

**Programme Interdisciplinaire Energie 2 CNRS
GAT 4 Bâtiment**

Séminaire 31 août - 1^{er} septembre 2009, ENSMA, Poitiers

Participants :

Nom	Prénom	Labo
BOUIA	Hassan	EDF
BRUNOTTE	Xavier	CETHIL-INSA LYON
CHAUSSEAU	Romain	Mines ParisTech, CEP, doctorant
DUFORESTEL	Thierry	EDF
DUQUESNE	Marie	TREFLE, doctorante
GHIAUS	Christian	CETHIL-INSA LYON
GINESTET	Stephane	TREFLE - UMR CNRS 8508
GIRAULT	Manuel	LET
GUIAVARCH	Alain	Mines ParisTech, CEP
INARD	Christian	LEPTIAB
JEANDEL	Gérard	ESSTIN UHP NANCY
JOUBERT	Patrice	LEPTIAB
KAEMMERLEN	Aurélie	ESSTIN Nancy, doctorante
LALIZEL	Gildas	LET
LEMONNIER	Denis	LET
MALYS	Laurent	doctorant
MIGUET	Francis	CERMA
MORA	Laurent	TREFLE - UMR CNRS 8508
MOST	Jean Michel	LCD
MUSY	Marjorie	CERMA
PALOMO DEL BARRIO	Elena	TREFLE - UMR CNRS 8508
PENOT	Francois	LET
PETIT	Daniel	LET
PEUPORTIER	Bruno	Mines ParisTech, CEP
PLOIX	Stéphane	G-SCOP
PONS	Michel	CNRS-LIMSI
RUELLAN	Marie	Université Cergy Pontoise
SALAGNAC	Patrick	LEPTIAB
SAULNIER	Jean-Bernard	LET
SAURY	Didier	LET
SEMPEY	Alain	TREFLE - UMR CNRS 8508
THELLI ER	Françoise	Laboratoire P.H.A.S.E
THIERS	Stéphane	Mines ParisTech, CEP
TRAORE	Issiaka	doctorant
WOLOSZYN	Monika	CETHIL-INSA LYON
WURTZ	Etienne	CNRS-LOCIE Chambéry
WURTZ	Frederic	G2elab
THERON	Ghizlane	LET- Organisation

Absents excusés : Alain Bastide (LPBS, La Réunion), Gilles Rusaouën (CETHIL, Lyon).

Dans le contexte du projet de création d'un réseau de recherche, le séminaire a donné l'occasion d'un échange approfondi sur différents aspects de modélisation en énergétique des bâtiments. La physique du bâtiment fait intervenir différentes disciplines (thermique, mécanique des fluides, génie électrique, transferts de masse, éclairage...). La modélisation implique également des travaux en analyse numérique et en génie logiciel. Chaque thème a été introduit brièvement par un animateur en incluant un état de l'art et des objectifs de

progrès, puis une discussion a eu lieu afin de mieux cerner les possibilités de développement et/ou d'interopérabilité. Les présentations sont accessibles sur le site du Programme Energie : <http://energie.cnrs.ensma.fr/new/spip/spip.php?rubrique47> .

Journée 1

- Introduction

Jean-Bernard Saulnier (CNRS-Programme Energie) a rappelé l'actualité du sujet dans un contexte de menaces croissantes sur l'environnement, en particulier le climat.

- Transferts de masse (humidité en particulier)

Monika Woloszyn (CETHIL) a présenté un état de l'art en termes de modélisation (conservation de l'énergie et de la masse –air et eau-, conditions aux limites, couplage transferts de chaleur et de masse, différentes échelles, phénomène d'hystérésis, cycles de sorption...), et les travaux menés dans le cadre de l'Agence Internationale de l'Energie (banc d'essais pour la validation de modèles, comparaison entre modèles et mesures, évaluation des erreurs liées à certaines hypothèses simplificatrices). Elle a ensuite proposé des perspectives en termes de modélisation (étude des transferts couplés, intégration et réduction des modèles) et d'application en particulier pour étudier les problèmes d'humidité dans le bâti ancien et le comportement des constructions à ossature bois (ponts hygro-thermiques).

- Liens thermique/électricité, gestion énergétique

Stéphane Ploix (G-SCOP) et Frédéric Wurtz (G2elab) ont rappelé que le secteur du bâtiment représente 64% de la consommation totale d'électricité, en générant d'importantes demandes de pointe. Il est donc essentiel d'étudier des stratégies pour mieux gérer les liens entre bâtiments et réseaux (gestion anticipative, réactive, délestage, production photovoltaïque...), ce qui implique une collaboration entre électriciens et thermiciens (couplages faibles ou forts, constantes de temps et échelles différentes). Des techniques de génie logiciel comme la co-simulation pourraient être mises en œuvre. Des modèles embarqués sont également nécessaires pour certains dispositifs de contrôle-commande, ce qui induit des problèmes d'auto-calibration et d'auto-adaptation.

Les spécialistes de l'éclairage étaient absents, mais cette thématique est à aborder pour étudier les interactions entre thermique et électricité : l'éclairage artificiel constitue un apport de chaleur qui influence le comportement thermique du bâti, et réciproquement la gestion thermique (via les protections solaires) influence le niveau d'éclairement naturel et donc la consommation d'électricité pour l'éclairage artificiel. Les calculs par suivi de rayons sont coûteux en temps de calcul, et des possibilités de réduction de modèle sont étudiées au niveau du maillage et de certains paramètres comme le nombre de rebonds pris en compte.

- Etude des mouvements d'air, couplage aéraulique/thermique

François Penot (LET) a rappelé l'importance quantitative des transferts thermiques par mouvement d'air : à écart de température identique (10 K), un flux d'air d'une vitesse d'un m/s sur 1 cm² induit un échange de chaleur aussi important (de l'ordre d'1 W) qu'un transfert conductif à travers 20 cm de laine de verre sur ½ m². Cet aspect est important, mais aussi complexe : on constate souvent des situations chaotiques dans les écoulements, sensibles aux petites perturbations. A titre d'illustration, François Penot a présenté des résultats de mesure sur une cellule de 4 m de haut, où on voit la vitesse et la direction de l'écoulement en un point varier au cours du temps de manière très irrégulière.

Michel Pons (LIMSI) a présenté le projet ADN-BATI (Amélioration de la Description Numérique du BÂTiment). Un « benchmark » est proposé afin de mieux cerner les possibilités et les limites des approches existantes. Le cas étudié correspond à la ventilation nocturne une chambre du futur bâtiment CNRS à Cargèse, dans une configuration simplifiée. Les données du problème sont accessibles sur la page <http://adnbati.limsi.fr/> .

Alain Bastide (LPBS) n'a pu être présent mais sa présentation a pu être montrée par Patrice Joubert (LEPTIAB). Dans l'objectif de rechercher un compromis entre la précision du modèle (représenter la physique de manière suffisamment précise pour apporter des réponses fiables) et la faisabilité de la résolution numérique, la méthode proposée consiste à pénaliser les équations de Navier-Stokes sur le tenseur de contraintes. Des modèles de tenseurs sont ainsi développés.

- Evaluation du confort et Modélisation des occupants

Françoise Thellier (PHASE) a présenté un état de l'art sur les aspects de confort, en montrant les liens entre les aspects physiques, la physiologie, les perceptions et les réactions comportementales (psycho-sociologie). Il existe des modèles pour représenter le corps humain et les vêtements, évaluer les transferts thermiques (en intégrant la respiration, la sudation, les échanges convectifs, radiatifs et conductifs). Dans un objectif de thermo-régulation, les réactions comportementales sont généralement plus rapides que les réactions physiologiques. La physiologie est différente selon le genre et l'âge des personnes. Les indices trop simplistes sont remis en question, en particulier avec les notions de confort adaptatif. A terme il faut que les modèles de simulation thermique dynamique de l'habitat prennent en compte les occupants, au moins par le biais de modèles simplifiés de thermophysiologie pour prendre en compte l'inertie thermique du corps humain. Le plus gros problème pour l'évaluation des ambiances reste dans la difficultés de connaître avec suffisamment de précision les conditions aérauliques autour des occupants.

- Modélisation de l'environnement proche

Marjorie Musy (CERMA) a montré les avancées concernant la modélisation climatique à l'échelle urbaine. Les travaux menés au sein de l'IRSTV (Institut de Recherches en Sciences et Techniques de la Ville) peuvent permettre d'établir des liens entre la thermique des bâtiments, la connaissance des micro-climats à l'aide de la télédétection, et l'étude de la canopée végétale. Le calcul du rayonnement solaire sur les différentes faces des bâtiments et des espaces extérieurs, prenant en compte les réflexions multiples, est complété par des modèles thermo-aérauliques permettant d'évaluer l'influence des bâtiments sur les mouvements d'air. La présence éventuelle de bassins d'eau est également considérée (échanges thermiques, évaporation). Les résultats sont comparés à des mesures in situ, qui confirment par exemple le phénomène d'îlot de chaleur. La prise en compte de ces micro-climats permettrait d'évaluer de manière plus précise les performances des bâtiments (apports solaires, débits d'air et échanges convectifs, humidité...). Les interactions entre thermique et aéraulique (temps de calcul) ainsi que le problème de la discontinuité des taches solaires constituent des verrous.

Journée 2

- Problème global de représentation des connaissances

Christian Ghiaus (CETHIL) a cherché à savoir si l'énergétique des bâtiments constitue ou non un véritable domaine scientifique. L'étendue des échelles spatio-temporelles (du nano-matériau à la ville, de régulations réagissant à la fraction de seconde jusqu'à des durées de vie de centaines d'années), le nombre des paramètres, souvent imprécis et/ou partiellement connus, variables, et l'influence du facteur humain (habitants...) montrent la complexité des systèmes étudiés. L'analyse de ces systèmes associe alors des approches phénoménologiques (avec des modèles dynamiques, non linéaires...) et systémiques (méthodes inverses pour passer de la simulation à la conception et au contrôle). Quel niveau de détail de la modélisation permet de restituer la physique avec les moyens de calcul actuels ? Une cartographie des différents types de modèles est proposée (discrétisation, graphes de liaison, fonctions de transfert, régression, réseaux neuronaux, algorithmes génétiques, objets...). La problématique du couplage ou de l'emboîtement des modèles est introduite, ainsi que la notion de « survenance ».

Il est suggéré d'inclure également les aspects liés à l'entropie (désordre) et à la théorie du chaos (François Penot) ainsi que les aspects stochastiques (Michel Pons).

- Réduction de modèles

Elena Palomo (TREFLE) relie la complexité des modèles de thermique du bâtiment à leur caractère dynamique, non linéaire, raide (une petite perturbation sur une entrée peut induire une grande variation sur une sortie) et à leur grande dimension. La parcimonie exigée pour répondre aux besoins (conception, optimisation, diagnostic...) impose alors l'usage de techniques de réduction de modèles. La recherche de parcimonie concerne la modélisation physique, la résolution numérique et l'algorithmique. Par rapport à la simplification, la réduction de modèle offre l'avantage de contrôler la perte de précision. Un historique et une typologie de méthodes ont été exposés. De nombreux travaux ont concerné les systèmes linéaires, et une comparaison du temps de calcul est proposée entre différentes approches de changement de base (base modale, bases singulières, transformation équilibrée –issue des concepts de contrôlabilité et d'observabilité développés par les automaticiens) et de réduction (troncature et/ou minimisation de l'erreur). Les systèmes non linéaires (CFD, diffusion chaleur-humidité et/ou espèces chimiques, matériaux à changement de phase...) n'ont été abordés que plus récemment, selon différentes approches : décomposition orthogonale aux valeurs propres (POD), modes de branche, méthode modale avec techniques d'identification. Les modèles réduits sont parfois enrichis sur la base d'une série de simulations (POD adaptative par exemple) ou de la résolution d'une équation de Lyapunov (méthode développée initialement pour étudier la stabilité des systèmes dynamiques) pour différentes sollicitations types (échelon, impulsion...). Ces méthodes sont associées à des techniques algorithmiques comme la méthode de Krylov ou la décomposition en valeurs singulières (voire une combinaison de ces deux approches). Une comparaison synthétique de ces différentes pistes est esquissée, avec des questions ouvertes sur les modèles à paramètres dépendant du temps, bornés, multi-physiques, et le respect d'exigences en termes d'évaluation a priori de la précision, de convergence, de stabilité et d'efficacité numérique.

