



Coordination : Bruno Peuportie, *Livre blanc sur les recherches en énergétique des bâtiments*, Paris : Presses des MINES, collection Développement durable, 2013.

© Presses des MINES - TRANSVALOR, 2013  
60, boulevard Saint-Michel - 75272 Paris Cedex 06 - France  
[presses@mines-paristech.fr](mailto:presses@mines-paristech.fr)  
[www.pressesdesmines.com](http://www.pressesdesmines.com)

© Photos de couverture : Lisa Ricciotti et Pierre-Eric Grossi, IESC

ISBN : 978-2-35671-051-2

Dépôt légal : 2013  
Achévé d'imprimer en 2013 (Paris)

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

# Livre blanc sur les recherches en énergétique des bâtiments

Collection Développement durable

Dans la même collection :

Association Événement OSE  
*smart grids et stockage*

Ouvrage coordonné par Gilles Guerassimoff, Nadia Maïzi  
*smart grids. Au-delà du concept comment rendre les réseaux plus intelligents*

Mirabel François  
*La Déréglementation des marchés de l'électricité et du gaz*

Fabrice Flipo, François Deltour, Michelle Dobré, Marion Michot  
*Peut-on croire aux TIC vertes ?*

Benjamin Israël  
*Quel avenir pour l'industrie dans les places portuaires ?*

Association Événement OSE  
*Eau et Énergie*

Ouvrage coordonné par Bruno Duplessis et Charles Raux  
*Économie et développement urbain durable 2*

Ouvrage coordonné par Gilles Guerassimoff, Nadia Maïzi  
*Eau et Énergie: destins croisés*

Christophe Gobin  
*Réussir une construction en éco-conception*

Ouvrage coordonné par Jean Carassus et Bruno Duplessis  
*Économie et développement urbain durable 1*

Ouvrage coordonné par Gilles Guerassimoff et Nadia Maïzi  
*Carbone et prospective*

Peuportier Bruno  
*Éco-conception des bâtiments et des quartiers*

Ouvrage coordonné par Gilles Guerassimoff et Nadia Maïzi  
*Îles et énergie: un paysage de contrastes*

# Livre blanc sur les recherches en énergétique des bâtiments

Coordination : Bruno Peuportier

Ouvrage réalisé par le Groupe d'Analyse Prospective Thématique  
Bâtiment et Ville Durables

Dans le cadre du Programme Interdisciplinaire Énergie 2 CNRS



---

# Auteurs

---

Gilbert Achard	Marjorie Musy
Patrick Achard	Alexandre Nassiopoulos
Corinne Alonso	Alain Neveu
Alain Bastide	Jérôme Nicolle
Florian Battezzati	Elena Palomo
Riad Benelmir	Nicolas Petit
Christophe Beslay	Bruno Peuportier
Patrice Blondeau	Mickaël Philippe
Emmanuel Bozonnet	Stéphane Ploix
Thibaut Colinart	Michel Pons
Benoît Delinchant	Philippe Quirion
Maxime Doya	Jean-Jacques Roux
Mohamed El Mankibi	Gilles Rusaouën
Bruno Estibals	Mathieu Schumann
Gilles Fraisse	Françoise Thellier
Christian Ghiaus	Stéphane Thiers
Alain Guiavarch	Pierre Tittlein
Arnaud Jay	Monika Woloszyn
Gérard Jeandel	Etienne Wurtz
Frédéric Kuznik	Frédéric Wurtz
Bérangère Lartigue	Laurent Zalewski
Stéphane Lassue	Marie-Christine Zelem
Hervé Lesueur	Georges Zissis
Christophe Menezo	Assaad Zoughaib
Laurent Mora	





---

# Sommaire

---

AUTEURS .....	7
INTRODUCTION.....	13
<b>PARTIE 1 - LA SITUATION DE LA RECHERCHE CONCERNANT L'ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS .....</b>	<b>15</b>
1.1 BILANS ÉNERGÉTIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES.....	17
1.1.1 Aspects socio-économiques .....	17
<i>L'énergie : une approche sociotechnique .....</i>	<i>17</i>
1.1.2 La dépense énergétique et la production de CO <sub>2</sub> .....	18
1.1.3 Contraintes particulières .....	19
1.2 LA RECHERCHE : PRÉSENTATION DES LABORATOIRES ET AUTRES ORGANISMES.....	21
1.2.1 Les laboratoires dans les universités et grandes écoles.....	21
<i>Dans le domaine de l'énergie et des sciences de l'ingénieur.....</i>	<i>21</i>
<i>Dans le domaine des sciences économiques et sociales.....</i>	<i>39</i>
1.2.2 Autres organismes de recherche .....	41
1.2.3 Industriels et professionnels du bâtiment.....	44
1.3 LES LIENS INTERNATIONAUX .....	47
<b>PARTIE 2 - LES THÈMES DE RECHERCHE EN COURS ET À DÉVELOPPER DANS LE DOMAINE DU BÂTIMENT .....</b>	<b>49</b>
2.1 LA FINALITÉ ÉNERGÉTIQUE LIÉE AUX ASPECTS SANTÉ ET ENVIRONNEMENT .....	53
2.2 COMPRÉHENSION DES PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES PHYSIQUES .....	55
2.2.1 Transferts thermiques couplés .....	55
<i>À l'échelle des bâtiments .....</i>	<i>55</i>
<i>À l'échelle des matériaux .....</i>	<i>57</i>
2.2.2 Transferts de masse (en particulier humidité) .....	58
2.2.3 Mouvements d'air .....	60
2.2.4 Aspects thermodynamiques, bilan exergétique.....	65
2.3 ANALYSES SYSTÉMIQUES .....	71
2.3.1 Échanges avec l'extérieur .....	71

<i>Micro-climats et interactions avec le bâtiment</i> .....	71
<i>Échanges avec le sol</i> .....	74
<i>Liens avec le réseau électrique</i> .....	78
<b>2.3.2 Enveloppe</b> .....	84
<i>Matériaux nanostructurés</i> .....	84
<i>Les composants bioclimatiques</i> .....	85
<b>2.3.3 Intégration des énergies renouvelables et des équipements</b> .....	93
<i>Solaire thermique</i> .....	93
<i>Solaire photovoltaïque</i> .....	98
<i>Autres ressources renouvelables (biomasse, éolien...)</i> .....	101
<i>Cogeneration de l'énergie</i> .....	104
<i>Pompes à chaleur</i> .....	108
<i>Équipements électriques</i> .....	111
<b>2.3.4 Gestion et qualité de l'environnement intérieur</b> .....	117
<i>Qualité de l'air</i> .....	119
<i>Éclairage</i> .....	124
<i>Évaluation des ambiances thermiques</i> .....	128
<i>Comportement des occupants et stratégies de gestion</i> .....	134
<i>Contrôle-commande et exploitation en temps réel</i> .....	147
<b>2.3.5 Aspects socio-économiques</b> .....	151
<i>Énergie et sociétés : la place des usagers</i> .....	152
<i>Technique et société : attention aux utopies technologiques</i> .....	153
<i>Intégrer la part sociale des techniques</i> .....	153
<i>Faisabilité sociale et insertion sociale des techniques dans l'habitat</i> .....	154
<i>Informier-sensibiliser-éduquer-former</i> .....	155
<i>Précarité énergétique et habitat social</i> .....	156
<i>Replacer les usagers au cœur des systèmes sociotechniques</i> .....	157
<i>Aspects économiques</i> .....	159
<b>2.3.6 Démarches de conception</b> .....	160
<i>Éco-conception</i> .....	160
<i>Conception amont</i> .....	170
<b>2.4 MÉTHODES NUMÉRIQUES ET MISE EN ŒUVRE INFORMATIQUE</b> .....	173

