

Jeudi 30 juin 2016

Efficacité énergétique dans l'industrie



Crédit Coopératif
12, boulevard Pesaro 92000 Nanterre

Le *PEXE*, l'association des éco-entreprises de France regroupe une trentaine de réseaux (associations professionnelles, clusters, pôles de compétitivité) et représente près de 5 000 éco-entreprises en France, soit la moitié de la filière.

Avec l'appui de ses membres, l'association des éco-entreprises de France s'est donné comme objectif de renforcer la performance économique des éco-entreprises et de créer une véritable filière d'excellence dans le domaine des éco-activités.



Sélectionnés par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche après un appel à candidatures très sélectif, les *instituts Carnot* regroupent des équipes de recherche publique fortement engagées dans les partenariats de R&D avec les entreprises.

Pluridisciplinaire, national et à fort ancrage territorial, le réseau des instituts Carnot a pour objectif de contribuer à la compétitivité des entreprises par l'innovation technologique.

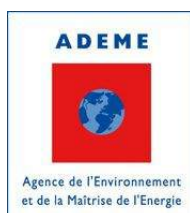
www.instituts-carnot.eu



L'ANCRE, agence nationale de coordination de la recherche pour l'énergie, a pour mission de mieux coordonner et renforcer l'efficacité des recherches sur l'énergie menée par les organismes publics nationaux. Elle participe à la mise en œuvre de la stratégie française de R&D dans ce secteur.

www.allianceenergie.fr

La rencontre « Efficacité énergétique dans l'industrie » est organisée en partenariat avec :



La formule des Rencontres éco-technologiques a été créée en 2013 par le PEXE et l'association des instituts Carnot.

Un partenariat avec l'ANCRE, l'agence nationale de coordination de la recherche pour l'énergie, est à l'origine de la rencontre « Efficacité énergétique dans l'industrie » du 30 juin 2016.

Présentations de technologies - 30 juin 2016

Optimisation énergétique du froid

- **Institut Carnot ICÉEL** : Production de froid par adsorption à partir de chaleur fatale ou renouvelable
- **Institut Carnot M.I.N.E.S** : Maîtrise des propriétés thermophysiques des fluides frigoporteurs

Optimisation des procédés : composants, matériaux

- **Institut Carnot CEA LETI** : Composants innovants d'électronique de puissance en GaN pour convertisseurs électriques
- **Institut Carnot Energies du futur** : Plateforme d'essais d'équipements thermiques et outils de simulation dynamique de systèmes
- **Institut Carnot Energies du futur** : Stockage de chaleur
- **Institut Carnot M.I.N.E.S** : Echangeurs à haute efficacité énergétique

Optimisation des procédés : contrôle-commande

- **Institut Carnot CEA LETI** : SMART SPY - système mobile multicapteurs d'analyse de chaîne de production ou d'activité industrielle
- **Institut Carnot CEA LIST** : Monitoring de systèmes énergétiques par analyse statistique de données
- **Institut Carnot Ingénierie@Lyon** : Amélioration de l'efficacité de machines thermiques via le contrôle-commande prédictif
- **Institut Carnot M.I.N.E.S** : Usine sobre : du diagnostic à la conception de solutions - Plateforme CERES
- **Université Bretagne Sud - IRDL** : Optimisation temps/énergie dans les procédés de séchage et cuisson
- **Université de Nantes - GEPEA** : Plateforme d'optimisation énergétique des procédés alimentaires

Valorisation de la chaleur fatale et des déchets

- **Institut Carnot Energies du futur** : Conversion en électricité de chaleur fatale
- **Institut Carnot ICÉEL** : Plateforme de caractérisation à haute température de matériaux récupérateurs de chaleur fatale
- **IFP Energies nouvelles** : Plateforme de recherche et d'innovation - Systèmes chimiques, thermiques et thermodynamiques éco-efficaces

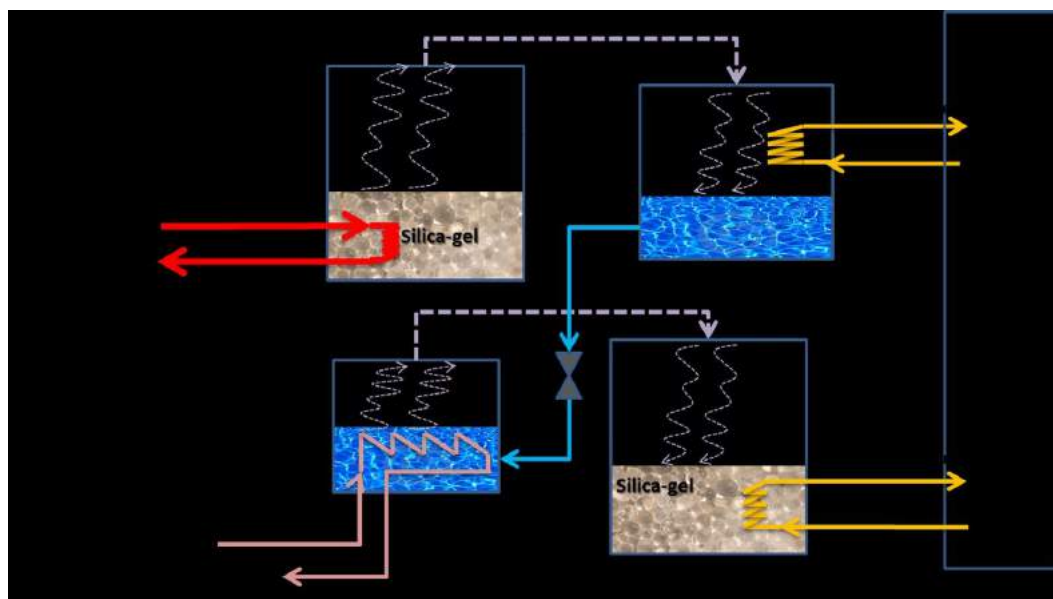
Posters - 30 juin 2016

- **Institut Carnot ICÉEL** : Plateforme Enerbat
- **Institut Carnot Energies du futur** : Conversion en froid de chaleur fatale
- **INERIS** : Plateforme Ardevie - valorisation des déchets
- **Institut Carnot M.I.N.E.S** : Réseaux de chaleur

Production de froid par adsorption à partir de chaleur fatale ou renouvelable

Les besoins en froid positif sont rencontrés en climatisation mais aussi dans les procédés industriels à titre principal ou dans un procédé en cascade, constituant ainsi la première étape du refroidissement. Ces besoins sont très énergivores et pénalisent la performance énergétique et économique.

Il existe une solution permettant de réduire la consommation énergétique des procédés de production de froid positif. La production de froid par adsorption, utilisant le couple silicagel-eau, est « drivée » par de la chaleur contrairement aux machines frigorifiques à compression qui sont entraînées par une énergie noble (mécanique ou électrique). Cette chaleur peut être fournie par une chaudière, un moteur thermique (récupération des pertes thermiques), des capteurs solaires, une source géothermique directe (sol, nappe aquifère) ou indirecte (pompe à chaleur géothermique) ou tout effluent thermique (chaleur fatale) à une température supérieure à 75°C. Ainsi, ce mode de production de froid ne consomme pas d'énergie noble, ce qui aura un impact sur les finances (réduction de la facture énergétique) et sur l'environnement (réduction de la consommation d'énergie primaire et des émissions de CO₂).



Les entreprises en direction desquelles le laboratoire souhaite transférer sa technologie ou développer un partenariat de recherche sont les fabricants d'échangeurs de chaleur, car le verrou technologique se trouve au niveau de ce composant (faible efficacité), mais également les fabricants de machines frigorifiques, de chaudières, de cogénérateurs, de pompes à chaleur ou de solutions énergétiques pour le bâtiment ou l'industrie.

Contacts institut Carnot ICÉEL

LERMAB - <http://lermab.univ-lorraine.fr>

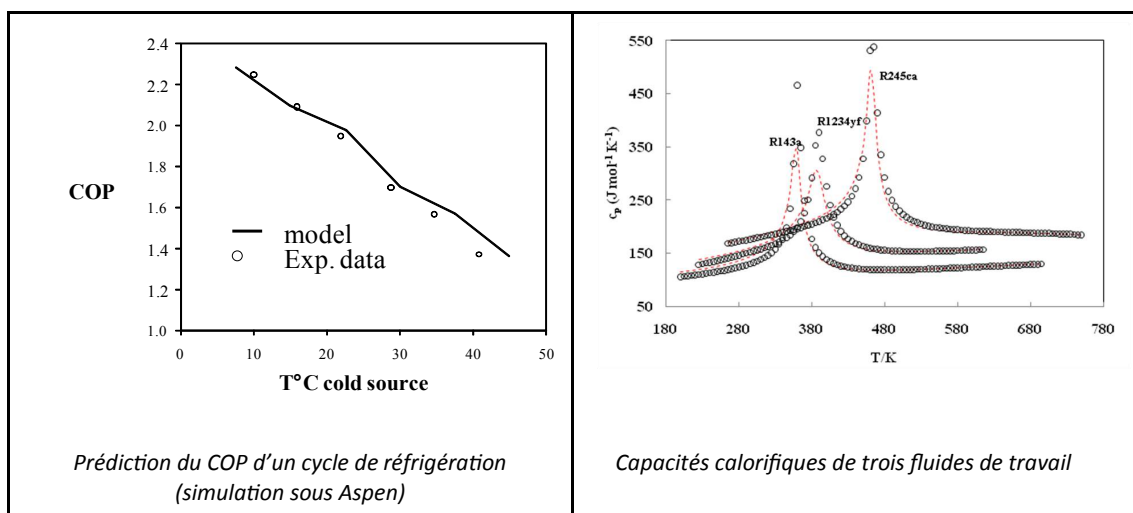
riad.benelmir@univ-lorraine.fr

mohamad.el-kadri9@etu.univ-lorraine.fr

Importance de la maîtrise des propriétés thermophysiques des fluides frigoporteurs

Le dimensionnement et l'optimisation des procédés nécessitent de bien connaître les principes de fonctionnement des différentes opérations unitaires et de parfaitement connaître les propriétés thermophysiques des fluides. Les propriétés thermodynamiques permettent de concevoir de nouveaux procédés tandis que les propriétés thermophysiques sont indispensables pour le dimensionnement des différentes opérations (échangeurs, compresseur, évaporateur-condenseur, etc.).

Concernant les fluides de travail (réfrigération, pompes à chaleur, ORC), du fait des contraintes réglementaires et environnementales, leurs utilisations sont soumises à la législation européenne (Fgaz) et à l'ASHRAE qui définit le pouvoir de réchauffement climatique autorisé de ces fluides de travail et leur classification en fonction notamment de leur toxicité.

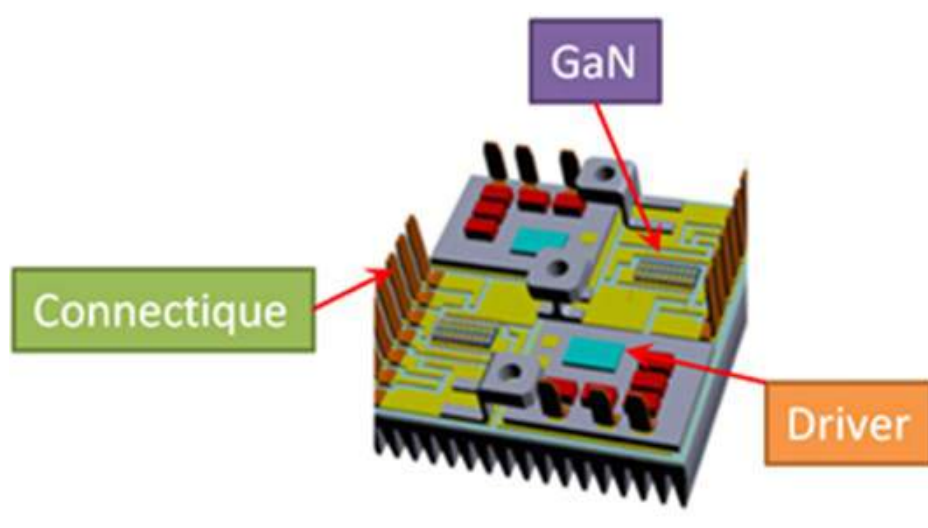


La figure 1 présente un exemple de simulation d'un cycle de réfrigération (prédiction du COP) et la prédiction (et mesure) des capacités calorifiques de fluides frigorigènes. Ces fluides de travail qui circulent principalement en circuit fermé, peuvent être des composés purs ou des mélanges. Les méthodes de caractérisation de ces mélanges sont expérimentales ou numériques (Coquelet 2016). Les performances des machines pourront être étudiées au moyen de simulateurs de procédés type ASPEN plus™ utilisant un modèle thermodynamique adapté. Ces résultats de simulation de systèmes énergétiques sont d'autant plus précis que les modèles sont précis à prédire les propriétés thermophysiques.

Ref : Coquelet, C. (2016). Sur la route des propriétés thermophysiques des fluides frigorigènes. *Revue Générale du Froid*.

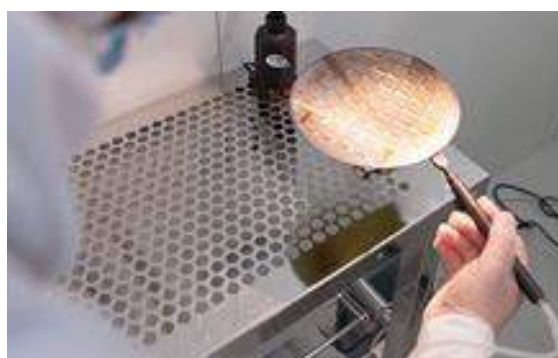
Composants innovants d'électronique de puissance en GaN pour convertisseurs électriques

L'institut Carnot CEA LETI développe des puces électroniques en matériau grand gap Nitrure de Gallium sur silicium. Le composant produit est un interrupteur bidirectionnel de puissance en GaN sur Si sous 600V et 10A. Ces composants apportent une rupture sur les performances électriques et la miniaturisation, ainsi que de nouvelles fonctions intégrées tel que la bidirectionnalité tension/courant. Ceci permet notamment de réaliser des convertisseurs plus performants (rendement, température), plus légers, plus fiables et moins chers.



Vue 3D d'un module d'électronique de puissance

Nous proposons sur cette base un convertisseur AC/DC innovant, dans les gammes du Watt et du Kilowatt. Il permet ainsi de réaliser par exemple un chargeur réversible de batterie pour voiture électrique (recharger la batterie du véhicule ou réalimenter la maison) ou des onduleurs off line sur un réseau smart grid ou des convertisseurs pour l'énergie photovoltaïque.



Contact institut Carnot CEA LETI

www-leti.cea.fr

thierry.bouchet@cea.fr fabien.boulanger@cea.fr

Plateforme d'essais d'équipements thermiques

Au sein de l'institut Carnot Energies du futur, le CEA Liten/DTBH dispose d'une plateforme dédiée aux essais d'équipements autour de la thermique (composants ou systèmes). Ces moyens d'essais sont principalement de type boucle fluide avec une source chaude et une source froide (ambient ou réseau de froid).

Pour le cas de source chaude avec fluide caloporteur liquide, une douzaine de boucles sont disponibles avec : eau, huile thermique, réfrigérants jusqu'au cas supercritique (R134a, HFE7000, CO₂,...), hydrocarbures (propane, butane, pentane). Les aspects ébullition ou condensation peuvent bien entendu être étudiés pour ces fluides. Suivant les fluides et les boucles les niveaux de pression sont variables avec des essais sous vide partiel en eau (10 mbars) jusqu'à plus de 80 bars en CO₂ supercritique, jusqu'à 150°C en eau, 300°C en huile thermique. Les débits vont de quelques l/h à 100m³/h pour la boucle la plus grosse.

Boucles de test d'échangeurs de chaleur



Boucle en eau



Echangeur encrassé



Boucle en fluide réfrigérant

Pour le cas de source chaude avec fluide caloporteur air, quatre boucles sont disponibles avec différents niveaux de température, puissance thermique, débits et pression. Elles ont été utilisées pour le test d'équipements, pour la récupération d'énergie sur fumées ou pour le stockage de chaleur haute température. Les niveaux de pression varient de 1 à 30 bars, les débits de 0,04 à 0,4 kg/s d'air et les températures.

Trois boucles sont plus particulièrement dédiées aux aspects encrassement des équipements thermiques en eau, air ou fluides pétroliers.

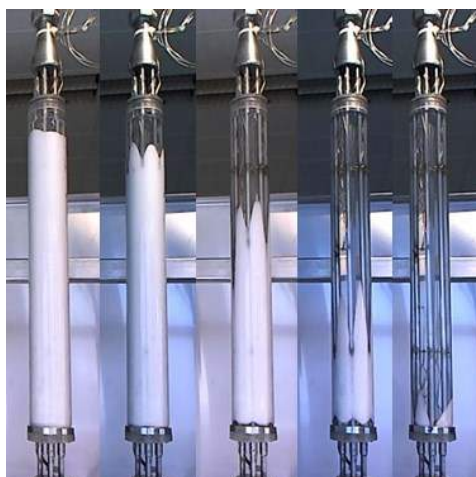
Contact institut Carnot Energies du futur
CEA LITEN <http://liten.cea.fr>
jean-francois.fourmiguie@cea.fr

Stockage de chaleur

Au sein de l'institut Carnot Energies du futur, le CEA Liten/DTBH travaille sur les différentes technologies de stockage de chaleur et en particulier en utilisant la forte chaleur latente de certains matériaux pour passer de l'état solide à l'état liquide (Matériaux à Changement de Phase).

Les approches sont bien entendu à la fois expérimentales et de simulation. Pour les installations, diverses échelles sont disponibles : de la boucle d'étude phénoménologique contenant 1 litre de matériau jusqu'au prototype avec 21 tonnes couplé à une centrale solaire thermodynamique à miroirs de Fresnel. Au niveau simulation, différents niveaux de complexité sont abordés depuis des modèles simples de dimensionnement jusqu'à l'utilisation d'un logiciel commercial de mécanique des fluides et de thermique (Fluent) pour prendre en compte les mouvements de convection naturelle dans le matériau liquide.

Stockage de chaleur par matériau à changement de phase



Démonstrateur 21 tonnes



Boucle phénoménologique

Exemple de matériau

L'intérêt principal de cette technologie est la forte densité de stockage que l'on peut obtenir pour un faible écart de température. Les matériaux que l'on peut trouver dans le commerce couvrent une large plage de niveaux de température et donc d'applications potentielles en particulier pour un stockage lié à la récupération de chaleur fatale intermittente et à son lissage.

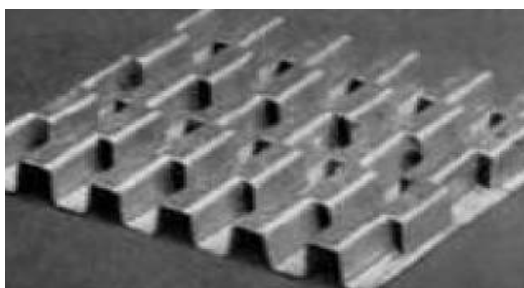
Contact institut Carnot Energies du futur
CEA LITEN - <http://liten.cea.fr>
jean-francois.fourmiguie@cea.fr

Echangeurs à haute efficacité énergétique

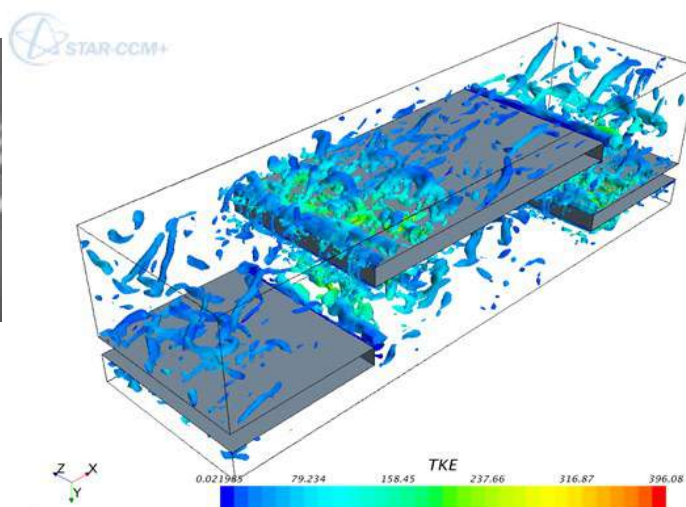
Les performances des échangeurs sont directement liées à la géométrie des parties solides, à la structure des écoulements de convection thermique et aux transferts conducto-convectifs.

A partir d'un savoir-faire technique comprenant trois axes de développement (la conception par simulation numérique de techniques d'intensification passives, la mise en œuvre de techniques numériques d'optimisation de forme et la caractérisation expérimentale à différents types d'échelle : maquette laboratoire, prototype de taille significative), le Département Énergétique Industrielle de Mines Douai aide à développer de nouveaux types d'échangeurs aux performances thermo-aérauliques améliorées.

Les solutions techniques développées comprennent la structuration des surfaces d'échanges pour le contrôle et la manipulation spatio-temporels des structures tourbillonnaires des écoulements, l'optimisation des extensions de surfaces en intégrant les couplages conducto-convectifs dans le but d'accroître les transferts en minimisant les pertes par dissipation mécanique.



Simulation numérique du développement des structures tourbillonnaires pariétales dans un échangeur à ailettes à pas décalé



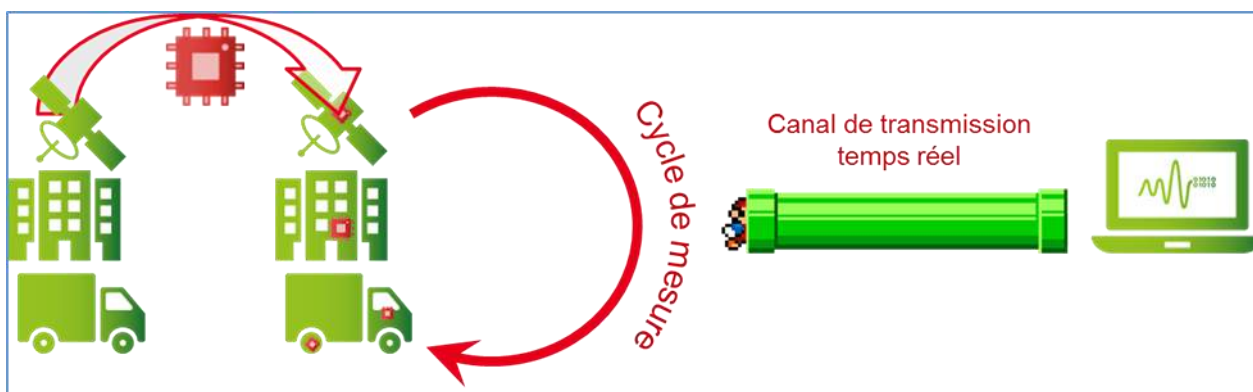
Les constructeurs et les intégrateurs d'échangeur sont directement visés par notre offre qui leur permet de concevoir des composants et systèmes thermiques plus performants énergétiquement, dans un large panel d'applications traditionnelles ou plus récentes. Le domaine des transports qui connaît actuellement des changements très importants au niveau moyen de propulsion (électrification, hybridation) est particulièrement impliqué dans la recherche de nouvelles technologies de transfert de chaleur. Le domaine de la récupération de chaleur fatale est également un domaine où notre savoir-faire est impliqué, notamment dans la conception d'échangeurs ou de systèmes de récupération de chaleur soumis à de nouvelles contraintes (fluide encrassant, condensation).

Contact institut Carnot M.I.N.E.S
 DEI - <http://ei.mines-douai.fr>
daniel.bougéard@mines-douai.fr

SMART SPY : système mobile multicateurs pour l'analyse de chaînes de production et d'activité industrielle

L'institut Carnot LETI a développé une « boîte noire » électronique qui permet d'analyser votre activité industrielle. Insérée dans votre processus industriel, elle permet un monitoring vu de l'intérieur en analysant en continu le déroulement du processus : suivi spatial et environnement local.

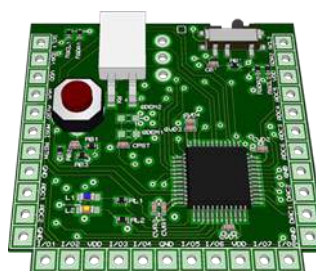
C'est un système miniaturisé d'un poids inférieur à 20 g. Il est constitué autour d'un circuit électronique générique d'enregistrements de données, autonome jusqu'à une journée, agrémenté d'accessoires (capture de mouvements, capteurs et modules de communication suivant les besoins) et d'une interface modulaire. Les capteurs disponibles sont : accéléromètres pour mesure de chocs ou vibrations, magnétomètres pour mesure d'orientations, capteur optique de mesure de distances, capteurs capacitifs, capteurs d'environnement (température, pression, atmosphère). D'autres capteurs sont en développement (détection de métal, colorimétrie...).



Le système est inséré dans le processus industriel, il enregistre ou transmet les données mesurées de l'environnement.

Le traitement de ces données permet de travailler à l'amélioration des processus. Cette solution est légère et modulaire, compatible avec des environnements contraints (chocs, pression, liquide).

Cette solution intéressera les sociétés PME ou ETI en métrologie industrielle ou les grands acteurs industriels ou logistiques.



Circuit générique de DataLogging

Contact Institut Carnot CEA LETI

www-leti.cea.fr

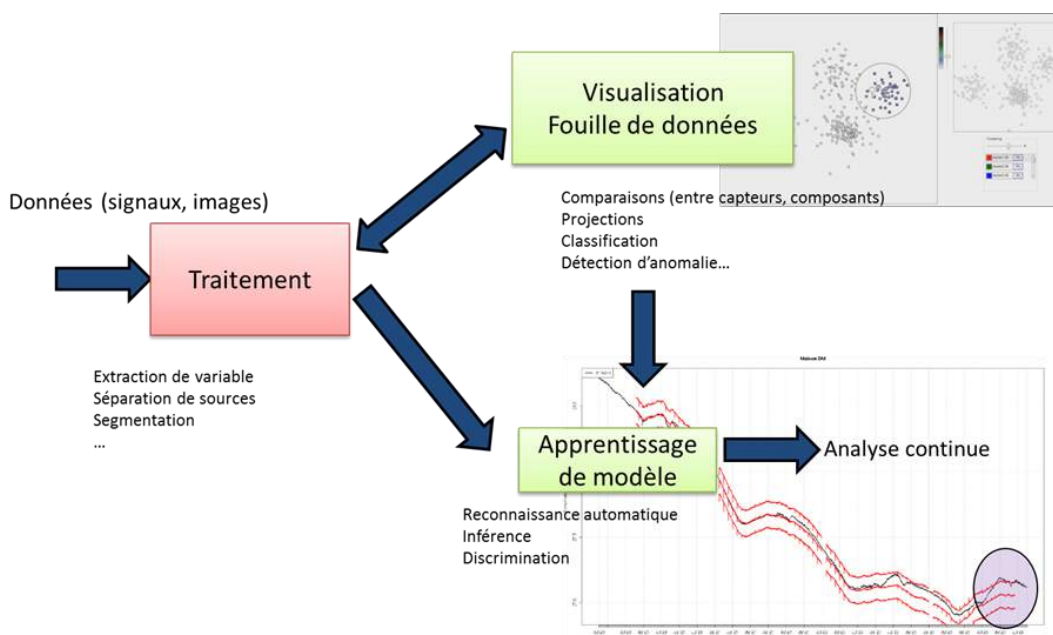
fabien.boullanger@cea.fr

marion.andrillat@cea.fr

Monitoring des systèmes énergétiques par analyse statistique de données

L'institut Carnot CEA LIST, dans son Laboratoire Analyse de données et intelligence des systèmes, développe des algorithmes capables d'analyser automatiquement les données mesurées relatives à l'état d'un système énergétique (consommation électrique, taux de dégradation, quantité produite, température, etc.) afin d'identifier et de prévenir les défaillances du système.

Ces méthodes sont fondées sur l'exploitation des mesures enregistrées pour restituer à un utilisateur expert les cas de fonctionnement anormaux, à l'aide d'outils de visualisation combinés à la fouille de données. Cette analyse permet notamment de mieux comprendre les situations problématiques et d'identifier les facteurs externes. Les résultats sont intégrés ensuite pour proposer des modèles d'apprentissage statistique capables de détecter les défaillances du système lors de son fonctionnement. Ces modèles sont notamment appliqués pour estimer et prédire l'évolution de la dégradation d'un système, telle que le vieillissement, afin de pouvoir alerter au plus tôt l'exploitant du site.



Développés spécifiquement pour analyser les données réelles, sans connaissance a priori des systèmes observés, ces outils ont été appliqués dans différents domaines comme par exemple l'analyse énergétique du bâtiment, l'analyse de défaillance dans les réseaux fluidiques, la compréhension du vieillissement du stockage électrochimique.

Contact Institut Carnot CEA LIST
<http://www-list.cea.fr>
jerome.gauthier@cea.fr

Amélioration de l'efficacité de machine thermique via le contrôle-commande prédictif

Au-delà d'assurer la régulation d'un process, le contrôle commande peut être utilisé pour améliorer l'efficacité énergétique de machines thermiques telles que des échangeurs de chaleur, des machines frigorifiques, des centrales de traitement d'air ou encore des chaudières industrielles. Sur cette base, le LabECAM (Centre de recherche de l'ECAM Lyon) a développé une commande avancée de type prédictive. Cette commande étant plus robuste que les régulations standards de type PID, elle assure une faible dispersion des grandeurs régulées par rapport aux consignes. Ce comportement permet de faire fonctionner la machine sur des points de fonctionnement plus intéressants en termes de rendement.

Une des originalités de la démarche développée a consisté à réaliser des modélisations macroscopiques de diverses machines pour déterminer les paramètres nécessaires à la mise en œuvre d'une telle commande. Une première bibliothèque de composants a été créée, d'où une grande facilité d'utilisation pour un opérateur.



Cette commande a été implantée sur des automates industriels programmables et des essais ont montré que des gains à deux chiffres (>10%) sur l'énergie consommée par une machine étaient réalisables. Cette technologie s'adresse aux entreprises qui produisent de l'énergie, aux industriels qui fabriquent des machines thermiques, mais également aux exploitants de ces machines.

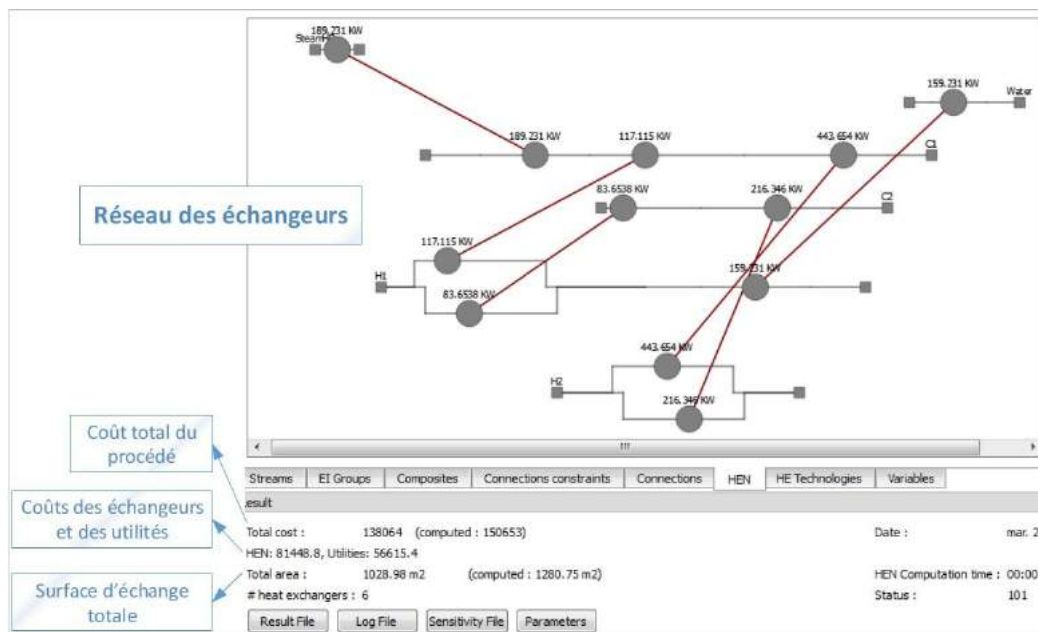
Contact Institut Carnot Ingénierie@Lyon
LabECAM - www.ecam.fr
christophe.changenet@ecam.fr
mohamed.benallouch@ecam.fr

Usine sobre : du diagnostic à la conception de solutions Plateforme CERES

Le contexte règlementaire de l'Audit Énergétique additionné aux incitations créées par les CEE peut créer un cercle vertueux pour l'efficacité énergétique de l'industrie seulement si le diagnostic est réalisé avec une méthodologie efficace et une analyse détaillée systématique qui vont détecter les gisements d'économie d'énergie et proposer des solutions rentables pour les réaliser.

Offre de méthodologie et d'outils d'aide à la décision

Comprendre le procédé, modéliser et évaluer l'énergie minimale requise : Pour évaluer le gisement d'économie d'énergie disponible, il faut comprendre les besoins intrinsèques de la transformation. Le CES, Centre Efficacité énergétique des systèmes de l'institut Carnot M.I.N.E.S, capitalise son expérience du terrain par la construction de bibliothèques de modèles de procédés.



Les outils d'analyse et conception des solutions : L'analyse énergétique et exergétique ainsi que les méthodologies d'intégration énergétique sont des outils importants pour réaliser l'analyse et concevoir les solutions. Le CES développe depuis plusieurs années la plateforme CERES qui capitalise cette méthodologie et la rend disponible pour l'aide à la conception des solutions.

La formation et la diffusion du savoir faire : Via le Club CERES, le CES dispense des formations régulières (2 à 3 fois par an) à la méthodologie et à l'utilisation de CERES.

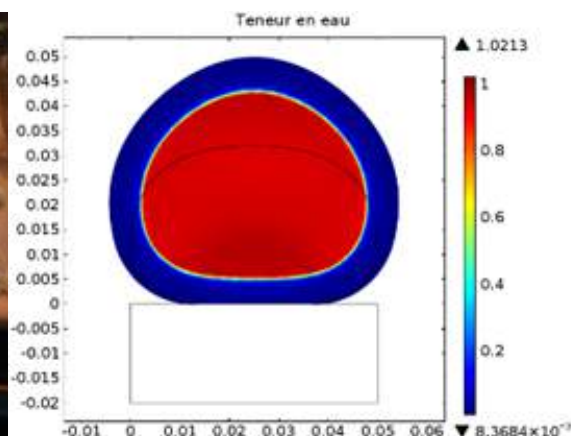
Contact Institut Carnot M.I.N.E.S
CES - www.ces.mines-paristech.fr
maroun.nemer@mines-paristech.fr
assaad.zoughaib@mines-paristech.fr

Optimisation temps/énergie dans les procédés de séchage et de cuisson

Dans les procédés de séchage et de cuisson, l'exploitation combinée de différents mode d'apports d'énergie s'avère intéressante en termes de temps de traitement et de consommation d'énergie.

Une partie de nos travaux porte sur l'utilisation combinée de la convection et de sources rayonnantes (rayonnement infrarouge et/ou micro-onde) qui permet d'accroître l'efficacité des installations, à condition de bien gérer les fortes densités de puissance disponibles. Le chauffage par contact direct (conduction thermique) intervient également dans différentes études.

Dans le laboratoire, nous avons mis en place des pilotes fortement instrumentés permettant de quantifier l'interaction produit-process afin d'évaluer différents scénarios, par exemple le séchage combiné par convection, infra-rouge et/ou micro-onde. Des études à l'échelle de séchoirs et de fours sont également menées.



Cuisson de produits céréaliers

En parallèle nous développons des modèles numériques multiphysiques représentatifs des phénomènes de transferts (chaleur, masse) et des déformations au sein des produits. Ces modèles servent aux dimensionnement et à la recherche hors ligne par technique inverse de paramètres opératoires optimisés.

Les applications concernent des produits en couche mince et des milieux poreux qui peuvent subir de grandes déformations.



Enceinte air chaud/IR/MO

Contact Institut de Recherche Dupuy de Lôme
 Université Bretagne Sud
<http://irdl.fr>
patrick.glouannec@univ-ubs.fr

Plateforme Optimisation énergétique des procédés agroalimentaires

Une plateforme en Génie des Procédés Agroalimentaires héberge différents procédés et opérations unitaires ainsi que des équipements prototypes innovants. D'une surface totale de plus de 2400 m², cette structure permet de réaliser des essais de qualification des procédés (consommation d'énergie, flux divers), des tests sur des procédés innovants et permet de reproduire des conditions de production de standard industriel.

La présence en proximité immédiate d'un parc analytique de haut niveau (calorimétrie, rhéométrie, tomographie à Rayon X ...) permet d'analyser et d'étudier l'impact des procédés sur la qualité et la structure des produits.

La majeure partie de nos travaux concernent les traitements thermiques et frigorifiques de produits alimentaires (cuisson, pasteurisation, congélation ...). Par des stratégies innovantes et des procédés multi-physiques, il s'agit de minimiser la consommation énergétique tout en garantissant des qualités de produits égales ou supérieures à celles obtenues avec des techniques conventionnelles.



