



> UNIVERSITÉ PARIS-EST – CSTB

Une année de recherche doctorale

Journée des doctorants,
23 octobre 2012

CSTB
le futur en construction

Sommaire

Du quartier à la ville durable

- Yassine ABDELOUADOUD** p. 06
Évaluation de l'intégration du stockage dans le réseau de distribution de l'électricité
- Loeiz BOURDIC** p. 07
Morphologie et complexité urbaine Efficience et résilience
- Lucie MERLIER** p. 08
Contribution à l'étude des rapports entre la morphologie urbaine et le comportement énergétique des bâtiments

Bâtiments durables

- Laëtitia ARANTES** p. 10
Du bâtiment à la ville : l'intégration des données énergétiques dans la conception architecturale située
- Julie DAUSSEINS** p. 11
Durabilité des matériaux innovants à base de polyamide utilisés dans les réseaux d'eau intérieurs
- Pierre-Luc DAVID** p. 12
Caractérisation des risques associés à l'utilisation d'eaux grises traitées pour des usages extérieurs
- Émilie FOUQUE** p. 13
Mise en place d'une stratégie innovante de maîtrise des amibes dans les biofilms pour la gestion des risques sanitaires
- Endrit HOXHA** p. 14
Amélioration de la fiabilité de l'évaluation des performances environnementales des bâtiments
- Emna SELLAMI-KAANICHE** p. 15
Modélisation des flux de contaminants émis par les toitures à l'échelle urbaine
- Natalia KOTELNIKOVA-WEILER** p. 16
Optimisation mécanique et énergétique d'enveloppes en matériaux composites pour les bâtiments
- Matthieu LABAT** p. 17
Chaleur - humidité - air dans les maisons à ossature bois
- Maria-Octavia LUPSEA** p. 18
Contribution à l'évaluation de l'impact environnemental du bâtiment à l'échelle locale : méthodes numériques pour l'évaluation des émissions dans l'eau
- Johann MIRANDA FUENTES** p. 19
Étude numérique du changement de phase avec convection naturelle
- Antoine LEFORT** p. 20
Gestion optimale de l'énergie dans le bâtiment résidentiel
- Khaoula MAHMOUD** p. 21
Dynamique des polluants dans les sols insaturés :
Méthodologie de reconstitution de parcelles d'infiltration
- Tristan SALQUE** p. 22
Amélioration des performances de PAC géothermiques par couplage de mesures in-situ et de méthodes numériques inverses

Fabien TALBOURDET p. 23
Développement d'une démarche d'aide à la connaissance pour la conception/rénovation de bâtis performants

Mathieu THOREL p. 24
Méthodologie d'aide à la décision multicritère pour la conception de travaux de réhabilitation énergétique de bâtiments d'habitation dans une approche globale

Chen WANG p. 25
Comportement au colmatage des systèmes filtrants à base de sable en écoulement insaturé de l'assainissement non collectif (ANC)

Usages, santé, confort

Rukshala ANTON p. 28
Étude des mécanismes d'adsorption de composés organiques volatils par des couches polymères appliquées au développement de micro-capteurs dédiés à la détection du développement fongique dans les environnements intérieurs

Brice BERTHELOT p. 29
Conception et réalisation de micro-capteurs dédiés à la surveillance des aérocontaminants

Florian CORDONNIER p. 30
Étude de la transmission des virus respiratoires dans les espaces clos : le rôle des surfaces

Adrien DEFRANCE p. 31
De la perception de l'environnement sonore à la gestion du bruit à Paris

Thierno DIALLO p. 32
Impact des polluants gazeux du sol sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments

Gwenaëlle HAESE p. 33
Mise en place d'une méthode d'objectivation des mesures sensorielles lors des tests de dégustation par l'utilisation d'indicateurs du système nerveux autonome

Joëlle-Dorcas LAFFITTE p. 34
Place de la gestion de l'incertitude dans la gestion des risques en santé environnementale

Jean-Paul LUCAS p. 35
Contamination des logements par le plomb : prévalence des logements à risque et outils de diagnostic

Rachid OUAËT p. 36
Déterminants et prévision des fluctuations de la concentration en polluants dans un environnement intérieur

Mory OUATTARA p. 37
Développement et mise en place d'une méthode de classification multicritère du parc des bâtiments à usage de bureaux (qualité de l'air, santé, confort et performances énergétiques)

Jérémy ROUCH p. 38
Modélisation d'un système d'assistance à la réverbération actif

Maîtrise des risques

- Adel BENIDIR** p. 40
Étude du galop sec des câbles inclinés sur les ponts à haubans. Les effets de l'état de surface dans l'excitation des phénomènes vibratoires
- Clément BOUDAUD** p. 41
Analyse de la vulnérabilité sismique des maisons à ossature bois
- Adrien COURBOIS** p. 42
Étude expérimentale de la stabilité d'une éolienne offshore flottante soumise à l'action conjuguée de la houle et du vent
- Frédéric DELIANCOURT** p. 43
Étude des problématiques de similitude des écoulements pour les essais ferroviaires en soufflerie
- Damien LAMALLE** p. 44
Étude du niveau de confiance du logiciel de simulation incendie FDS à travers les cas des panaches libre et impactant
- Duc Toan PHAM** p. 45
Modélisation au feu de panneaux de compartimentage en béton, type bandeaux horizontaux
- Nicolas PINOTEAU** p. 46
Vulnérabilité des ancrages chimiques d'armatures dans le béton en situation d'incendie
- Alessandro VIGANO** p. 47
Modélisation numérique et expérimentale des phénomènes de givrage par accréation de neige collante
- Van Huyen VU** p. 48
Analyse des réserves de sécurité à partir de méthodes de fiabilité : application à un panneau en bois massif contrecollé (PBC)

Simulation et outils numériques

- Khalil BOUZIDI** p. 50
Aide à la création de documents technico-réglementaires dans le domaine du bâtiment
- Jan JAGLA** p. 51
Simulation auditive de trafic routier en milieu urbain
- Mateusz KOZINSKI** p. 52
Missing data consolidation for automatic reconstruction of building models from multiple images
- David OK** p. 53
Analyse robuste de façades dans des bases de photographies urbaines par grammaire de forme
- Mahmoud OMIQVAR** p. 54
Restitution réaliste de simulation d'éclairage dans un outil de navigation interactif
- Xavier VUYLSTEKE** p. 55
Développement d'un outils de référence basé sur la méthode multipolaire rapide des éléments de frontières pour la propagation acoustique en milieu urbain

Du quartier à la ville durable

—
Yassine ABDELOUADOUD
Loeiz BOURDIC
Lucie MERLIER
—

Évaluation de l'intégration du stockage dans le réseau de distribution de l'électricité

Yassine Abdelouadoud

Fin de thèse prévue en octobre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte



Figure 1 : Évolution de la demande de pointe.

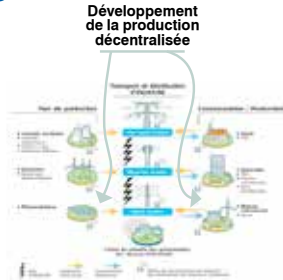


Figure 2 : Évolution du système électrique.

> Production décentralisée

- Modification des besoins de réserve.
- Reverse Power Flow dans le réseau de distribution.
- Injection d'harmoniques.
- Modification de l'équilibre offre-demande.

> Augmentation de la demande de pointe

- Investissement dans des moyens de production de pointe.
- Recours à des moyens de production à un coût marginal élevé.
- Investissement dans des capacités de transport et de distribution.

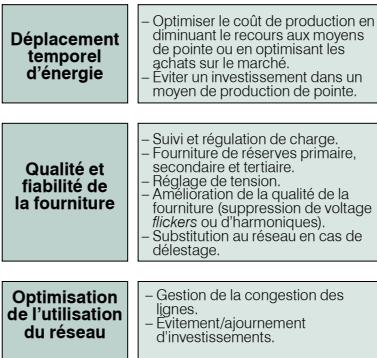


Figure 3 : Applications du stockage.

Objectif

Dans une perspective de planification, évaluer, par simulation, l'intégration de moyens de stockage multifonction au réseau de distribution en prenant en compte les aspects économiques, techniques et environnementaux, en modélisant les alternatives pertinentes et les relations entre les acteurs impliqués et en rendant compte de la diversité des moyens de stockage et de leur condition de mise en œuvre.

ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

- Les applications du stockage doivent être mutualisées.
- La simulation du fonctionnement du stockage doit pouvoir s'intégrer dans une logique de planification du réseau de distribution.
- Un modèle de simulation adapté, qui sera un compromis entre temps de calcul et précision, devra être développé.

Simulation du stockage multifonction

1. Planification du réseau de distribution

> La planification du réseau de distribution est un problème d'optimisation

- Minimiser le coût global du système à un horizon de temps donné.
- Respecter des contraintes techniques de fonctionnement du système.
- Respecter des contraintes de qualité de la fourniture.

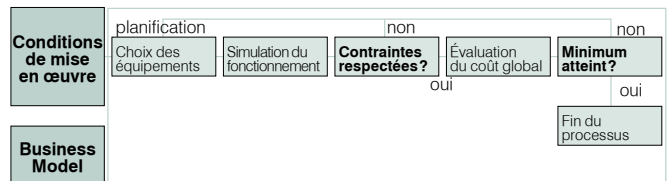


Figure 4 : Schéma d'un processus générique de planification du réseau de distribution.

2. La simulation du fonctionnement du stockage est un OPF

$$\min C(P^{import}, P^{dc})$$

$$\sum_n (P_n^i + P_n^{dc} + P_n^{pd}) + P^{import} = \sum_n (P_n^{conv} + P_n^{pd}) + P^{perce}$$

$$P_n^i + P_n^{dc} + P_n^{pd} - P_n^{conv} - P_n^{pd} = \sum_j |V_n| |V_j| (G_{nj} \cos(\theta_n - \theta_j) + B_{nj} \sin(\theta_n - \theta_j))$$

$$Q_n^i + Q_n^{dc} + