

Sujet de thèse : Analyse multicritère améliorée du confort urbain couplant modélisation microclimat et science du bâtiment via la prise en compte des comportements optiques physico-réalistes des surfaces

Thèse CIFRE avec Saint-Gobain Recherche Paris

Contexte

L'impact énergétique et environnemental d'un quartier est fortement lié à son aménagement urbain : morphologie des bâtiments, matériaux utilisés et occupation humaine influencent divers critères comme les consommations énergétiques, l'apparition d'îlot de chaleur urbain, le confort thermique et le confort visuel. La modélisation physico-réaliste des différents phénomènes physiques intervenant dans un milieu urbain est un outil précieux pour évaluer la pertinence de solutions techniques (aménagement/matériaux) visant à améliorer l'habitat selon les différents critères cités.

De nombreux outils numériques ont été développés afin de modéliser certains des phénomènes physiques comme les échanges thermiques entre intérieur du bâtiment et l'extérieur en prenant en compte la canopée urbaine et le microclimat induit. Une première thèse produite par le CSTB et le LaSIE [3] a permis le couplage de deux outils pour la simulation de l'impact énergétique et environnemental de quartiers urbains [1-4].

Ces modèles physiques font intervenir des couplages complexes, avec des limitations dans les approches actuelles, en particulier sur le modèle de radiativité qui ne permet pas l'étude fine des surfaces réfléchissantes.

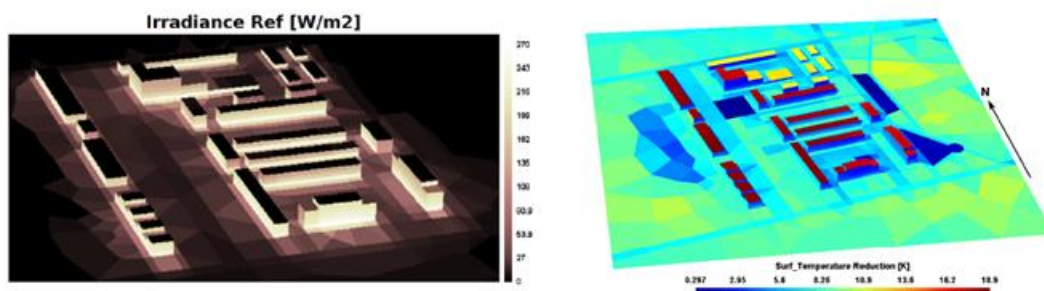


Figure 1: Rayonnement réfléchi (à gauche) et réduction de la température de surface (à droite) après mise en œuvre de matériaux réfléchissants dans des conditions météorologiques extrêmes.

Sujet de la thèse et Objectifs

Cette thèse vise à développer un modèle physico-réaliste des interactions thermo-radiatives des surfaces réfléchissantes et actives des matériaux du bâtiment, des vitrages standards, actifs, passifs, aux matériaux à changement de phase et autres revêtements de façades (BiPV, etc.) dans un environnement urbain. Ce modèle sera intégré au couplage préexistant développés par le CSTB et le LaSIE [3] afin de permettre une analyse multicritère des performances énergétiques et environnementales d'un quartier sur une échelle de temps définie. L'analyse de différents quartiers/climat permettra de faire des recommandations éclairées sur l'urbanisme à promouvoir et les solutions techniques à développer **afin de répondre aux enjeux climatiques actuels et futurs.**

La thèse proposée ici permettra d'intégrer une prise en compte réaliste des propriétés photométriques et radiométriques des matériaux dans les modèles et outils logiciels préexistants développés par le CSTB et le LaSIE afin d'évaluer le bénéfice apporté par des solutions spécifiques :

- Exploitation du logiciel Phanie (CSTB-Figure 2) pour les aspects radiatifs, sur une approche rayon, dissociant visible et infrarouge, et prenant en compte les aspects directionnels et spectraux ;
- Intégration et couplage aux modèles préexistants du CSTB et du LaSIE ;
- Analyse multicritère de solutions innovantes réfléchissantes proposée par Saint-Gobain, vitrage et BiPV ;

Le travail demandé consistera alors à :