2.4.1 Réduction de modèles.....	173
<i>Pourquoi réduire les modèles ?</i> .....	173
<i>Un petit échantillon des différentes approches de réduction</i> .....	174
<i>Les points à approfondir pour le futur</i> .....	176
2.4.2 Méthodes inverses et identification de modèles.....	177
<i>État des lieux</i> .....	177
<i>Principaux verrous scientifiques aujourd'hui</i> .....	179
2.4.3 Génie logiciel et interopérabilité entre modèles et outils.....	182
<i>Le besoin d'interopérabilité</i> .....	182
<i>État des lieux de l'interopérabilité en simulation du bâtiment</i> .....	184
<i>Limites de l'approche et perspectives de recherche</i> .....	185
2.4.4 Validation et fiabilité des modèles.....	190
<i>État des lieux</i> .....	190
<i>Verrous scientifiques</i> .....	192
2.4.5 Nouvelles approches de la modélisation.....	195
<i>Besoins spécifiques du bâtiment en termes de modélisation</i> .....	195
<i>Nouvelles approches</i> .....	196
2.5 MÉTROLOGIE ET EXPÉRIMENTATION.....	201
2.5.1 Métrologie.....	201
<i>Contexte Général</i> .....	201
<i>Conclusion</i> .....	205
2.5.2 Plates-formes expérimentales.....	205
<i>Introduction</i> .....	205
<i>CEA, plate-forme INCAS</i> .....	206
<i>Plate-forme PREDIS</i> .....	208
<i>Plate-forme Enerbat au LERMAB, Université de Lorraine</i> .....	213
<i>Plate-forme Bâtiment Durable Atlantique</i> .....	215
<i>Plate-forme DEFI : Dispositif Expérimental pour l'évaluation des usages à Faible Impact</i> .....	221
<i>Enceinte bi-climatique du LIMATB</i> .....	223
<i>BRGM</i> .....	225
<i>EDF, Laboratoires BESTLab et ETNA</i> .....	228
<i>« ADREAM », LAAS, volet énergétique</i> .....	232

<b>3 CONCLUSIONS</b> .....	235
LE BÂTIMENT DÉMONSTRATEUR GEORGES CHARPAK .....	237

---

# Introduction

---

La loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique (13 juillet 2005) prévoit une baisse de 40 % du seuil réglementaire de consommation énergétique pour les bâtiments neufs d'ici 2020, et une réduction par 4 des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. Une directive européenne vise d'autre part à assurer 23% de notre consommation énergétique par des énergies renouvelables d'ici 2020. Répondre à ces objectifs nécessite de transformer en profondeur le parc de bâtiments et des activités de recherche sont alors indispensables.

Le Groupe d'Analyse Prospective Thématique (GAT) Bâtiment et ville durables est un groupe de réflexion, ayant pour but de contribuer à orienter les recherches sur l'énergétique des bâtiments, en lien avec l'état de l'art international et les acteurs du domaine (avec des activités de veille technologique). L'objectif du GAT est d'aider à l'approfondissement des connaissances (mieux comprendre les phénomènes physiques, améliorer les modèles), l'extension des connaissances (étude de nouvelles technologies, liens avec l'échelle urbaine, impacts environnementaux, etc.) et la capitalisation des connaissances.

En complémentarité avec des approches plus appliquées, le CNRS et les équipes partenaires du GAT orientent leurs contributions plutôt sur le long terme, avec des propositions de ruptures technologiques et méthodologiques, devant toutefois être applicables sur le terrain. Une première version du livre blanc sur les recherches en énergétique des bâtiments avait été publiée en 2003. Après dix années d'activité du GAT, la présente édition fait le point, sans bien entendu prétendre à l'exhaustivité, sur les avancées et les limites des connaissances, et propose de nouvelles perspectives de recherche. Une « Action Énergie » a été constituée pour prendre la relève du Programme Énergie du CNRS, mais les activités de prospective du GAT se poursuivent dans un autre cadre encore en évolution.

Les acteurs concernés par ces travaux sont les industriels, fabricants de matériaux, de composants et d'équipements, mais aussi les concepteurs, architectes et bureaux d'études techniques, les maîtres d'ouvrage et les entreprises de construction. L'interface avec l'échelle urbaine induit également des contacts avec les urbanistes et les collectivités territoriales. De même la prise en compte des occupants, de leurs comportements, de leur santé et de leurs attentes peut faire intervenir des médecins, physiologistes, psychologues et sociologues.

L'énergétique des bâtiments concerne le chauffage, le rafraîchissement, la production d'eau chaude sanitaire, la ventilation, l'éclairage et, selon les objectifs des études, les consommations liées aux usagers (électroménager, bureautique...), et l'énergie « grise » liée au cycle de vie des matériaux et composants (fabrication, maintenance, fin de vie et recyclage éventuel). Des systèmes de production d'électricité peuvent également être intégrés au bâti (photovoltaïque, éolien, cogénération, etc.).

L'analyse est centrée sur les économies d'énergie, mais certains aspects comme le confort hygrothermique, la qualité de l'air et les impacts environnementaux sont également abordés. Le GAT regroupe alors des spécialités diverses pour pouvoir traiter cet ensemble de problématiques. L'objectif d'interdisciplinarité lié aux applications a conduit à établir des liens avec des équipes en socio-économie, ainsi qu'avec le Département Développement Durable du CNRS.

Le secteur du bâtiment est généralement structuré selon les usages (résidentiel, tertiaire de différentes catégories : bureaux, bâtiments scolaires, santé, etc.). Les activités de recherche portent sur l'ensemble des types, à l'exception des bâtiments industriels et agricoles, où l'enjeu est davantage lié aux procédés plutôt qu'aux bâtiments eux-mêmes. Les échelles spatiales concernées vont des matériaux (y compris les nanotechnologies) à la ville (en lien avec la Fédération de recherche sur la ville IRSTV) avec des échelles intermédiaires (composants, bâtiments, quartiers). Les échelles temporelles peuvent aller de la seconde pour certains phénomènes à plus d'un siècle pour l'analyse des cycles de vie.

# Partie 1

## La situation de la recherche concernant l'énergétique des bâtiments





---

# 1.1 Bilans énergétiques et socio-économiques

---

## 1.1.1 ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

---

Ville durable, bâtiments durables, comportements durables fonctionnent aujourd'hui comme de véritables leitmotiv pour les pouvoirs publics. Le projet de transition énergétique repose notamment sur l'idée centrale que la technique est porteuse des solutions qui permettront à nos sociétés de surmonter la difficulté à produire de l'énergie. Ce sont donc des solutions technologiques qui sont actuellement préconisées. Ainsi, dans le bâtiment, afin de diminuer par quatre les consommations d'énergie, la réglementation impose désormais de construire des bâtiments basse consommation ou à énergie positive. En retour, il est attendu que leurs occupants, au même titre que les multiples équipements intelligents dont sont dotés leurs logements ou leurs bureaux (smart grids, smart-meters, etc.), développent des comportements dits intelligents. Or, c'est oublier combien l'acte de consommer est complexe et combien économiser l'énergie ne va pas de soi. Le consommateur d'énergie est avant tout un consommateur, de biens, de services, de bien-être, de fonctions, de symboles, de valeurs... Il est un acteur au cœur d'un système d'acteurs multiples (architecte, artisans, maîtres d'ouvrage, bureaux d'étude, scientifiques, fabricants, fournisseurs, formateurs, prescripteurs, etc.) qui ont tous leur part de responsabilité dans les performances des bâtiments auxquelles ils contribuent.

### L'énergie : une approche sociotechnique

Il semble alors fondamental de combiner l'analyse technique à une analyse sociologique pour raisonner selon une approche de type sociotechnique. En effet, on constate trop souvent que si les technologies (qu'elles soient énergétiques ou pas) fonctionnent bien en laboratoire, dans les équations, au cœur des modèles ou des scénarios économiques, il en va souvent tout autrement lorsqu'on les confronte à des utilisateurs. Par exemple si, sur le papier, les bâtiments de type BBC ou BEPOS consomment peu ou pas d'énergie, ils voient leurs performances bien souvent perturbées dès qu'ils sont occupés. On retrouve ce constat dans

la difficulté récurrente à laquelle les consommateurs sont confrontés : ils sont de mieux en mieux sensibilisés aux enjeux de moins gaspiller l'énergie, ils peuvent bénéficier de mesures publiques incitatives (défiscalisation, primes, subventions, etc.) et les appareils et les équipements énergétiques sont de plus en plus performants. Or, malgré ce contexte plutôt favorable, malgré les multiples signaux à consommer avec plus de sobriété, on observe une faible maîtrise des consommations, voire des effets rebonds (hausse des consommations).

Comment y remédier ? Comment faire en sorte que les technologies puissent être appropriées et utilisées dans un sens plus favorable aux économies escomptées ? En appréhendant l'énergie comme un système sociotechnique qui renvoie à une combinaison d'éléments en interaction et en interdépendance : des acteurs humains (décideurs, concepteurs, utilisateurs, etc., avec leurs propriétés sociales, leurs croyances et leurs routines), des techniques (considérées alors comme des acteurs non humains), des dynamiques sociales (des cycles de vie, des jeux de réseaux, des processus d'apprentissage, des flux d'informations, etc.), des environnements (climatique, énergétique, politique) et des configurations (organisationnelles, institutionnelles, familiales, etc.).

## 1.1.2 LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE ET LA PRODUCTION DE CO<sub>2</sub>

---

Le secteur du bâtiment est le plus consommateur d'énergie en France : il représente à lui seul environ 43% de la consommation finale nationale<sup>1</sup>. Malgré l'augmentation des performances imposée par plusieurs réglementations thermiques successives (1974, 1982, 1988, 2000, 2005 et 2012), la consommation du secteur est passée de 56 Mtep en 1973 à 68 Mtep en 2010. Ceci est lié à l'augmentation de la population et des surfaces bâties, mais aussi à l'accroissement des consommations liées à l'électroménager et à la bureautique, qui ne sont pas concernées par le dispositif réglementaire.

Les émissions de gaz à effet de serre sont en rapport moindres (environ 20% du total des émissions en France), mais il existe un potentiel d'amélioration important. La construction neuve ne représente chaque année qu'environ 1% du parc existant, et peu de constructions sont démolies. L'objectif de réduction des émissions par un facteur 4 à l'horizon 2050 nécessite alors d'agir de manière importante sur le parc existant.

La part du pétrole est passée de 54% en 1973 à 16% en 2010, celle du charbon de 13% à 0,4%. En revanche, celle du gaz a augmenté de 9 à 32%, et celle de l'électricité de 22 à 38%. La part du bois énergie est de 12%. Les bâtiments

---

<sup>1</sup> Les Chiffres clés du bâtiment, ADEME, Édition 2011.

consomment de l'ordre de 60 % de l'électricité produite en France, mais la production peu carbonée réduit les émissions de gaz à effet de serre de ce secteur, qui prend en revanche une place importante en termes de production de déchets radioactifs par exemple.

### 1.1.3 CONTRAINTES PARTICULIÈRES

---

La production électrique française présente l'originalité d'être essentiellement d'origine nucléaire (75 % en 2010), et son utilisation a été fortement encouragée et développée au cours des quarante dernières années. Il en résulte que, dans le bâtiment, une implantation importante de chauffage électrique a été constatée<sup>2</sup>. Des avantages indéniables liés au coût, à la facilité d'installation et à la gestion de l'électricité pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire ont largement contribué au succès de ce mode de fourniture de l'énergie.

Mais la part élevée du chauffage électrique induit des pointes de consommation très importantes lors des journées froides d'hiver. Ces pointes sont difficiles à gérer au niveau du réseau, les équipements de production étant peu rentabilisés s'ils ne fonctionnent que quelques jours dans l'année. Des contraintes sur la consommation (délestage par exemple) sont alors envisagées pour réduire, voire effacer ces pointes.

L'introduction des énergies renouvelables dans le bâti en France, dans les années 1970 et 1980, a été un cuisant échec dont les raisons sont mal connues, mais d'origines diverses : absence ou mauvaise formation des professionnels, coûts prohibitifs, absence d'incitation réelle et méconnaissance totale du grand public pour les énergies renouvelables, concurrence des filières fossiles et fissiles fortement subventionnées (R&D, couverture des risques, provisions pour dépenses futures à long terme, etc.). La France souffre ainsi d'un certain retard par rapport à d'autres pays qui ont diversifié davantage leur mix énergétique.

Le contexte semble aujourd'hui plus favorable aux innovations du fait des nouveaux enjeux environnementaux liés à la préservation du climat et des ressources : par exemple le concept de bâtiment à énergie positive est mis en avant dans la future réglementation thermique prévue pour 2020. Dans ces bâtiments très fortement isolés, les aspects liés au confort demandent de porter une attention particulière à la régulation (chauffage, rafraîchissement, éclairage, ventilation et protections solaires).

---

2 Jean-Pierre Traisnel, «Habitat et développement durable, bilan rétrospectif et prospectif», Les cahiers du CLIP (Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement), vol 13, avril 2001, p 7, 72..



---

## 1.2 La recherche : présentation des laboratoires et autres organismes

---

### 1.2.1 LES LABORATOIRES DANS LES UNIVERSITÉS ET GRANDES ÉCOLES

---

Les laboratoires de recherche universitaires français et les organismes français effectuant ou pouvant effectuer de la recherche dans les domaines liés au bâtiment, ou ayant un lien direct avec cette thématique sont répertoriés ci-après. Ces laboratoires relèvent essentiellement des sciences de l'ingénieur et pour une moindre part des sciences économiques, humaines et sociales. Environ 200 chercheurs permanents et doctorants de ces laboratoires consacrent une part non négligeable de leur temps de recherche à des opérations liées au bâtiment.

#### Dans le domaine de l'énergie et des sciences de l'ingénieur

**CAS**, Centre d'Automatique et des Systèmes de MINES ParisTech (automatique, gestion et régulation), correspondant Nicolas Petit (Nicolas.Petit@mines-paristech.fr)

Le CAS apporte ses compétences dans 3 domaines :

- identification des systèmes thermiques avec prise en compte explicite des échelles de temps différentes ;
- réduction de modèles dans le cas de modèles d'ordre élevé, typiquement issus d'un logiciel orienté thermique ;
- gestion de contraintes dites d'état (par exemple le confort) dans le cadre d'une gestion dynamique optimale.

**CERMA**, Centre de Recherche Méthodologique Architecturale (UMR CNRS 1563), École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, [www.cerma.archi.fr](http://www.cerma.archi.fr) correspondante : Marjory Musy (marjorie.musy@cerma.archi.fr).

Les thématiques de recherche du CERMA couvrent les domaines des ambiances architecturales et urbaines avec trois approches complémentaires : l'instrumentation (modélisation et métrologie), la caractérisation (en lien avec les formes et les usages) et la conception. Les phénomènes physiques d'ambiance abordés sont l'ensoleillement, les échanges thermiques, l'éclairage, la propagation sonore et les écoulements d'air. Les thématiques abordées en lien avec la thermique du bâtiment sont :

- la conception des bâtiments ventilés naturellement ;
- l'évaluation de la demande énergétique à l'échelle du quartier ;
- l'impact de la forme urbaine et de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments.

Le CERMA est partenaire de l'Institut de Recherche des Sciences et Techniques de la Ville (IRSTV).

**CERTES**, Centre d'Études et de Recherches en Thermique, Environnement et Systèmes de l'Université Paris Est Créteil (UPEC), correspondant Gilles Lefebvre (lefebvre@u-pec.fr)

Les thèmes développés sont les suivants :

- transferts des aérocontaminants et qualité d'air intérieur ;
- optimisation de systèmes énergétiques hybrides liés au bâti, vieillissement de systèmes et matériaux pour l'énergie (en particulier de systèmes photovoltaïque), dimensionnement optimal de dispositifs de stockage d'énergie ;
- conception et caractérisation de matériaux composites et à changement de phase pour l'amélioration du confort et de l'efficacité énergétique du bâti,
- métrologie et contrôle non destructif de l'énergie dans les bâtiments, en particulier par imagerie infra-rouge.

**CES**, Centre Efficacité énergétique des Systèmes de MINES ParisTech à Paris et Palaiseau (Thermique des enveloppes, équipements, analyse de cycle de vie), correspondant Bruno Peuportier (bruno.peuportier@mines-paristech.fr)

Les thèmes développés sont les suivants :

- thermique des ambiances : simulation thermique dynamique appliquée aux bâtiments, étude de stratégies de gestion/régulation/commande en lien avec le CAS, suivi de bâtiments démonstrateurs ;
- analyse de cycle de vie des bâtiments et des quartiers ;
- solaire thermique et photovoltaïque intégré au bâti ;
- étude de systèmes thermodynamiques (pompes à chaleur en particulier).

Des techniques de réduction de modèle ont été mises en œuvre dès les années 1980 pour développer l'outil de simulation multizones COMFIE, qui a été complété par un éditeur de logiciels, IZUBA Énergies, avec l'interface utilisateurs PLEIADES et le modéleur graphique ALCYONE. Les résultats obtenus lors des comparaisons effectuées sur les maisons passives de la plate-forme INCAS sont très proches des références internationales (Energy Plus et TRNSYS). PLEIADES+COMFIE est aujourd'hui l'outil de simulation thermique multizones le plus utilisé en France. Il a été complété en 1995 par l'évaluation des impacts environnementaux (outil EQUER) et étendu à l'échelle d'un quartier en 2006. La programmation orientée objets de COMFIE a permis d'intégrer de nouvelles technologies (solaire photovoltaïque et thermique, systèmes thermodynamiques, puits canadiens, micro-cogénération, etc.). Un modèle de réseau aéraulique a été intégré, et le modèle thermique a été chaîné à un modèle d'éclairage (appel à l'outil RADIANCE). Des techniques d'optimisation ont été mises en œuvre pour étudier des stratégies de gestion ou l'aide à la conception (programmation dynamique, algorithmes génétiques). Les outils ont été utilisés lors de plusieurs opérations de démonstration (maisons à isolation transparente en 1992, rénovation de logements sociaux en 2000, premières maisons passives françaises en 2007, etc.). Cette plate-forme logicielle est également utilisée pour étudier des innovations technologiques (couplage photovoltaïque et pompe à chaleur, amélioration des performances des systèmes thermodynamiques par l'usage de sources froides tempérées, etc.).

**CETHIL**, CETHIL, Centre de Thermique de Lyon (UMR CNRS 5008, SPI), INSA de Lyon, <http://cethil.insa-lyon.fr>. Le Centre de Thermique de Lyon est organisé depuis 2004 en 6 thématiques scientifiques et est rattaché à trois établissements : le CNRS, l'INSA de Lyon, établissement principal de rattachement qui l'héberge et l'Université Claude Bernard Lyon I.

Correspondants : Jean-Jacques Roux ([jean-jacques.roux@insa-lyon.fr](mailto:jean-jacques.roux@insa-lyon.fr)), Christophe Ménezo ([christophe.menezo@insa-lyon.fr](mailto:christophe.menezo@insa-lyon.fr)), Christian Ghiaus ([christian.ghiaus@insa-lyon.fr](mailto:christian.ghiaus@insa-lyon.fr)) et Gilles Rusaouën ([gilles.rusaouen@univ-lyon1.fr](mailto:gilles.rusaouen@univ-lyon1.fr)).

Deux thématiques ont leur activité tournée vers l'énergétique des bâtiments : la thématique «Énergétique des Systèmes Solaires» et «Thermo Aéraulique des Bâtiments».

- Énergétique des Systèmes Solaires :

Dans le contexte général de la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des économies d'énergie, les efforts de recherche menés au sein de la thématique visent au développement de technologies à haute efficacité énergétique. Les études menées concernent la conversion de l'énergie solaire en énergie utile : production de chaleur et/ou d'électricité et stockage de l'énergie. Les études sont déclinées sur plusieurs niveaux depuis les phénomènes physiques fondamentaux jusqu'aux modèles globaux permettant une description simple et fiable du système.

Avec pour objectifs scientifiques :

- étudier et modéliser l'impact des conditions d'intégration sur la photoconversion dans les cellules photovoltaïques ;
- étudier la convection naturelle dans les systèmes solaires semi-ouverts : transferts de chaleur couplés, conditions aux limites ;
- développer de nouveaux concepts de composants hybrides photovoltaïques-thermiques ;
- développer de nouveaux concepts de stockage de chaleur inter-saisonnier ;
- analyser les transferts de chaleur dans les systèmes de stockage et notamment dans les matériaux à changement de phase ;
- analyser et modéliser les transferts thermiques à l'interface entre l'air et un matériau à changement de phase.

- Thermo Aéraulique des Bâtiments :

Cette thématique étudie les phénomènes de transfert de chaleur et de masse dans les espaces habitables caractérisés, d'une part, par des imprécisions importantes liées à l'incertitude et à la variation temporelle des paramètres et, d'autre part, par l'adaptation thermique due à la présence humaine. L'approche utilisée dans la thématique est l'analyse fine des phénomènes de transferts thermique, aéraulique et hydrique décrits par des équations à dérivées partielles intégrées numériquement et la synthèse de ces connaissances basée sur la théorie des systèmes. Les modélisations sont validées par des essais en vraie grandeur dans la cellule expérimentale à ambiance contrôlée MINIBAT ou *in situ*.

Avec pour objectifs scientifiques :

- analyser les phénomènes de transferts thermiques, aéraulique et hydrique dans les bâtiments et dans les systèmes associés ;
- synthétiser ces connaissances dans des modèles à dimension réduite utilisables dans la simulation, la conception et le contrôle des systèmes thermiques des bâtiments ;
- maîtriser les flux à travers l'enveloppe et le stockage de l'énergie pour tendre vers des bâtiments autonomes en énergie ;
- développer des méthodes ainsi que des outils numériques et expérimentaux.

**G2ELab**, Grenoble Génie Electrique Lab-UMR 5269 INPG-UJF-CNRS), correspondants Frédéric Wurtz ([frederic.wurtz@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:frederic.wurtz@g2elab.grenoble-inp.fr)) et Benoît Delinchant ([benoit.delinchant@g2ELab.grenoble-inp.fr](mailto:benoit.delinchant@g2ELab.grenoble-inp.fr))

Le G2Elab est un acteur majeur dans le domaine du Génie Électrique au niveau national et international. Il compte 114 chercheurs, ingénieurs, techniciens et administratifs, plus de 100 doctorants et post-doctorants, et environ 50 étudiants



en Master. Ses recherches ont pour vocation de répondre aux problématiques sociétales de demain concernant l'énergie électrique sur différents axes : matériaux (magnétiques, supraconducteurs, matériaux diélectriques), électronique de puissance, réseaux, commande de systèmes, la modélisation et la conception des composants et des systèmes électriques, la CEM, les microsystèmes.

Le G2ELAB développe depuis quelques années une thématique sur l'optimisation des systèmes énergétiques, en particulier le bâtiment...

Le G2ELAB a aussi contribué, en lien avec le G-SCOP, à spécifier et à réaliser la plate-forme habitat PREDIS : c'est un bâtiment complètement rénové et instrumenté en vue de servir de plate-forme d'essai pour le développement de modèles et de stratégies de contrôle-commande pour le bâtiment. Le G2ELAB contribue largement à des développements méthodologiques et logiciels qui intéressent le domaine du bâtiment (comme la norme de composant métier pour le bâtiment appelée ICAR-Muse, développée dans le cadre du projet Plume), ou des plates-formes comme DIMOCODE (<http://www.dimocode.org/>).

**GRESPI/Thermomécanique (EA 4694) – Université de Reims Champagne-Ardenne**

Correspondants : Stephane Fohanno et Chadi Maalouf

Contacts : [stephane.fohanno@univ-reims.fr](mailto:stephane.fohanno@univ-reims.fr) et [chadi.maalouf@univ-reims.fr](mailto:chadi.maalouf@univ-reims.fr)

La thématique « Thermomécanique » du Groupe de Recherche en Sciences Pour l'Ingénieur (GRESPI – EA 4694) de l'Université de Reims Champagne-Ardenne regroupe aujourd'hui une vingtaine d'enseignants-chercheurs, doctorants, ingénieurs et techniciens dont l'activité est structurée autour de 4 thèmes de recherche :

- transferts convectifs ;
- couplages thermomécaniques ;
- CFD et mécanique des fluides appliquée ;
- thermique du bâtiment.

Concernant la thermique du bâtiment, 2 sujets sont actuellement en développement dans notre équipe (modélisation et expérimentation) :

- étude des enveloppes à base des produits végétaux dans le bâtiment (béton de chanvre, chanvre-amidon) en collaboration avec l'UPJV (Université de Picardie Jules Verne) ;
- étude des écoulements de convection naturelle dans les parois double-peau. Étude initiée dans le cadre des activités du Réseau AMETH. Collaboration également avec l'Université Technique de Iasi (Roumanie).

**G-SCOP**, Grenoble - Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production (UMR CNRS 5272), Institut Polytechnique de Grenoble, 46 avenue Félix Viallet, 38031 Grenoble Cedex, <http://www.g-scop.grenoble-inp.fr>, correspondant Stéphane Ploix ([stephane.ploix@grenoble-inp.fr](mailto:stephane.ploix@grenoble-inp.fr))

G-SCOP est un laboratoire pluridisciplinaire dépendant du CNRS, de l'Institut Polytechnique de Grenoble et de l'Université Joseph Fourier, qui vise à répondre aux défis scientifiques posés par les mutations du monde industriel en cours et à venir. Le périmètre du laboratoire va de la conception des produits à la gestion des systèmes en s'appuyant sur de fortes compétences en optimisation. Les 140 chercheurs qui le composent sont notamment liés à des disciplines comme le génie industriel, la recherche opérationnelle, la logistique, l'automatique, l'informatique, la conception en mécanique ou encore la sociologie.

Le G-SCOP développe des solutions de gestion de flux énergétiques dans les bâtiments. Pour illustrer les activités du laboratoire, voici quelques faits marquants :

- G-SCOP participe au projet ANR Multisol qui a abouti à un premier prototype de gestionnaire énergétique, basé sur des solveurs de type programmation linéaire mixte en nombres entiers. Dans le cadre de ce projet, un gestionnaire a été couplé avec succès à une maquette de système bâtiment. Ce projet a été élu projet phare 2005 par l'Agence Nationale de la Recherche.
- Durant les années 2008-2009, des chercheurs du laboratoire G-SCOP développent le gestionnaire G-homeTech en langage Java. Ce gestionnaire a été complété en 2012 par le module MILP-WORKSHOP qui permet de réaliser des compositions de modèles décrit dans un langage acausal et en partie multi-application. Des bibliothèques de modèles pour la gestion énergétique au sens large commencent à s'étoffer.
- En 2010, un brevet reprenant les principes d'une solution de gestion énergétique globale à base de modèles est déposé en Europe et aux États-Unis. Il fait apparaître des chercheurs du laboratoire G-SCOP mais aussi du laboratoire G2Elab.
- En 2011, des chercheurs du laboratoire participent à la création de la start-up Vesta-System qui valorise les travaux issus des laboratoires de Grenoble INP liés à la gestion énergétique et au dimensionnement des systèmes bâtiments.
- En 2012, victoire du projet CANOPEA au concours international Solar Decathlon Europe 2012. Le bâtiment-prototype est équipé de G-homeTech qui fonctionne en mode conseil.

Les laboratoires grenoblois G-SCOP, G2ELAB et LIG travaillent sur la problématique de gestion énergétique des systèmes bâtiments insérés dans des réseaux avec des partenaires industriels comme Schneider Electric ou Orange et institutionnels comme le CEA ou le CSTB. Les compétences des chercheurs impliqués dans ces recherches peuvent être réunies sous l'intitulé Intelligence

Artificielle Appliquée. Les principales thématiques développées en lien avec les problématiques bâtiment sont :

- les techniques d'optimisation, notamment en contexte combinatoire ;
- les techniques de prédiction ;
- les techniques d'apprentissage et d'estimation paramétrique ;
- les techniques d'analyse diagnostique à base de raisonnement logique ;
- les techniques de simulation de comportement humain (en lien avec le LIG).

Le laboratoire G-SCOP a deux principales spécificités : son éclectisme, du fait de la diversité des compétences qu'il réunit, et son souci de pousser les recherches fondamentales jusqu'à des prototypes opérationnels ancrés dans une réalité de terrain.

**I2M**, Institut de Mécanique et d'Ingénierie – Bordeaux, UMR CNRS 5295, correspondants Laurent Mora ([laurent.mora@u-bordeaux1.fr](mailto:laurent.mora@u-bordeaux1.fr)), Alain Sempey ([alain.sempey@u-bordeaux1.fr](mailto:alain.sempey@u-bordeaux1.fr)) et Elena Palomo ([elena.palomo@trefle.u-bordeaux.fr](mailto:elena.palomo@trefle.u-bordeaux.fr)).

Le Laboratoire « Institut de Mécanique et d'Ingénierie – Bordeaux » (I2M, CNRS UMR 5295) a été créé le 1<sup>er</sup> janvier 2011, sous l'impulsion conjointe du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, du CNRS et des tutelles locales et nationales (avec l'assentiment total en AG des personnels concernés) et après l'évaluation AERES favorable (globale « A » et 3A+/1A/2B par département) conduite en 2010.

L'I2M est le résultat de la fusion-recomposition profonde de trois UMR et de 3 EA (ex-UMRs CNRS : *LMP*, *TREFLE*, *US2B* ; ex-EAs : *LAMEFIP*, *LGM2B*, *GHYMAC*) rassemblant la quasi-totalité des personnels sur le site bordelais relevant des CNU 60 et 62 et des sections CNRS 9 et 10. Ainsi tout le spectre de la Mécanique au sens large, puisqu'allant de la Mécanique des Solides et des Systèmes, de la Mécanique des Fluides et les Transferts, au Génie Civil, au Génie Mécanique et au Génie des Procédés est couvert. Ceci confère à l'I2M une cohérence, une force et des capacités à répondre collectivement à des défis scientifiques, techniques, économiques et sociétaux larges, tout en restant ouvert sur les champs disciplinaires présents sur Bordeaux : Chimie/Matériaux, Mathématiques Appliqués, Physique/Laser, Électronique/Systèmes, Environnement/Énergie.

Le Laboratoire, UMR, est rattaché à quatre tutelles, le CNRS (Institut INSIS), l'Université Bordeaux 1, l'Institut Polytechnique de Bordeaux IPB (Écoles ENSCBP et ENSEIRB-MATMECA), et l'École Nationale Supérieure des Arts et Métiers ParisTech. En outre, elle a un statut d'Unité Sous Contrat (USC) avec l'INRA (Dpt CEPIA).

I2M en chiffres :

- 1<sup>er</sup> janvier 2011 : création de l'I2M par regroupement/recomposition de 6 entités ;
- évaluation AERES Globale «A» en 2010: (détails par Dpts: 3 A+, 1 A, 2 B);
- production scientifique: 150 ACL / an;
- 340 personnes: 140 C/EC, 120 doctorants, 40 BIAS/ITA, 20 post-docs/contractuels;
- 6 départements de recherche: APY/DuMAS/GCE/IMC/MPI/TREFLE;

**LAPLACE**, (LABoratoire PLAsma et Conversion de l'Énergie) Université Toulouse III - Paul Sabatier - <http://www.laplace.univ-tlse.fr/>, Correspondant: Georges Zissis ([georges.zissis@laplace.univ-tlse.fr](mailto:georges.zissis@laplace.univ-tlse.fr))

Le Laboratoire est une Unité Mixte de Recherche, UMR 5213, commune au CNRS, à l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT) et à l'Université. Le laboratoire est divisé en 12 groupes de recherche et comprend en tout 320 enseignants-chercheurs, doctorants, post-docs et IATOS. Le LAPLACE est, entre autres, membre de la fédération de recherche sur Toulouse SH&HD (Système Habitat & Habitant, pour un objectif de développement Durable) et du pôle de compétitivité DERBI.

Les recherches menées s'inscrivent dans le domaine de l'énergie électrique et des plasmas et couvrent un continuum d'activités qui englobe la production, le transport, la gestion, la conversion et l'usage de l'électricité. Ces recherches ont de nombreuses applications industrielles comme le prouve le rattachement à «l'Institut des Sciences de l'Ingénieur et des Systèmes» – INSIS du CNRS. Les domaines d'application des recherches concernent les transports, l'aéronautique et le spatial, le bâtiment, l'environnement et l'énergie, la biologie et la santé.

Plus particulièrement concerné par le réseau, le groupe de recherche «Lumière & Matière» travaille sur les sources de lumière et les systèmes d'éclairage. Études de l'impact de l'éclairage sur les ressources énergétiques et l'environnement, ainsi que sur la qualité de vie, développement durable, la santé et la sécurité des utilisateurs du système. Études des systèmes de production de la lumière (Lampes à décharge, LED et OLED) et des dispositifs utilisant la lumière. La stratégie du groupe consiste en la compréhension du fonctionnement du système et de ses composants pour l'optimisation en fonction des applications.

Le laboratoire LAPLACE fait partie de la Fédération de Recherche SH&HD (Système Habitat & Habitant, vers un Objectif de Développement Durable, FED 4146), reconnue depuis 2 ans par le ministère de la recherche et l'Université

de Toulouse. Cette fédération regroupe aujourd'hui 8 laboratoires (LAPLACE, LAAS, PHASE, LMDC, IRIT, IMFT, CERTOP, ICA).

**LASIE**, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (FRE 3474 CNRS) - Université de La Rochelle, <http://lasie.univ-larochelle.fr/> (modèles locaux, de zone, qualité de l'air, conditionnement des espaces habités, énergétique du bâtiment, matériaux de faible porosité, réduction de bruit, transferts de chaleur et de masse) ; correspondants : Francis Allard ([francis.allard@univ-lr.fr](mailto:francis.allard@univ-lr.fr)) et Patrick Salagnac ([patrick.salagnac@univ-lr.fr](mailto:patrick.salagnac@univ-lr.fr)), laboratoire composé de 15 professeurs, 33 maîtres de conférence, 11 IATOSS et 78 doctorants et post-doctorants.

Le laboratoire réunit un large spectre de compétences avec des approches intégrées depuis l'échelle atomique jusqu'au matériau, au bâti et son environnement à différentes échelles de temps et d'espace. Il établit un continuum du développement d'outils mathématiques aux applications et dépôts de brevets, en passant par des modèles et simulations numériques et expérimentales. Ses activités ont pour domaines applicatifs :

- qualité des ambiances habitables ;
- durabilité et protection des matériaux sous contraintes environnementales ;
- éco-procédés pour la qualité des produits et la valorisation énergétique des bio-ressources.

Il est structuré en 5 axes, dont l'axe A1 qui est centré sur l'énergétique du bâtiment et la maîtrise de la qualité des ambiances habitées, qu'il s'agisse d'habitats, d'habitaclés ou de microclimats urbains. Les travaux menés actuellement au sein de cet axe portent sur :

- l'étude de la qualité de l'air intérieur et de la ventilation (études expérimentales et modélisation dynamique de la diffusion des polluants dans les ambiances habitables et caractérisation des systèmes de ventilation et de traitement de l'air) ;
- la modélisation du comportement thermique, aéraulique et acoustique des habitats ou habitaclés et des systèmes de conditionnement attachés (modèles de champs, de zones, etc.) ;
- la modélisation des interactions de la demande énergétique entre «bâtiments et milieu urbain de la rue et du quartier» ;
- le développement de systèmes innovants de conditionnement des espaces habités à faible coût énergétique et environnemental (rafraîchissement, chauffage, micro-cogénération) ;
- l'étude des transferts de chaleur et d'humidité dans les matériaux de construction (milieux poreux, etc.).

**LEMMA**, Laboratoire d'énergétique et de mécanique théorique et appliquée (UMR CNRS 7653, SPI), ENSEM Nancy, [www.ensem.inpl-nancy.fr/LEMMA/](http://www.ensem.inpl-nancy.fr/LEMMA/), (caractérisation de matériaux, couplage conduction-rayonnement, interaction chaleur-matériaux). Correspondant Gérard Jeandel ([gerard.jeandel@lemta.uhp-nancy.fr](mailto:gerard.jeandel@lemta.uhp-nancy.fr)), la présentation se rapporte aux recherches concernant les transferts de chaleur (7 enseignants-chercheurs), avec :

- la caractérisation de matériaux ;
- la conduction et le couplage conduction-rayonnement dans les fibreux ;
- les équipements spécifiques : méthode flash, caméra IR, spectroscopie.

Sont évoquées les recherches portant sur l'interaction chaleur-matériaux (en collaboration avec Saint Gobain).

**LERMAB** (EA4370) - **Université de Lorraine**, <http://www.univ-lorraine.fr> & <http://www.lermab.uhp-nancy.fr> (modélisation systémique, optimisation énergétique, analyse exergétique). Correspondant Riad Benelmir ([riad.benelmir@univ-lorraine.fr](mailto:riad.benelmir@univ-lorraine.fr)). Le laboratoire compte une trentaine d'enseignants-chercheurs et un technicien et repose sur trois composantes de formation : l'ENSTIB (Epinal) ; la Faculté des Sciences et Technologies (Nancy) ; l'IUT - Dépt. Génie Thermique Énergie (Longwy).

Les activités de recherche du laboratoire se divisent selon trois thématiques :

- énergie et procédés : efficacité énergétique du bâtiment ; procédés de valorisation énergétique de la biomasse
- matériau : physico-chimie des polymères ; chimie du bois et procédés de préservation ; valorisation chimique de la biomasse.
- mécanique des structures et ingénierie : fabrication et production ; construction bois.

**LET**, Laboratoire d'études thermiques – UMR CNRS 6608, Poitiers, [www.let.ensma.fr](http://www.let.ensma.fr). Correspondants Daniel Petit ([daniel.petit@let.ensma.fr](mailto:daniel.petit@let.ensma.fr)) et Didier SAURY ([didier.saury@ensma.fr](mailto:didier.saury@ensma.fr)), les axes de recherche portent sur :

- les transferts convectifs : convection naturelle et mixte, aérothermique, turbulence pariétale et phénomènes couplés ;
- la physique des transferts et les systèmes thermiques : rayonnement, micro et nano transferts, analyse système et optimisation.

