. Les applications visées sont d'une part stationnaires avec par exemple des groupes électrogènes et également des applications nomades. On peut citer l'alimentation en énergie d'un vélo à assistance électrique, un fauteuil roulant, un karting de golf ou encore des systèmes d'alimentation électriques portatifs...

Pour cela, les poudres de précurseurs seront caractérisées et le procédé de fabrication des réactifs sera optimisé. Un nouveau prototype de générateur sera élaboré en adéquation avec un cahier des charges à établir selon l'application visée (puis calage des lois de commande et essais de validation). En parallèle, l'Analyse du Cycle de Vie sera conduite afin de déterminer les paramètres clés permettant d'inscrire ce projet dans le cadre du développement d'une solution durable et véritablement écologique.