- Réaliser un état de l'art sur
 - o Les modèles d'échange radiatifs et des propriétés des vitrages, en particulier ceux développés par Saint-Gobain, en intégrant les propriétés radiatives spéculaires
 - o Les stratégies de traitement des îlots de chaleur à l'échelle du quartier, sur la base du traitement radiatif (impacts énergie et confort)
 - o Les critères d'évaluation de la résilience et de performance à l'échelle quartier et bâtiment (énergie & confort)
- Modèle radiatif avec les outils de simulation du microclimat urbain et des bâtiments (logiciels CSTB/LaSIE) ;
- Couplage de la modélisation radiative détaillée à l'échelle d'un quartier (logiciel CSTB), et le calcul de la température radiante à l'échelle des piétons ;
- Intégrer les modèles de calculs d'indicateurs pour permettre le pilotage et/ou la conception des stratégies d'adaptation et d'atténuation des îlots de chaleur ;
- Définir des cas d'études caractéristiques de différentes zones climatiques urbaines ;
- Analyse multicritère pour l'aide à la décision sur la base des indicateurs développés, des stratégies existantes, et proposer des stratégies innovantes et optimisées à l'échelle quartier.

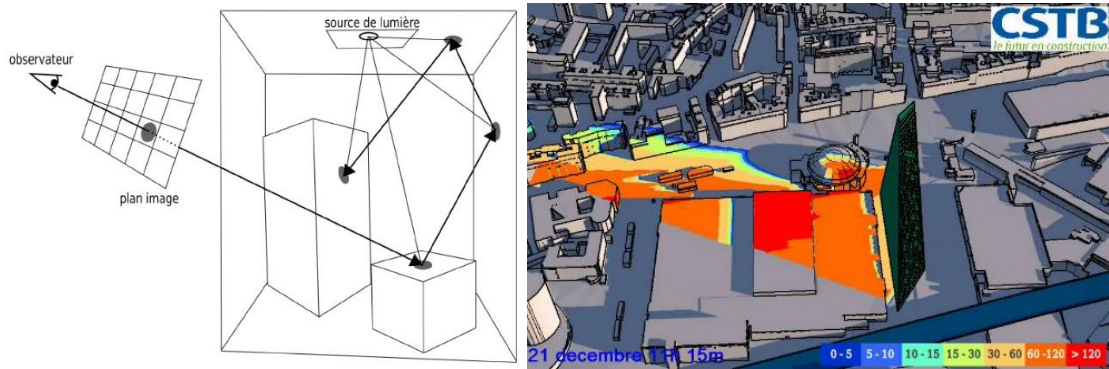


Figure 2: Approche Rayons du logiciel Phanie (gauche), application à l'éclairage naturel en environnement urbain (droit).

Profil du candidat

- Le candidat devra avoir de solides compétences en physique du bâtiment et en sciences de l'ingénieur, ainsi que des connaissances en modélisation du bâtiment (ex. EnergyPlus ou TRNSYS).
- Une bonne connaissance de la programmation scientifique serait nécessaire (ex. Python ou Matlab).
- Une expérience en modélisation numérique du microclimat urbain sera un atout (ex. ENVI-met ou UWG).
- En outre, le candidat devra être capable de travailler dans un environnement collaboratif de projet.

Lieu de travail pendant la thèse

Le lieu de travail principal de la thèse se déroulera au CSTB Sophia-Antipolis, tandis que certaines missions seront demandées au LaSiE La Rochelle, et/ou au CSTB Nantes et à SG Research Paris.
À titre indicatif:

Saint Gobain : 25 %
CSTB : 65%
Lasie : 10 %

Encadrement de la thèse

Lasie : Emmanuel Bozonnet
CSTB : Georgios Kyriakodis, Samuel Carré
Saint Gobain : Anne Penillard/Xavier Caillet/Michele Schiavoni

Les candidatures avec lettre de motivation et CV doivent être adressées à Michele Schiavoni, Xavier Caillet, Anne Penillard (Michele.schiavoni@saint-gobain.com, xavier.caillet@saint-gobain.com, anne.penillard@saint-gobain.com) et Georgios (G-E) Kyriakodis, Emmanuel Bozonnet (Georgios.KYRIAKODIS@cstb.fr, emmanuel.bozonnet@univ-lr.fr)

Établissements d'accueil

Saint-Gobain (SG)

Leader mondial de la construction durable, Saint-Gobain conçoit, produit et distribue des matériaux et services pour les marchés de l'habitat et de l'industrie. Développées dans une dynamique d'innovation permanente, ses solutions intégrées pour la rénovation des bâtiments publics et privés, la construction légère et la décarbonation du monde de la construction et de l'industrie apportent durabilité et performance. L'engagement du Groupe est guidé par sa raison d'être « MAKING THE WORLD A BETTER HOME ».

Saint-Gobain Research Paris est un des huit grands centres de recherche du Groupe Saint-Gobain. Situé à Aubervilliers (93) en région parisienne, ce centre de recherche industrielle concentre une pluralité de disciplines scientifiques et a pour mission de préparer le futur en imaginant les produits et procédés de demain autour de l'habitat, l'énergie et l'environnement.

<http://www.saint-gobain.com>

Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

Établissement public indépendant, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) est un acteur majeur dans la construction et l'urbain pour anticiper les enjeux de demain, répondre aux aspirations de bien-être et de sécurité des citoyens, et soutenir les acteurs dans une logique de service. Le CSTB a une approche intégrée de la construction en termes de performances environnementale et énergétique, compétitivité économique, sécurité, santé, et adaptation aux besoins des usagers. Cette vision globale se reflète dans l'accompagnement des acteurs par le CSTB de la naissance d'un produit / procédé au retour d'expérience. Le CSTB assiste tous les acteurs de la construction à toutes les échelles du bâti : des équipements, produits et matériaux aux ouvrages et à leur intégration dans les quartiers et villes durables. Le CSTB contribue de manière essentielle à la qualité et à la sécurité de la construction durable grâce aux compétences de ses 971 collaborateurs (au 31/12/2020), de ses filiales et de ses réseaux de partenaires régionaux, nationaux, européens et internationaux. En facilitant la mise sur le marché de solutions techniques performantes aux bénéfices multiples (environnement, intégration paysagère et qualité de vie), le CSTB participe à la lutte contre le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) et à l'adaptation au changement climatique.

<http://www.cstb.fr/en/>

Le Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE)

Le LaSIE - La Rochelle Université est depuis 2014 une Unité Mixte de Recherche du CNRS (UMR CNRS 7356) issue du rapprochement de deux équipes d'accueil de l'Université de La Rochelle, le LEPTIAB et le LEMMA. Le LaSIE, localisé à La Rochelle à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université, dispose également de locaux expérimentaux à l'IUT et de dispositifs expérimentaux au sein de la plateforme TIPEE. Il regroupe environ 160 personnes, dont 60 chercheurs permanents. Il est organisé autour de quatre équipes, qui couvrent les deux grands domaines suivants : d'une part les écoulements, le bâtiment/génie civil, l'énergie et l'environnement, et d'autre part les matériaux et les transferts en milieux agressifs. La spécificité du LaSIE est de regrouper des activités et des compétences en mécanique des solides et mécanique des fluides, en physique et chimie des matériaux, en génie civil, en thermique-énergétique et aéronautique de bâtiment et en éco-procédés. L'équipe de recherche (BVD) est spécialisée dans les thématiques relatives à l'énergétique du bâtiment et la maîtrise de la qualité des ambiances habitées, et ses compétences reconnues se traduisent par des laboratoires communs et des collaborations récurrentes, en particulier avec le CSTB au travers de nombreux projets et travaux de thèse en commun. Les travaux au sein de cette équipe s'inscrivent parfaitement dans la démarche de cette thèse de la modélisation du bâti et de ses interactions avec l'échelle du microclimat urbain et des besoins énergétiques. Emmanuel Bozonnet, référent de l'équipe sur ce domaine et maître de conférences HDR, sera codirecteur de cette thèse.

<https://lasie.univ-larochelle.fr/?lang=en>

Thesis title: Improved multicriteria analysis of urban comfort by integrating the physico-realistic optical behavior of glazed surfaces to coupled microclimate and urban building energy simulation models.