Effectif total : 60 personnes environ.

Mots clés : stabilité, amélioration des transferts convectifs en convection mixte, rayonnement en couches minces et milieux semi-transparents, modélisation thermique de systèmes complexes, réduction, méthodes inverses.

Les moyens : métrologie des vitesses (4 bancs LDV 1D ou 2D, PIV 2D et 3D en préparation), des températures et des propriétés thermophysiques (mini-thermocouples, caméra IR, microscope à champ proche, calorimètre, bancs conductimétriques, spectromètre à transformée de Fourier), chambres climatisées, logiciels CFD (FLUENT, DNS LES), et de modélisation système (IDEAS, ESECAP, méthodes inverses).

**LGCB**, Laboratoire Génie Civil et Bâtiment, [www.entpe.fr](http://www.entpe.fr), ENTPE, implanté à Vaulx-en-Velin. Le LGCB est par ailleurs partiellement intégré au LTDS (Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR 5513 CNRS). Ensemble, ils sont engagés dans une dynamique de projet visant à améliorer la structuration du Génie Civil et bâtiment Lyon/Saint-Etienne. Correspondant Mohamed El Mankibi ([mohamed.elmankibi@entpe.fr](mailto:mohamed.elmankibi@entpe.fr))

Le LGCB comporte 4 équipes :

- sols, ouvrages, infrastructures (SOI);
- dynamique, auscultation, contrôle (DAC);
- matériaux et systèmes constructifs à performances multiphysiques (MPM),
- physique et perception des environnements (P2E).

Mots clés : optimisation multicritère, bâtiments à faible impact, ventilation Hybrid, comportement de l'occupant, ambiances intérieures.

**LGCgE**, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, Université d'Artois. Correspondants : Stéphane Lassue ([stephane.lassue@univ-artois.fr](mailto:stephane.lassue@univ-artois.fr)) et Pierre Tittlein ([pierre.tittlein@univ-artois.fr](mailto:pierre.tittlein@univ-artois.fr)).

Le LGCgE est un laboratoire régional, pluridisciplinaire, regroupant des équipes de chercheurs de plusieurs établissements du PRES «Lille Nord de France» dans les domaines du génie civil, habitat, matériaux, biologie, sciences de la terre et géochimie. Le laboratoire est structuré en trois axes de recherche (habitat, géo-matériaux et géo-environnement)

Les travaux menés au sein de l'axe habitat sont conduits dans les domaines de l'expérimentation (en laboratoire et *in situ*) et de la modélisation.

Les principales thématiques sont :

- les outils et méthodes de caractérisation thermophysique de matériaux et de parois de bâtiments;
- l'étude de composants complexes de l'enveloppe des bâtiments et des transferts thermiques couplés;
- les ambiances de confort et la simulation thermique dynamique des bâtiments;

- le stockage de l'énergie thermique avec des matériaux à changement de phase;
- la modélisation du confort acoustique.

Une douzaine d'enseignants-chercheurs permanents sont concernés par les thèmes «énergie et thermique du bâtiment»

**LGCGM** (Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique) – EA 3913, INSA Rennes et Université Rennes 1. Correspondants Christophe LANOS (christophe.lanos@univ-rennes1.fr) et Florence COLLET (florence.collet@univ-rennes1.fr)

Le laboratoire GCGM est une équipe d'accueil qui compte une quarantaine d'enseignants-chercheurs répartis sur trois équipes de recherche : Procédés et Systèmes Mécaniques, Géomatériaux et Ouvrages Sous Actions Complexes, Matériaux-Thermo-Rhéologie.

La recherche dans les domaines liés au bâtiment est développée au sein de l'équipe Matériaux-Thermo-Rhéologie selon plusieurs axes :

- Le comportement hygrothermique des enveloppes de bâtiment est étudié à partir de :
  - la caractérisation thermique et hydrique à l'échelle du matériau (conductivité thermique en fonction de la teneur en eau, isothermes de sorption, perméabilité à la vapeur, valeur tampon hydrique (MBV)) en lien avec la formulation;
  - l'étude du comportement hygrothermique à l'échelle de la paroi (sur mur test en enceinte bi-climatique);
  - la modélisation des transferts de chaleur et d'humidité (développement de modèle sous COMSOL intégrant les hystérésis de sorption-désorption).
- L'efficacité énergétique des équipements :
  - développement et analyse de performances de thermo-frigo pompes;
  - utilisation de fluides caloporteurs alternatifs (nano suspensions, CO<sub>2</sub>).
- Le suivi énergétique de bâtiments démonstrateurs :
  - résidence Salvatierra : immeuble de logements faisant partie du programme européen CEPHEUS, basé sur une architecture bioclimatique, utilisant des matériaux bio-sourcés (bauge, laine de chanvre, bois), une VMC double flux et une production solaire d'ECS;
  - résidence solaris, immeuble de logements avec isolation par l'extérieur et production de chauffage et d'ECS par pompe à chaleur.



En outre, le LGCGM est le laboratoire référent de l'association Construire en Chanvre et participe aux travaux du groupe de travail BBM (Bio-based Building Materials) de la Rilem.

**LIMATB**, Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux de Bretagne (EA 4250), Université de Bretagne-Sud, Lorient, ([web.univ-ubs.fr/limatb/](http://web.univ-ubs.fr/limatb/)). Correspondants Thibaut Colinart ([thibaut.colinart@univ-ubs.fr](mailto:thibaut.colinart@univ-ubs.fr)) et Patrick Glouannec ([patrick.glouannec@univ-ubs.fr](mailto:patrick.glouannec@univ-ubs.fr)).

Le laboratoire (5 équipes, 60 enseignants-chercheurs, 60 doctorants et 10 IATOS) s'intéresse au cycle de vie des matériaux, et notamment à l'éco-conception et aux économies d'énergie dans les procédés de fabrication et dans les phases d'usage des matériaux. Dans ce contexte, les activités développées au sein de l'équipe *Thermique et Énergétique* concernent l'étude expérimentale et numérique des mécanismes physiques de transferts d'énergie, de matière et de quantité de mouvement au sein de matériaux denses ou poreux, sièges de transformations physiques ou chimiques induites par des sollicitations thermiques.

Les principales compétences du LIMTAB en lien avec le bâtiment sont :

- la modélisation physique et la simulation numérique des problèmes de transfert de chaleur, d'air et de masse au sein de complexes multicouches de l'enveloppe des bâtiments ;
- l'étude du renforcement de l'inertie thermique des enveloppes par l'intégration de matériaux à changement de phase (MCP) ;
- la mesure ou l'estimation par techniques inverses de propriétés thermo-physiques et thermo-hydriques ;
- l'instrumentation « *in situ* » de parois et l'expertise de leur comportement thermique ou thermo-hydrique en enceinte bi-climatique ;

**LIMSI**, Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (UPR CNRS 3251, INS2I), campus d'Orsay, BP133Bât 508 Rue John von Neumann, 91403 Orsay Cedex, [www.limsi.fr](http://www.limsi.fr). Correspondant Michel Pons ([michel.pons@limsi.fr](mailto:michel.pons@limsi.fr)).

- mécanique des fluides numérique, et expérimentale ;
- développement de méthodes numériques : simulation directe d'écoulements (DNS) et simulation des grosses structures (LES) ;
- propagation d'incertitudes, modèles réduits, contrôle ;
- écoulements de convection naturelle, et écoulements en rotation, MHD ;
- analyses de stabilité ;
- simulations d'écoulements diphasiques ;

- analyse thermodynamique (second principe) des écoulements et des transferts ;
- nanothermique ;
- thermoacoustique ;

Deux permanents du laboratoire sont concernés par la thématique bâtiment.