- Incertitudes et fiabilité des modèles

Laurent Mora (TREFLE) a présenté la notion de fiabilité sous les angles de la fidélité (apporter des réponses conformes à la réalité), la crédibilité (confiance par rapport aux incertitudes) et la robustesse (les résultats restent cohérents dans un large domaine de validité). La simulation associe plusieurs étapes (technologique, physique, mathématique, numérique, algorithmique) pouvant donner lieu à des simplifications. L'objectif de progresser vers une garantie de performance, l'importance accrue de phénomènes jusqu'ici négligés, la recherche des paramètres les plus influents en vue d'une optimisation conduisent à proposer plusieurs axes de réflexion, en particulier l'identification des incertitudes (explicitation des hypothèses...), l'analyse de la sensibilité des modèles (analyse statistique – FAST ou probabiliste- ou différentielle -méthode directe ou adjointe-), la propagation des incertitudes (approches différentielle, probabiliste, ensembliste, par optimisation) et la validation (plate formes expérimentales, échantillonnage, analyse spectrale, recalage...).

- Solveurs et autres aspects de génie logiciel

Xavier Brunotte, Ingénieur Docteur, manager d'une équipe de développement logiciel de 25 personnes, a été embauché comme Ingénieur de recherche au G2ELAB afin d'aider à la structuration du réseau de chercheurs travaillant en énergétique des bâtiments. La plate forme web envisagée a pour objectifs de faciliter la capitalisation des modèles, un meilleur partage des travaux, leur pérennisation et leur valorisation. L'interopérabilité est visée (approche multi-physique), des outils comme Modelica étant envisagés (approche composants). La première étape de cette mission consiste à recenser les modèles (couplage thermique - aéraulique, transferts de masse, électricité, contrôle commande, usagers) et leur description (formalisme type Modelica...), les solveurs (dédiés ou généralistes), les liens avec un/des pré et post-processeur(s), les possibilités de co-simulation (définition des

composants d'échange, orchestration...), les fonctionnalités associées à la simulation (optimisation, dimensionnement, gestion et logiciels embarqués, diagnostic...) et les besoins des utilisateurs (documentation, exemple, tutoriaux, services associées...).

Afin de tirer parti au mieux des réflexions de ce séminaire, Christian GHIAUS a présenté un site internet sur lequel une proposition de réseau de recherche (e-bati) peut être enrichie selon une approche de type wiki : <http://ebati.pbworks.com/FrontPage> .

Etienne Wurtz (INES-LOCIE) a conclu le séminaire en annonçant, outre la proposition du réseau e-bati, plusieurs initiatives dans un avenir proche :

- la journée organisée conjointement par IBPSA-France et la chaire « Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures » le 5 novembre 2009, « Eco-technologies du bâtiment, du matériau au quartier », cf. <http://www.ibpsa-france.net>
- l'école de printemps SIMUREX à Cargèse en avril 2010, « CONCEPTION OPTIMISÉE DU BATIMENT PAR LA SIMULATION ET LE RETOUR D'EXPÉRIENCE » ,
- la conférence IBPSA France en 2010.