

Présentation des projets financés au titre de l'édition 2010 du  
Programme Efficacité énergétique et réduction des émissions  
de CO2 dans les systèmes industriels

<b>ACRONYME</b> - titre du projet	<b>Page</b>
<b>CERES-2</b> : Chemins Energétiques pour la Récupération d'Energie dans les Systèmes industriels	<b>2</b>
<b>CHIC</b> : CHaînes de mesures Innovantes à bas Coût pour maîtriser et pérenniser l'efficacité énergétique dans l'industrie	<b>4</b>
<b>CO2_ENERGICAPT</b> : Intégration énergétique et démonstrateur de recherche de voies membranaires pour la combinaison de la combustion en air enrichi et de la capture CO2 sur chaudières industrielles existantes	<b>6</b>
<b>FERROENERGY</b> : Conversion Pyroélectrique Colloïdale	<b>7</b>
<b>VALOGAZ</b> : VALOrisation des GAZ à faible pouvoir calorifique dans les fours industriels calorifique	<b>9</b>
<b>VITESSE2</b> : Valorisation Industrielle et Energétique du CO2 par Utilisation d'Electricité sans CO2, Stabilisation du réseau et Stockage d'Electricité	<b>10</b>

# Programme " Efficacité énergétique et réduction des émissions de CO2 dans les systèmes industriels "

Edition 2010

## Titre du projet **CERES-2 - Chemins Energétiques pour la Récupération d'Énergie dans les Systèmes industriels**

### Résumé

Le projet CERES-2 : "Chemins Energétiques pour la Récupération d'Énergie dans les Systèmes industriels" est une réponse au besoin d'amélioration de l'efficacité énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'industrie, au travers de la récupération et de la valorisation de sources de chaleur perdues.

Il a pour objet d'identifier les stratégies de récupération et de valorisation de l'énergie sur les procédés industriels, autrement appelées "chemins énergétiques" (combinaison de technologies permettant de transférer et convertir de l'énergie d'une source à un point de consommation) et ainsi de favoriser la pénétration des technologies innovantes contribuant à une utilisation rationnelle de l'énergie.

En effet, récupérer et valoriser les sources de chaleur aujourd'hui perdues sur les procédés industriels requiert une bonne connaissance des procédés industriels eux-même, mais également des technologies de valorisation à mettre en œuvre et des savoir-faire de spécialistes pour sélectionner et dimensionner les meilleures solutions, sur la base de critères techniques, économiques et environnementaux.

Or une grande partie de ces connaissances et savoir-faire sont aujourd'hui présentes dans le monde académique mais diffusent peu vers l'industrie, qui éprouve donc beaucoup de difficultés à s'engager sur les voies de la récupération de chaleur.

CERES-2 propose de fournir quatre livrables en réponse à cette problématique :

- la définition d'une méthodologie permettant d'identifier les gisements de chaleur sur les procédés industriels ainsi que les meilleures technologies de valorisation (intégrées ou non au procédé) sur la base de critères techniques, économiques et environnementaux.
- la construction d'une plate-forme logicielle incluant des modèles de procédés et de technologies de valorisation de chaleur permettant d'appliquer la méthodologie et de réaliser des scénarios.
- la réalisation d'études de cas permettant de définir les stratégies de valorisation de procédés industriels choisis et servant de démonstration pour la méthode et la plate-forme logicielle.

- la réalisation de roadmap de technologies de valorisation permettant de prioriser les efforts de recherche sur la levée des verrous les plus prometteurs en terme en marché.

Le projet CERES-2 s'inscrit dans le cadre d'une recherche industrielle. La plate-forme logicielle et les stratégies de valorisations pourront être utilisées par les centres de recherche ou responsables énergie des groupes industriels, par des bureaux d'études ou des centres techniques qui utiliseront ces algorithmes pour effectuer des études technico-économiques.

Les laboratoires académiques pourront profiter de la plate-forme pour y déposer les algorithmes et méthodologies d'optimisation des procédés qu'ils développent, et l'utiliser pour les besoins d'enseignement. Enfin, le CNRS pourra utiliser les roadmaps pour orienter de futurs travaux de recherche sur les technologies de valorisation de l'énergie

Le projet CERES-2 tirera sa force de la synergie entre le monde industriel et le monde académique ainsi que de la volonté sans faille de tous les partenaires d'agir pour une utilisation rationnelle de l'énergie.

#### Partenaires

EDF-R&D  
ARMINES  
CMI  
ARJOWIGGINS  
IFP Energies nouvelles  
Institut National Polytechnique de Lorraine - LEMTA  
Grenoble-INP - Grenoble INP  
Centre National de la Recherche Scientifique - CNRT  
Université Henri Poincaré : Nancy I - LERMAB  
Université de la Rochelle - LEPTIAB  
SOREDAB

#### Coordinateur

Mme stéphanie JUMEL - EDF-R&D  
stephanie.jumel@edf.fr

#### Aide de l'ANR

1009 k€

#### Début et durée

Décembre 2010 - 36 mois

#### Référence

ANR-10-EESI-001

#### Label pôle

# Programme " Efficacité énergétique et réduction des émissions de CO2 dans les systèmes industriels "

Edition 2010

Titre du projet

## CHIC - CHaînes de mesures Innovantes à bas Coût pour maîtriser et pérenniser l'efficacité énergétique dans l'industrie

### Résumé

L'objectif du projet est de concevoir et d'expérimenter une chaîne de mesure innovante à bas coût permettant de suivre et d'analyser les consommations des principaux fluides énergétiques utilisés sur des sites industriels (électricité, gaz, fioul, air comprimé, vapeur, eau). Le projet consiste à concevoir de nouveaux capteurs (tant physiques que «logiciels») à bas coût (on souhaite diviser par 10 voire par 50 les coûts de mesure actuels), dans les domaines suivants : capteurs de courant, capteurs de tension, capteurs de puissance, débitmètres liquides et gaz (les capteurs à bas coût existant tels les capteurs de température, ... sont exclus du projet).

Ce projet s'attaque à plusieurs verrous scientifiques et technologiques, principalement au niveau des capteurs physiques : il s'agit en effet de mettre au point des systèmes de mesure non intrusifs pour mesurer les courants et tensions, et, jusqu'à présent, l'exploitabilité des grandeurs physiques auxquelles on peut avoir accès de façon non intrusive pour cela n'a pas encore été démontrée (i.e. mesure des champs électriques et magnétiques – on mesurera les champs électriques (respectivement magnétiques) dans le projet grâce à des cristaux électro-optiques (respectivement magnétomètres) ad hoc).

D'une façon générale, dans le projet, on s'attachera, pour tous les capteurs étudiés, à :

Faciliter la mise en place des capteurs par du personnel peu qualifié

Améliorer l'aspect plug and play des mesures

Minimiser l'énergie dépensée pour réaliser les mesures

Permettre des mesures avec des signaux faibles, souvent perturbés et très bruités

Pour atteindre tous ces objectifs, il faudra faire appel à de nombreuses compétences, issues de domaines variés : Gestion Technique des Energies, technologies industrielles, informatique industrielle, chaînes de mesure, maîtrise des processus expérimentaux, instrumentation, analyse et traitement du signal, électronique, électrotechnique, modélisation électromagnétique, compatibilité électromagnétique, technologie électro-optique, modélisation mathématique, automatique, identification, résolution de problèmes inverses, MEMS et NEMS, nanotechnologies, ...

Le partenariat mis en place permet de rassembler un grand nombre de ces compétences.

Ce projet est un projet de recherche industrielle collaboratif, car il intègre des principes de mesure existant, et il vise à créer de nouvelles solutions technologiques pour réduire drastiquement le coût de revient d'une mesure à partir de nombreux savoir-faire. Ainsi, toute la chaîne de mesure sera analysée et repensée afin de créer de nouvelles solutions, moins chères, moins gourmandes en énergie, plus simples à fabriquer et à mettre en œuvre. Tout ceci en conformité avec les directives européennes concernant la fabrication de produits de mesure (marquage CE).

Le caractère original et novateur du projet tient non seulement à la baisse de coût visée (facteur 50 pour les débitmètres gaz, facteur 10 pour les débitmètres pour liquides, les capteurs de courant, de tension et de puissance) mais également au nombre de prototypes à réaliser, ainsi qu'aux moyens de test mis en œuvre (EDF R&D mettra à disposition du projet 6 de ses installations expérimentales pour pouvoir tester les capteurs de la façon la plus complète possible). Au total, ce seront 2 capteurs physiques (courant et tension) et 4 capteurs logiciels (débitmètre eau, débitmètre gaz, et capteur de puissance électrique - 2 voies seront explorées pour cela) qui seront mis au point dans le cadre du projet.

#### Partenaires

EDF R&D  
Université Claude Bernard : Lyon I - AMPERE  
KAPTEOS  
Université de Poitiers - LAII  
SOCOMECH  
SUPELEC  
CEA - LETI

#### Coordinateur

M Gilbert SCHMITT - EDF R&D  
retd-epi-chic@edf.fr

#### Aide de l'ANR

1050 k€

#### Début et durée

Décembre 2010 - 36 mois

#### Référence

ANR-10-EESI-002

#### Label pôle

AXELERA, MINALOGIC

# Programme " Efficacité énergétique et réduction des émissions de CO2 dans les systèmes industriels "

Edition 2010

<b>Titre du projet</b>	<b>CO2 EnergiCapt - Intégration énergétique et démonstrateur de recherche de voies membranaires pour la combinaison de la combustion en air enrichi et de la capture CO2 sur chaudières industrielles existantes</b>
<b>Résumé</b>	<p>Le déploiement industriel rapide des technologies de captage et de stockage du CO2 (CSC) est un impératif afin d'assurer un effet de levier significatif sur les émissions à l'échelle planétaire ; de ce fait, la quasi-totalité des projets de CSC en cours à l'échelle pilote dans de nombreux pays adresse la problématique des points à fort tonnage d'émission (centrales thermiques, industries sidérurgiques et cimenteries notamment) et fait appel aux technologies de première génération (lavage aux amines pour captage en post-combustion et oxycombustion). La problématique des émissions relatives aux secteurs produisant entre 25 000 et 100 000 t/an de CO2, qui représentent une proportion significative du tonnage global, n'a pas encore été abordée à l'échelle pilote. Le projet CO2 EnergiCapt a pour objectif de combler cette lacune en développant la première réalisation pilote de captage du dioxyde de carbone dédiée aux unités de production de chaleur pour chauffage urbain comme première cible.</p> <p>Une solution technique de type première génération a été retenue pour le captage, avec pour ambition une minimisation du ratio CO2 eq émis/kWh. Les opérations de stockage et de valorisation du CO2, qui font l'objet de recherches spécifiques, ne sont pas comprises dans le périmètre du programme proposé. Ils seront néanmoins pris en compte dans la stratégie globale de l'étude. Les axes de recherche et de développement concerneront : l'augmentation du rendement énergétique des installations et l'optimisation de la séparation et du captage.</p>
<b>Partenaires</b>	LLT POLYMEM Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS/ICARE Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS/LRGP CPCU
<b>Coordinateur</b>	Mme SOFIANE ZALOUK - LLT SOFIANE.ZALOUK@LLTCOM.COM
<b>Aide de l'ANR</b>	1261 k€
<b>Début et durée</b>	Décembre 2010 - 36 mois
<b>Référence</b>	ANR-10-EESI-003
<b>Label pôle</b>	

# Programme " Efficacité énergétique et réduction des émissions de CO2 dans les systèmes industriels "

Edition 2010

Titre du projet

## Ferroenergy - Conversion Pyroélectrique Colloïdale

### Résumé

Le projet Ferroenergy repose sur un procédé récemment breveté de transformation de chaleur en électricité (N° de dépôt 09 57776). Ce procédé original, de rupture technologique, utilise l'effet pyroélectrique dans des suspensions colloïdales ferroélectriques. En effet, si la génération d'électricité par l'effet pyroélectrique est connue depuis les années 1980, les unités de conversion actuelles utilisent une technologie peu transposable à l'échelle industrielle. Le procédé développé dans le cadre de ce projet, en apparence très simple, pourrait permettre d'y parvenir.

En complément des systèmes actuels, essentiellement basés sur l'utilisation de cycles thermodynamiques à la vapeur, ce procédé vise des applications où l'écart de température entre la source chaude et la source froide est faible (quelques dizaines de degrés). Le projet se focalise sur les branches industrielles fortement consommatrices d'énergie primaire. Il permettra l'augmentation du rendement de ce procédé vient compléter la palette des procédés alternatifs de conversion (cycles de Rankine organiques, thermoélectricité ...), en tentant d'apporter une solution technologique nouvelle. Une montée en puissance est envisagée dès le départ pour pouvoir atteindre à terme des unités de plusieurs MW.

En transformant sous une forme électrique directement utilisable une chaleur fatale qui sinon finirait dissipée dans l'environnement, ce procédé permettra d'améliorer l'efficacité énergétique des systèmes existants. De ce fait, à consommation finale égale, ce procédé diminuera la quantité d'énergie fossile nécessaire à sa production, et par voie de conséquence réduira les émissions de CO2. L'objectif du projet est d'approfondir les différentes questions scientifiques que pose le développement de ce procédé, dans une approche très multidisciplinaire. Un fort accent sera mis sur l'interaction entre les disciplines, facteur clé de la réussite du projet.

Le programme des activités de recherche s'étale sur 36 mois. Outre une tâche de synthèse et de coordination, ils seront rassemblés en 6 tâches thématiques, dans des domaines scientifiques très variés :

- synthèse de nanoparticules d'oxydes métalliques
- synthèse de nanoparticules polymères et hybrides polymères / oxydes
- caractérisation de structure et du comportement électrique de ces nanoparticules ferroélectriques
- études du comportement des suspensions colloïdales ferroélectriques en champ électrique

- modélisation du couplage transferts de matière / chaleur / électrons mis en œuvre dans le procédé de conversion et calage sur des tests expérimentaux
- conception de procédé intégré dans un système existant et évaluation technico-économique de l'ensemble

Les travaux effectués fourniront les réponses scientifiques et techniques spécifiques au besoin du procédé. Ces réponses, intégrées dans le modèle global, permettront de se faire une idée de du rendement de conversion global. Par ailleurs, une approche d'intégration industrielle entamée très en amont du développement permettra d'évaluer le coût d'installation d'unités de ce type. Ces deux données permettront d'obtenir un ordre de grandeur de la faisabilité technologique du procédé et de son intérêt économique réel.

Ce projet est une étape essentielle dans une perspective à long terme visant la mise sur le marché d'unités commerciales. Il s'agit à la fois d'un projet de recherche assez amont et d'un projet de recherche aval orienté sur une application industrielle bien définie.

#### Partenaires

ARMINES  
 Université C.Bernard : Lyon I - C2P2  
 CNRS, dDR IDF - SPMS  
 Centre National de la Recherche Scientifique - LPS  
 Eifer

#### Coordinateur

Mme Thierry DELAHAYE - ARMINES  
 thierry.delahaye@mines-paristech.fr

#### Aide de l'ANR

781 k€

#### Début et durée

Décembre 2010 - 36 mois

#### Référence

ANR-10-EESI-004

#### Label pôle

AXELERA

# Programme " Efficacité énergétique et réduction des émissions de CO2 dans les systèmes industriels "

Edition 2010

<b>Titre du projet</b>	<b>VALOGAZ - VALOrisation des GAZ à faible pouvoir calorifique dans les fours industriels</b>
<b>Résumé</b>	<p>Les gaz résiduels à faible pouvoir calorifique issus de procédés sidérurgiques sont actuellement mal valorisés, alors qu'ils constituent un gisement énergétique important. Or, ces gaz présentent des caractéristiques de combustion particulières par rapport aux gaz conventionnels. Ces propriétés atypiques rendent nécessaire une transposition des techniques de combustion actuellement mises en œuvre. Le projet proposé vise à identifier par voie expérimentale et numérique des solutions technologiques pour exploiter de façon optimale ces gaz dans des fours de réchauffage sidérurgiques sur une large gamme de conditions de fonctionnement. Des bases de données expérimentales seront générées à l'échelle laboratoire et semi-industrielle. En parallèle, une étude numérique fondamentale permettra de caractériser les modes d'interaction chimie-turbulence pour ces gaz, et ainsi d'alimenter le développement d'un modèle microphysique.</p> <p>Celui-ci sera validé et implanté dans un code de simulation tridimensionnelle servant à concevoir et optimiser des installations industrielles. L'outil numérique ainsi obtenu, capable de caractériser finement l'interaction chimie-turbulence-rayonnement, sera exploité par le partenaire industriel pour identifier des évolutions technologiques de brûleurs et fours industriels, l'objectif ultime étant la minimisation des émissions de polluants et de gaz à effet de serre.</p>
<b>Partenaires</b>	IFP Energies Nouvelles CNRS - EM2C AMMR
<b>Coordinateur</b>	Mme Olivier Colin - IFP Energies Nouvelles olivier.colin@ifp.fr
<b>Aide de l'ANR</b>	931 k€
<b>Début et durée</b>	Décembre 2010 - 36 mois
<b>Référence</b>	ANR-10-EESI-005
<b>Label pôle</b>	MATERIALIA

# Programme " Efficacité énergétique et réduction des émissions de CO2 dans les systèmes industriels "

Edition 2010

## Titre du projet **VITESSE2 - Valorisation Industrielle et Energétique du CO2 par Utilisation d'Electricité sans CO2, Stabilisation du réseau et Stockage d'Electricité**

### Résumé

Le projet VITESSE<sup>2</sup>, dans sa globalité, a pour objectif de développer un procédé de conversion de CO<sub>2</sub> émis par des industries tels que les cimenteries, les aciéries, les incinérateurs, etc., en méthanol (MeOH) par réduction à l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau à partir d'électricité issue de moyens de production faiblement émetteurs de CO<sub>2</sub> tels que les énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque, hydraulique) et l'énergie nucléaire.

Au-delà de la valorisation du CO<sub>2</sub>, ce procédé permet non seulement de stocker de l'électricité décarbonée produite à un coût relativement faible sous forme d'un intermédiaire chimique (le méthanol est un intermédiaire chimique facilement valorisable en carburants, en produits chimiques, en polymères, etc.) mais aussi, d'assurer, via la flexibilité de la production d'hydrogène électrolytique, une fonction de gestion et de stabilisation du système électrique.

En effet, la production d'hydrogène électrolytique serait corrélée à la disponibilité d'électricité sur le système électrique ; elle atteindrait sa capacité maximale pendant les creux de consommation et serait réduite à son minimum pendant les pointes de consommation.

Le projet VITESSE<sup>2</sup> permettra donc de développer un procédé en totale rupture, bien que complémentaire, avec les procédés actuels de production de méthanol (unités dont les capacités de production excèdent plusieurs centaines de milliers de tonnes par an, fonctionnant au maximum de leur capacité le maximum d'heures par an). Le projet est, en effet, basé sur un concept d'unités de conversion du CO<sub>2</sub> en MeOH, de capacité de production moindre, décentralisées et réparties sur le territoire à proximité des industries émettrices, modulaires, flexibles et asservies à la disponibilité d'électricité sur le système électrique.

Ces unités de conversion de CO<sub>2</sub> en méthanol seront ainsi capables d'adapter leur niveau de production à la variabilité en qualité et en quantité de leurs flux entrants.

Le projet VITESSE<sup>2</sup> se déroulera en trois étapes, chacune mettant l'accent sur la flexibilité et le fonctionnement en régime transitoire du concept pour en identifier ses limites :

- Etape 1 : Projet de R&D amont (objet de la présente demande d'aide)

Etude et développement d'un procédé flexible, en rupture, de conversion de CO<sub>2</sub> dilué et contenant des impuretés, en méthanol, à l'échelle laboratoire.

Développement de nouveaux catalyseurs résistant aux contraintes imposées (impuretés et régime transitoire) et de nouvelles configurations de réacteurs (intensification de procédé et optimisation en fonction des contraintes de fluctuation des flux entrants).

- Etape 2 : Projet de R&D de démonstration

Démonstration du concept de conversion de CO<sub>2</sub> en méthanol assisté par de l'hydrogène électrolytique (à partir d'électricité issue de moyens de production faiblement émetteurs de CO<sub>2</sub>) sur une unité de démonstration pilote couplant un électrolyseur pilote d'une capacité de production nominale de 20 Nm<sup>3</sup>/h à une unité de conversion de méthanol.

•Etape 3 : Projet de démonstration à une échelle significative

Conception, construction et opération d'une unité de conversion de CO<sub>2</sub> en MeOH, à l'échelle semi-industrielle, couplée à un flux de CO<sub>2</sub> industriel.

Le projet VITESSE<sup>2</sup> contribue à réduire la dépendance énergétique et « carbone » territoriale. Il permet non seulement de fédérer les acteurs pour faire émerger une nouvelle filière industrielle mais aussi de créer de la valeur dans des filières industrielles stratégiques existantes.

**Partenaires**

RHODIA  
AREVA  
AIR LIQUIDE  
VERI SNC  
EDF  
RTE  
CEA/LITEN  
CNRS - LRGP - ENSIC  
CNRS - CNRS-LMSPC  
HELION

**Coordinateur**

Mme Robert GRESSER - RHODIA  
robert.gresser@eu.rhodia.com

**Aide de l'ANR**

1494 k€

**Début et durée**

Décembre 2010 - 36 mois

**Référence**

ANR-10-EESI-006

**Label pôle**

AXELERA, CAPENERGIES