Exemple : développement de fours de cuisson à basse consommation d'énergie

Notre démarche scientifique s'appuie sur :

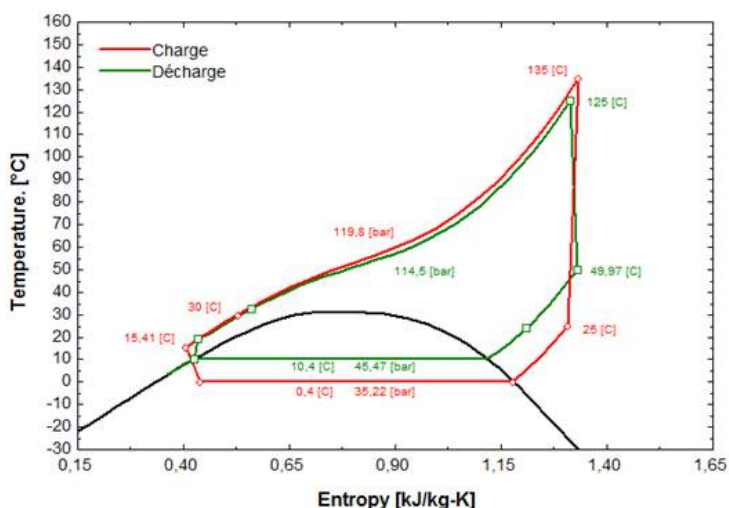
- la modélisation des phénomènes multi-physiques,
- l'élaboration de lois de commandes répondant à des objectifs multicritères basés sur l'efficacité énergétique et des indicateurs de qualité,
- la conception de bancs expérimentaux, de démonstrateurs et le développement de simulateurs validant nos stratégies.

Conversion en électricité de chaleur fatale

Au sein de l'institut Carnot Energies du futur, le CEA LITEN/DTBH travaille sur le développement d'une machine de conversion en électricité de chaleur basse température sur le principe des équipements de type ORC (Organic Rankine Cycle).

Il s'agit de machines thermodynamiques basées sur un cycle classique avec compression, élévation de température et enfin détente dans une turbine d'un fluide choisi pour son comportement au niveau de pression et de température souhaité.

Des machines de ce type existent déjà et l'innovation apportée consiste à transposer le cycle en trans-critique : la pression maximale est supérieure à la pression critique du fluide. Dans cette configuration, la récupération de chaleur fatale s'effectue dans un échangeur où le fluide est supercritique et donc avec une efficacité plus importante (pas de problème de pincement, plus grand épuisement de la source de chaleur). De plus, du fait de l'élévation du niveau de pression, le travail fourni par le cycle est plus important et donc le rendement est amélioré. Un premier prototype a été construit et testé sur une source de chaleur inférieure à 150°C. Des modèles de comportement du cycle global et de ses composants ont été mis au point.



Machine ORC trans-critique : installation expérimentale et cycle thermodynamique

Contact institut Carnot Energies du futur

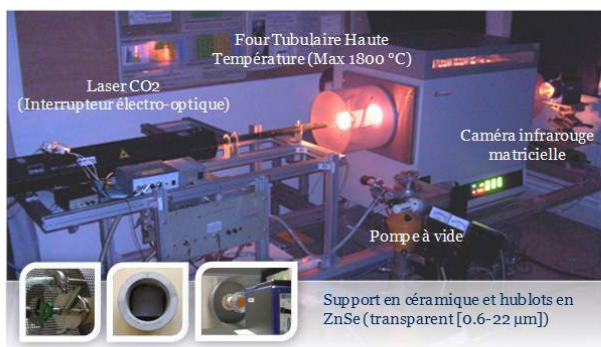
CEA LITEN - <http://liten.cea.fr>

jean-francois.fourmiguie@cea.fr

Plateforme de caractérisation à haute température de matériaux récupérateurs de chaleur fatale

La récupération de chaleur fatale à haute température permet une valorisation plus variée et plus efficace. L'optimisation des systèmes passe par une bonne connaissance des propriétés thermiques et optiques (le rayonnement thermique représentant une part importante voire prépondérante des échanges) des matériaux mis en œuvre aux températures de fonctionnement rencontrées. La plateforme de caractérisation à haute température des matériaux de l'institut Carnot ICÉEL - LEMTA, permet les mesures suivantes :

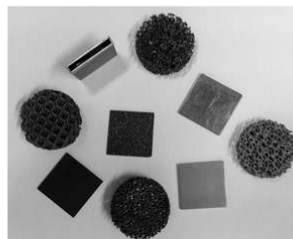
- Mesure d'émissivité spectrale à haute température par méthode indirecte : de T ambiante à 800 °C
- Mesure d'émissivité spectrale à haute température par méthode directe - 600°C à 2000 °C
- Mesure de diffusivité thermique 3D à haute température par méthode laser Flash – de T ambiante à 1800°C (Matériaux anisotropes, multi-couches, poreux, liquides, ...)
- Mesure de capacité thermique à haute température par calorimétrie différentielle – de T ambiante à 1600 C



Banc LaserFlash 3D de caractérisation thermique à haute température par thermographie InfraRouge de solides et de liquides (Verre fondu)



Emission thermique d'un échantillon chauffé à haute température par laser CO₂



Exemple de matériaux
(Carbone monolithique, SiC-Alumine, Graphite, Alliage de Titane, verre liquide, ...)

Au-delà de la caractérisation des matériaux, l'étude de leur intégration dans des systèmes complets, le développement de modèles thermiques pour la maîtrise et la compréhension de procédés d'élaboration ou de contrôle font partie des compétences des chercheurs de la plateforme.

Projets collaboratifs, partenariats, prestation de service, études, sont proposés aux entreprises de toutes tailles et tous secteurs.

Contact institut Carnot ICÉEL
LEMTA - <https://lemta.univ-lorraine.fr>
gilles.parent@univ-lorraine.fr

Plateforme de recherche et d'innovation
Systèmes chimiques, thermiques et thermodynamiques éco-efficients

IFPEN propose un écosystème complet d'accélération des développements technologiques de ses partenaires basé à la fois sur une expertise technique et des moyens d'analyse, de conception, de simulation et d'essais de haut niveau mais aussi sur des compétences complémentaires de développement de produits et services innovants.

Ainsi, sur l'ensemble du cycle de conception / développement les outils et expertises d'IFPEN permettent :

- d'analyser, de caractériser puis de modéliser le comportement des fluides et des matériaux ainsi que leurs interactions sous différentes conditions de contrainte mécanique, de pression et de température mais aussi en durabilité ;
- de concevoir des procédés optimisés de conversion chimique ou des dispositifs thermiques ou thermodynamiques intégrant les systèmes de contrôle et de management ;
- de tester et valider ces systèmes à différentes échelles allant du pilote de laboratoire jusqu'à l'unité de démonstration industrielle.

De plus, IFP Energies nouvelles dispose de compétences complémentaires allant de l'analyse technico-économique et environnementale au marketing stratégique en passant par le conseil juridique et la propriété intellectuelle.

Cet écosystème s'adresse aux PME et ETI concevant, développant et industrialisant tout type de procédé ou système visant à améliorer l'efficacité énergétique et environnementale de l'industrie : capteurs, échangeurs, systèmes thermiques ou thermodynamiques, réacteurs de conversion chimique, pompes...



Le hall Lapis-Lazuli des maquettes froides IFPEN Lyon

© IFPEN - Cyrille DUPONT



Autoclaves - Interaction fluides-matériaux en pression, température et environnement complexe

© IFPEN

Contact IFPEN

<http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/Developpement-industriel/Soutien-aux-PME>

antoine.albrecht@ifpen.fr

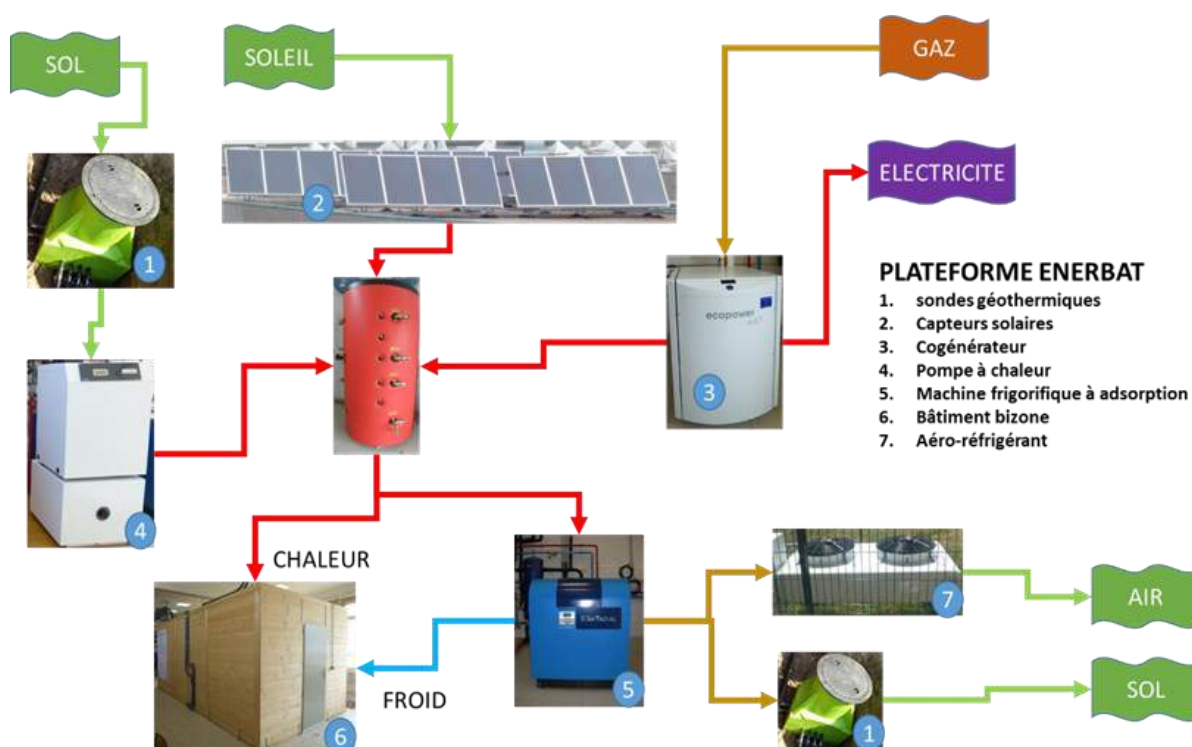
La plateforme technologique ENERBAT permet de mener des études systémiques des équipements du bâtiment pour un couplage optimal à l'enveloppe du bâtiment. La conception est basée sur la tri-génération d'énergie (chaleur/froid/électricité) avec hybridation des ressources énergétiques (solaire/géothermie/gaz).

L'ensemble des équipements permettant l'intégration énergétique comporte un cogénérateur (moteur à combustion interne au gaz naturel), une machine frigorifique à adsorption (couple silicagel/eau) et une pompe à chaleur géothermique.

Les sources d'énergies renouvelables sont exploitées par des capteurs solaires et des sondes géothermiques verticales.

L'enveloppe est une construction en bois bi-zone (chaude/froide) dont le conditionnement est assuré par des plafonds rafraichissants et des planchers chauffants.

Cette installation a permis de valider expérimentalement des modèles numériques des équipements et de l'enveloppe élaborés avec des outils tels que les Bond Graphs ou TRNSYS.



Contact institut Carnot ICÉEL
LERMAB - <http://lermab.univ-lorraine.fr>
riad.benelmir@univ-lorraine.fr

Posters



Conversion de froid en chaleur fatale

Au sein de l'institut Carnot Energies du futur, le CEA LITEN/DTBH travaille sur le développement d'une machine de conversion de chaleur pour la production de froid. Ce type de machine, connu sous le nom de machine à absorption, car basée sur les mécanismes d'absorption et de désorption de l'ammoniac dans l'eau, existe depuis longtemps mais avec une source de chaleur à haute température (brûleur à gaz) et avec de grandes quantités d'ammoniac.

L'innovation apportée consiste en l'utilisation optimale d'une source de chaleur basse température (60-80°C), grâce, en particulier, à l'utilisation d'échangeurs compacts. Ce changement de composants permet aussi une réduction drastique des volumes d'ammoniac mis en jeu.

Une application envisagée et pour laquelle plusieurs prototypes ont été construits et testés, est la climatisation solaire en utilisant la chaleur en excès de panneaux solaires domestiques en été. Des prototypes successifs ont été construits tout d'abord avec un maximum d'accessibilité pour la mise au point et l'instrumentation puis sous une forme plus proche d'un produit.



Contact institut Carnot Energies du futur

CEA LITEN <http://liten.cea.fr>

jean-francois.fourmiguie@cea.fr

Posters



ARDEVIE : L'évaluation de filières innovantes de valorisation de déchets

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, adoptée le 17 août 2015, inscrit formellement la notion d'économie circulaire dans le Code de l'Environnement, avec pour corollaire une politique nationale de gestion des déchets ambitieuse.

Valorisation des déchets / co-produits, recyclage, extraction des substances à forte valeur ajoutée, économie des ressources tant matérielles qu'énergétiques, la plateforme ARDEVIE, exploitée par l'INERIS à Aix-en-Provence, offre les outils pour aider à relever ce défi :

- Caractérisation initiale des déchets / nouveaux matériaux à base de déchets ;
- Identification des substances potentiellement dangereuses et des substances d'intérêt ;
- Evaluation des filières de valorisation envisagées et acceptabilité environnementale ;
- Expérience acquise sur différents types de déchets / co-produits (MIOM, cendres de centrale, cendres de biomasse, laitiers, scories, sédiments, PUNR, déchets plastiques, ...) ainsi que différentes filières : RFB et DEEE, Piles et batteries au Li, combustibles solides de récupération, boues de lixiviats d'ISDnD, stabilisation des sols pollués, traitement des rejets industriels et des eaux usées, ...

En épaulant les démarches innovantes, ARDEVIE peut aider les industriels producteurs ou traiteurs de déchets à sécuriser et pérenniser leurs filières de gestion.



Contact INERIS

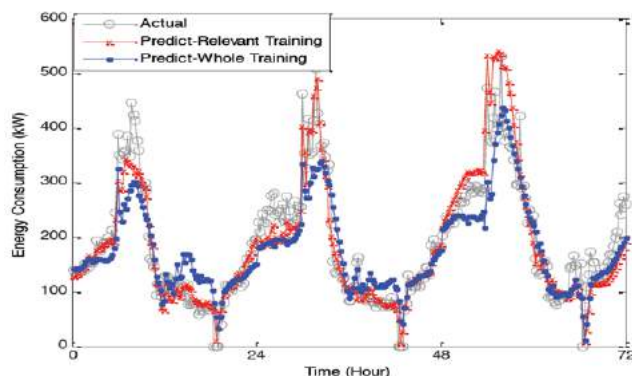
www.ineris.fr/prestations/solutions/ardevie-centre-competences-expertise-dechets-materiaux
roger.revalor@ineris.fr

Posters



Réseaux de chaleur

La gestion de l'énergie à l'échelle territoriale est le prolongement naturel de l'analyse déjà multi échelle qui va des procédés au site industriel dans son ensemble. La simulation énergétique complète les méthodes d'audit et les outils de modélisation des procédés d'un site et d'intégration énergétique intra site dans la recherche d'efficacité. Elle permet l'optimisation des échanges entre sites industriels ou entre un site industriel et son environnement (ex. urbain), en identifiant les opportunités de gisement et les profils de demande des acteurs en réseaux.



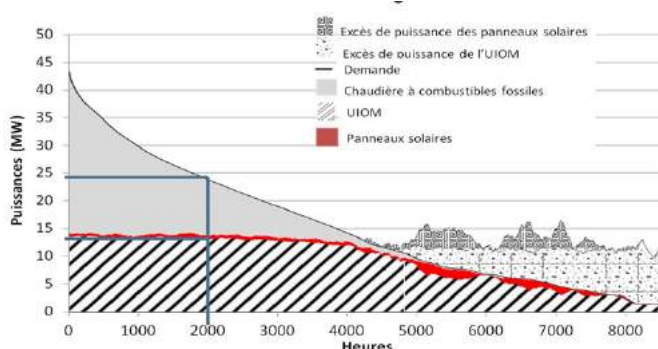
Exemple de modélisation de la demande

Avec un focus particulier sur la chaleur, le Département Systèmes Energétiques et Environnement des Mines de Nantes (Institut Carnot M.I.N.E.S.) développe des outils de modélisation de la demande en chaleur à l'échelle d'un ensemble de bâtiments ou du quartier, ainsi que des outils de modélisation des réseaux énergétiques thermiques (urbains ou industriels).

La notion de réseau décrit un ensemble de nœuds dont la demande ou la production peuvent varier au cours du temps, allant jusqu'à des nœuds « prosumer » (tantôt consommateurs, tantôt producteurs). Les systèmes de production pris en compte (via les sous modèles associés) couvrent les sources classiques ou renouvelables, intermittentes ou continues. Le couplage avec les modèles de procédés permettent également la prise en compte des co-produits chaleur des sites industriels.

Les outils développés permettent de considérer des objectifs d'évaluation (a posteriori ou a priori), de design, de développements stratégiques à différents horizons et pas de temps.

Un couplage avec les TIC (en collaboration avec l'Institut Carnot Télécom & Société numérique) permet également de cibler des objectifs de pilotage et de smart metering pour une transition vers les réseaux thermiques intelligents.



Exemple de modélisation de l'offre (réseau de chaleur et systèmes associés)

Contact institut Carnot M.I.N.E.S
DSEE Nantes www.mines-nantes.fr/fr/Recherche
bruno.lacariere@mines-nantes.fr

Les partenariats entre les instituts Carnot et les entreprises

Créés par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche pour encourager et favoriser les partenariats entre la recherche publique et le monde économique, les instituts Carnot sont des structures de recherche de classe internationale qui prennent des engagements forts de coopération en R&D avec les entreprises et les collectivités.

Les instituts Carnot, qui représentent 15% des effectifs de la recherche publique, mettent en œuvre des stratégies de développement scientifique et technologique en interaction avec les besoins sociaux et les demandes des entreprises.

> Conseil et expertise

Analyse du besoin avec des experts du domaine
Benchmark, analyse du risque
Accompagnement au montage de projet

> Plateformes technologiques

Essais techniques, cliniques et pré-cliniques
Tests et validation
Moyens spécifiques avec appui technique

> Projets de R&D bilatéraux

Contrats sur mesure (de quelques semaines à quelques années, 5 k€ à > 1 M€)
Mobilisation des compétences pertinentes au regard du besoin (chercheurs, moyens techniques, thèses notamment CIFRE...)

> Projets collaboratifs

Partenaires R&D de projets collaboratifs (Europe : H2020, programmes spécifiques PME, France : Feder, ANR, FUI...)

> Laboratoires communs

Mise en commun de moyens matériels et humains. Les projets s'inscrivent dans un programme de recherche de 3 ans ou plus

Un engagement fort auprès des clients et partenaires

- > Gestion professionnelle de la confidentialité,
- > Politique de Propriété Intellectuelle lisible et équilibrée,
- > Accès facilité aux compétences scientifiques et technologiques,
- > Prise en compte du besoin et des contraintes de l'entreprise tout au long du projet.

7 500 contrats avec plus de 2 000 entreprises dont 900 PME chaque année

Association des instituts Carnot 120, avenue du Général Leclerc 75014 Paris

01 44 06 09 00 www.instituts-carnot.eu

Contact relations entreprises : Jacques Larrouy

jacques.larrouy@aicarnot.fr 01 44 06 09 03 / 06 79 11 14 41

Le PEXE fédère les réseaux d'éco-entreprises (clusters, pôles de compétitivité, syndicats professionnels) et représente plus de 5000 éco-entreprises en France, intervenant dans les secteurs déchets, eau, air, sols pollués, bruit, énergies renouvelables, efficacité énergétique, bâtiments à faible impact environnemental.

Avec l'appui de ses membres, le PEXE (**P**artenariat pour l'**EX**cellence de la filière des **E**co-entreprises) s'est donné comme objectif :



Accélérer le développement économique des PME et ETI du secteur des éco-entreprises en France et à l'international, sur les leviers suivants : innovation, accès aux financements, développement commercial.



Faire de la France un véritable pôle d'excellence mondial des éco-entreprises, à l'image de l'aéronautique ou du ferroviaire,

Les missions du PEXE :

- **Assurer le maillage territorial et rendre lisible l'excellence des réseaux d'éco-entreprises**
(pôles de compétitivité, clusters, syndicats, fédérations)
- **Assurer une coordination nationale et mener des actions collectives**
- **Mettre en place des outils et conditions pour développer les éco-PME**
- **Gagner en efficacité en facilitant les échanges entre acteurs de la filière**

Les quatre grands axes d'action :

- **Innovation**
- **International**
- **Financement**
- **Relations grands-comptes / PME**

Sur ces axes, l'association met en œuvre des actions aux résultats concrets, monte des partenariats, facilite des échanges entre les membres et les acteurs publics, et agit ainsi comme une véritable courroie de transmission en faveur des éco-PME, de leur développement et de leur ancrage territorial.

un pôle d'expertise spécifique sur les projets d'énergie renouvelable et les éco-industries



Une banque responsable au service d'une économie respectueuse de l'environnement et source d'innovation

Banque pionnière et reconnue pour son engagement auprès des acteurs de l'environnement et des éco-activités, le Crédit Coopératif est un banquier de référence en matière d'accompagnement financier de projets d'énergies renouvelables. Il a développé un pôle d'expertise spécifique sur les projets d'énergies renouvelables et les éco-industries. En finançant des solutions respectueuses de l'environnement, il accompagne ses clients sur le long terme, et notamment le réseau des éco-entreprises PEXE qui est un partenaire historique.

→ Près de **600 millions d'euros** d'encours de crédits consacrés aux énergies renouvelables au 31/12/15

- **98,6%** sont des projets d'énergies renouvelables
- **1,4%** sont des projets de cogénération gaz

→ **429** projets d'EnR financés : éolien, photovoltaïque, biomasse, hydroélectricité et cogénération

Un accord signé avec la BEI (Banque européenne d'investissement) en faveur de l'efficacité énergétique

Crédit Coopératif est la banque retenue pour le refinancement à moyen long terme de projets privés de performance énergétique dans le cadre de l'appel d'offre lancé par la BEI pour la France.

Il a signé un accord avec la BEI en décembre 2015, lors de la COP 21.

Grâce à ce partenariat, le Crédit Coopératif pourra accorder **75 millions d'euros de prêts supplémentaires** pour financer vos projets d'efficacité énergétique et bénéficier, pour l'accompagnement de vos projets, de l'expertise technique et financière de consultants spécialisés.

Banque coopérative présente sur tout le territoire,
le Crédit Coopératif est une banque à taille humaine
où chaque client est connu et reconnu.

Son réseau régional, sa proximité
avec les différents acteurs publics et privés locaux
lui permet de proposer des solutions concrètes et innovantes.

www.credit-cooperatif.coop

Contact : Jean-Michel Youinou

jean-michel.youinou@credit-cooperatif.coop

www.rencontres-ecotech.fr



Les rencontres éco-technologiques 2016

Efficacité énergétique dans l'industrie

Paris - 30 juin 2016

Ecotech - Finances

Paris - 29 septembre 2016