Hosting Establishments

CIFRE Thesis with Saint-Gobain Research Paris / CSTB/ LASIE

About SAINT GOBAIN

Worldwide leader in light and sustainable construction, Saint-Gobain designs, manufactures and distributes materials and services for the construction and industrial markets. Its integrated solutions for the renovation of public and private buildings, light construction and the decarbonization of construction and industry are developed through a continuous innovation process and provide sustainability and performance. The Group's commitment is guided by its purpose, "MAKING THE WORLD A BETTER HOME", with a goal of achieving Carbon Neutrality by 2050 <http://www.saint-gobain.com>.

The Group has eight major cross-business R&D centers, three of which are located in France: Saint-Gobain Research Paris, Provence and Compiègne. All research centers maintain and develop at the highest level of skills and technologies for the Group. Their size and multi-disciplinary facilitate effective interaction with the academic world, a watch and anticipation on scientific advances and the recruitment of talents: <https://www.saint-gobain.com/fr/linnovation/nos-centres-de-rd-transversaux>

ABOUT SAINT-GOBAIN

Worldwide leader in light and sustainable construction, Saint-Gobain designs, manufactures and distributes materials and services for the construction and industrial markets. Its integrated solutions for the renovation of public and private buildings, light construction and the decarbonization of construction and industry are developed through a continuous innovation process and provide sustainability and performance. The Group's commitment is guided by its purpose, "MAKING THE WORLD A BETTER HOME".

€44.2 billion in sales in 2021

166,000 employees, located in 75 countries

Committed to achieving Carbon Neutrality by 2050

<http://www.saint-gobain.com>

ABOUT SAINT-GOBAIN RESEARCH PARIS

Saint-Gobain Research Paris is one of eight major cross-business research centers that serve all the Activities of Saint-Gobain. These research centers maintain and develop at the highest level of skills and technologies for the Group.

Their size and multi-disciplinary facilitate effective interaction with the academic world, a watch and anticipation on scientific advances and the recruitment of talents.

471 employees, +27 nationalities, +41% of women

<https://www.sgr-paris.saint-gobain.com/en>

The Scientific and Technical Center for Building, CSTB

An independent public establishment, the Scientific and Technical Center for Building (CSTB) is a major player in construction and urban planning, anticipating the challenges of tomorrow, meeting the aspirations of citizens' well-being and safety, and supporting actors in service logic. The CSTB has an integrated approach to construction in terms of environmental and energy performance, economic competitiveness, safety, health, and adaptation to user needs. This global vision is reflected in CSTB's support for stakeholders from the birth of a product/process to feedback. The CSTB assists all those involved in construction at all levels of construction: from equipment, products and materials to structures and their integration into sustainable neighborhoods and cities. The CSTB makes an essential contribution to the quality and safety of sustainable construction thanks to the skills of its 971 employees (as of 12/31/2020), its subsidiaries and its networks of regional, national, European and international partners. By facilitating the marketing of high-performance technical solutions with multiple benefits (environment, landscape integration and quality of life), the CSTB participates in the fight against the Urban Heat Island effect (UHI) and in adapting to climate change.

<http://www.cstb.fr/en/>

The Laboratory of Engineering Sciences for the Environment (LaSIE)

Since 2014, the LaSIE (Laboratory of Engineering Sciences for the Environment - La Rochelle University) has been a Joint Research Unit of the CNRS (UMR CNRS 7356) resulting from the merger of two host teams from the University of La Rochelle, the LEPTIAB and the LEMMA. The LaSIE, located in La Rochelle at the Faculty of Science and Technology of the University, has also experimental premises at the IUT and experimental devices within the TIPEE platform. It brings together around 160 people, including 60 permanent researchers. It is organized around four teams, which cover the following two main areas: on the one hand fluid dynamic, civil engineering, energy and environment; and on the other hand, materials and transfers in aggressive environments. The specificity of LaSIE is to bring together activities and skills in solid and fluid mechanics, physics and chemistry of materials, civil engineering, thermal transfers, and indoor/outdoor airflows. The research team (BVD) is expert in themes relating to building energy and controlling the quality of inhabited environments, and its recognized skills are reflected in joint laboratories and recurring collaborations, in particular with the CSTB through numerous joint projects and thesis work. The work within this team is perfectly in line with the approach of this thesis of building modeling and its interactions with the scale of the urban microclimate and energy needs. Emmanuel Bozonnet, team referent in this field and HDR associate professor, will be co-director of this thesis.

<https://lasie.univ-larochelle.fr/?lang=en>

Context

The energy and environmental impact of an urban neighbourhood is strongly related to its structure; building morphology, used materials and human occupation influence various criteria such as energy consumption, urban heat island formation, thermal and visual comfort (indoor-outdoor). Physics-based multi-modelling can act as valuable means to evaluate the relevance of technical solutions (built materials) aiming to improve urban settlements according to various referenced criteria.

Distinct numerical tools have been developed [1-4], in order to represent certain physical phenomena such as thermal exchanges between building indoor and outdoor environment by taking into account the urban canopy and the induced microclimate. A first thesis [3] produced by the CSTB and LaSIE allowed the coupling of two tools for simulating the energy and environmental impact of urban neighbourhoods.

These physical models involve complex couplings, with limitations in current approaches, in particular on the radiosity model which does not allow a detailed study of reflective surfaces.

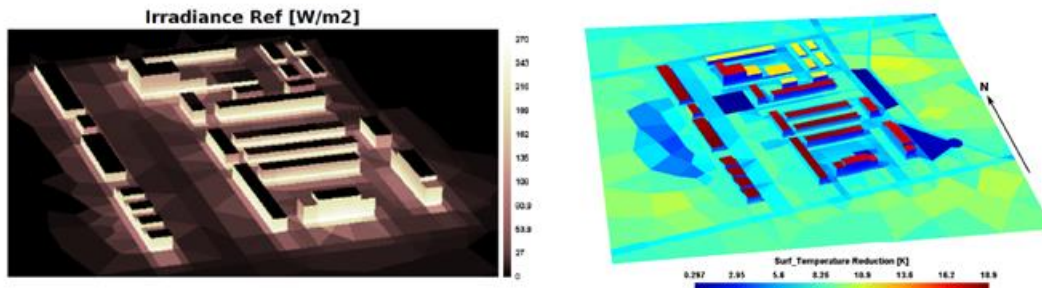


Figure 3: Reflected irradiance (left) and surface temperature reduction (right) after implementation of reflective-cool materials under extreme weather conditions.

Thesis Topic and Objectives

This thesis aims to develop a physio-realistic model of the optical interactions of reflective and active surfaces of building materials, standard, active, passive glazing, to phase change materials (BiPV, etc.) in an urban environment. The model will be integrated into the existing coupled models developed by the CSTB and the LaSIE in order to enable a multi-criteria analysis of a neighbourhood's energy and environmental performance over a defined time scale. A further analysis of different neighbourhood typologies and climate conditions will bridge the gap for the promotion of technical solutions and decisional key performance indicators to meet current and future climate challenges.

The thesis proposed here will enable to integrate a realistic account of the photometric and radiometric properties of materials into the existing models developed by the CSTB and LaSIE in order to evaluate the benefit provided by specific solutions:

- Use of Phanie software for radiative aspects, based on a ray approach, dissociating visible and infrared, and taking into account directional and spectral aspects.
- Integration to existing CSTB and LaSIE models.

- Multicriteria analysis of reflective innovative solutions proposed by Saint-Gobain, glazing and BPIV.
- Definition of KPIs.

The work required will then consist of:

- Realize a state of the art on:
 - Radiative exchange models and glazing properties, in particular those developed by Saint-Gobain, integrating specular radiative properties
 - Mitigation strategies of urban heat island at the district level, focused on radiative aspects (energy and comfort impacts)
 - Criteria for evaluating resilience and performance at the neighbourhood and building scale (energy & comfort)
- Employment of radiation, urban microclimate and building simulation models (CSTB/LaSIE software);
- Coupling of detailed radiative modeling with the microclimate and urban building energy model (CSTB software), and development of the radiant temperature calculation at the pedestrian level;
- Integration of thermal comfort indicators -calculation models- to enable accurate assessment and/or design of heat island adaptation and mitigation strategies;
- Define representative case studies of different urban climate zones;
- Multi-criteria analysis for decision support system, based on the developed indicators, the existing strategies, and proposition of innovative and optimized strategies at the neighbourhood level.

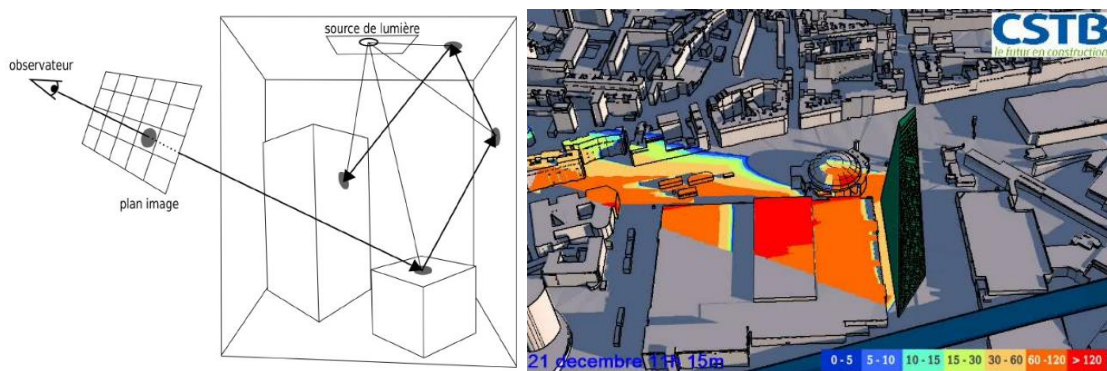


Figure 4: Ray tracing approach of Phanie software (left), application to natural lighting in urban environments (right).

Candidate Profile

- The candidate should have solid skills in building physics and engineering sciences, as well as knowledge in building modelling (ex. EnergyPlus or TRNSYS).

- A good knowledge of scientific programming would be required (ex. Python or Matlab).
- An experience in numerical modelling of urban microclimate would be an asset (ex. ENVI-met or UWG).
- Additionally, the candidate must be able to work in a collaborative project environment.

Thesis working location:

The primary location for the thesis work will be based in CSTB Sophia-Antipolis, with occasional assignments possibly required at LaSiE La Rochelle, CSTB Nantes, and SG Research Paris. As an indication:

Saint Gobain : 25 %
CSTB : 65%
Lasie : 10 %

PhD supervision

Lasie : Emmanuel Bozonnet
CSTB : Georgios Kyriakodis, Samuel Carré
Saint Gobain : Anne Penillard/Xavier Caillet/Michele Schiavoni

Applications should be sent to Michele Schiavoni, Xavier Caillet and Anne Penillard (Michele.schiavoni@saint-gobain.com, xavier.caillet@saint-gobain.com, anne.penillard@saint-gobain.com) and Georgios (G-E) Kyriakodis, Emmanuel Bozonnet (Georgios.KYRIAKODIS@cstb.fr, emmanuel.bozonnet@univ-lr.fr), with at least a CV, a motivation letter or email and transcripts (bachelor+master).

Bibliography

1. E. Garreau, Y. Abdelouadoud, E. Herrera, W. Keilholz, G.-E. Kyriakodis, V. Partenay, P. Riederer, District MOdeller and SIMulator (DIMOSIM) – A dynamic simulation platform based on a bottom-up approach for district and territory energetic assessment, *Energy and Buildings*, Volume 251, 2021, 111354, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111354>.
2. Kyriakodis, G. E., Bozonnet, E., & Riederer, P. (2021, September). An integrated approach to quantify the potential local climate mitigation of a district energy network compared to individual air conditioning systems. In *2021 Building Simulation Conference* (Vol. 17, pp. 768-775).
3. Kyriakodis, G. E. (2020). *Development of a coupled simulation tool for urban building energy demand, district energy systems and microclimate modeling* (Doctoral dissertation, Université de La Rochelle).
4. Gros, A., Bozonnet, E., & Inard, C. (2014). Cool materials impact at district scale—Coupling building energy and microclimate models. *Sustainable Cities and Society*, 13, 254-266.