**LMEE**, Laboratoire de Mécanique et d'Énergétique d'Évry. Université d'Évry Val d'Essonne EA3332 - 40 Rue du Pelvoux. CE1455 Courcouronnes - 91020 Évry Cedex, <http://lmee.univ-evry.fr>. Correspondant Alain Neveu ([a.neveu@iut.univ-evry.fr](mailto:a.neveu@iut.univ-evry.fr)).

Les activités scientifiques du LMEE sont centrées sur la mécanique et la thermique, dans le but d'appréhender les problèmes physiques liés à ces disciplines et de développer des méthodes numériques innovantes et des logiciels performants, afin de concevoir, modéliser et optimiser des systèmes mécaniques et thermiques dans les domaines de l'aéronautique, du transport, de l'énergie, de la biomécanique et du génie civil.

Le LMEE compte trois équipes de recherches :

- modélisation en dynamique des structures. (MDS)
- mécanique des fluides et environnement. (MFE)
- thermique et énergétique. (THE)

Cette équipe conduit des recherches dans le domaine de la réduction de modèles en thermique. Les applications visées sont l'identification, les problèmes inverses et la commande de process industriels en temps réel. L'équipe est aussi concernée par la thématique bâtiment.

**LMT**, Laboratoire Mécanique et Technologies (CNRS UMR 8535) à l'ENS Cachan, 61 av. du Pdt Wilson 94235 CACHAN Cedex. Responsable de l'unité thématique de recherche « Transferts et Environnement » et correspondant : Pr Rachid Bennacer : [rachid.bennacer@ens-cachan.fr](mailto:rachid.bennacer@ens-cachan.fr)

Le laboratoire LMT est structuré en 3 secteurs recherches : Matériaux, Structures et Génie-Civil et Environnement (GCE) ; il est composé de 65 permanents (enseignants-chercheurs, chercheurs, personnel technique et administratif) et 90 doctorants. C'est au sein du secteur GCE et de l'UTR « Transferts et Environnement », que ces travaux ont été menés – et sont toujours en cours – en relation avec l'optimisation de systèmes multiphysiques.

Entre 4 à 6 permanents mènent des activités en transferts au sein des matériaux et des systèmes énergétiques, parmi lesquelles on peut citer :

- modélisation couplée des appareils électriques et des bâtiments performants ; objectif du travail : permettre une meilleure prise en compte

des appareils électriques et plus particulièrement l'aspect dynamique et les non-linéarités des phénomènes de couplages ;

- simulation intensive des couplages multiphysiques au sein des bâtiments : utilisation des cartes graphiques pour la simulation numérique directe et la qualification des modèles thermiques dégradés ou réduits ;
- intégration des EnR aux bâtiments et amélioration des approches double peaux et multifonctionnalités.

**LOCIE**, Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement (UMR CNRS 5271), Université de Savoie, Chambéry, [www.locie.univ-savoie.fr](http://www.locie.univ-savoie.fr).

Le LOCIE s'appuie sur une diversité scientifique qui couvre trois grands secteurs : l'énergie, l'environnement et le bâtiment. Cela se traduit par des compétences relatives à l'énergétique, la thermodynamique, la thermique du bâtiment, le traitement des effluents (filtration, bio procédés), la mécanique et les matériaux. À cela s'ajoutent des compétences méthodologiques en matière de conception, de modélisation et d'optimisation. Correspondants : Monika Woloszyn ([monika.woloszyn@univ-savoie.fr](mailto:monika.woloszyn@univ-savoie.fr)) et Gilles Fraisse ([gilles.fraisse@univ-savoie.fr](mailto:gilles.fraisse@univ-savoie.fr)).

Le LOCIE comprend au total 24 enseignants-chercheurs, 26 doctorants et 6 IATOS. L'axe central de recherche du laboratoire est « Énergie et Bâtiment durables ». Le laboratoire est organisé en quatre thèmes :

- conversion locale de l'énergie ;
- systèmes solaires thermiques et Stockage ;
- maîtrise des flux de chaleur et de matière ;
- caractérisation du bâtiment, évaluation et amélioration des performances.

**PERSEE**, Centre Procédés Énergies Renouvelables Systèmes Énergétiques de MINES ParisTech à Sophia-Antipolis (énergétique des matériaux, énergies nouvelles et renouvelables, stockage et conversion de l'énergie), correspondant Patrick Achard ([patrick.achard@mines-paristech.fr](mailto:patrick.achard@mines-paristech.fr)), 3 Master(e)s : Optimisation des Systèmes énergétiques, Énergies renouvelables, et Alternatives pour l'énergie du futur.

Les activités de PERSEE sont centrées sur les nouvelles technologies de l'énergie et les énergies renouvelables. L'ambition du centre est de contribuer au développement de technologies durables et sobres et de méthodes innovantes visant à faire croître leur part dans le futur mix énergétique. Dans ce cadre, les recherches sont structurées selon trois thématiques : (i) l'élaboration de (nano) matériaux et de composants avancés, (ii) la conception et l'étude de procédés innovants et efficaces (particulièrement pour le stockage et la conversion

d'énergie), (iii) l'optimisation de leur intégration dans les systèmes énergétiques, les réseaux et les infrastructures.

PERSEE est composé d'équipes de recherche et d'enseignement dont les activités sont conduites et reconnues dans leurs domaines depuis plus de vingt ans. Pour mener à bien sa mission, le centre associe modélisation et approche expérimentale et s'appuie sur de solides compétences génériques et pluridisciplinaires (chimie, physico-chimie des matériaux, électrochimie, génie des procédés, transferts thermiques, mécanique des fluides, génie électrique, mathématiques appliquées, statistiques). Les champs applicatifs investis sont multiples : enveloppes de bâtiment performantes, valorisation thermo-chimique de la biomasse, piles à combustibles, filière hydrogène, intégration des énergies renouvelables, réseaux électriques intelligents (smart grids), etc.

**PHASE:** Physique de l'Homme Appliquée à Son Environnement. (EA 3028). Université Toulouse III - Paul Sabatier <http://phase.ups-tlse.fr/> Correspondantes : Françoise Thellier ([francoise.thellier@univ-tlse3.fr](mailto:francoise.thellier@univ-tlse3.fr)) et Bérengère Lartigue ([berangere.lartigue@univ-tlse3.fr](mailto:berangere.lartigue@univ-tlse3.fr)).

Le domaine de recherche est principalement celui de l'énergétique et de l'acoustique dans l'environnement de l'homme (4 permanents et 2 thésards sont concernés par ce réseau) : le laboratoire est membre de la fédération de recherche sur Toulouse SH&HD (Systèmes, Habitat, Habitant, pour un objectif de développement Durable).

Deux thématiques de recherche :

- Matériaux Organisés pour la Thermique et l'Acoustique : Des travaux (modélisation et mesure) sont réalisés sur la caractérisation (thermique et acoustique) et l'optimisation (thermique) de matériaux. Ces travaux sont menés en partenariat avec les industriels. L'objectif visé dans les études en thermique est l'optimisation simultanée de l'isolation et de l'inertie thermique à l'échelle de l'élément de paroi ou de la paroi.
- Système et maîtrise de l'énergie : les actions de recherche portent sur la prise en compte et la modélisation de l'être humain, de sa perception et de ses réactions. On étudie ensuite les impacts des interactions homme-habitat sur la consommation énergétique des bâtiments (outils numériques : TRNSYS). Les outils de qualification des ambiances sont également utilisés pour l'optimisation ou le choix des matériaux.

Un Master : «Énergétique de l'Habitat, pour la performance énergétique et le confort», dont le M2 professionnel est spécialisé sur les audits «énergie et confort des bâtiments publics».

Le laboratoire PHASE fait partie de la Fédération de Recherche SH&HD (cf. § sur le laboratoire LAPLACE).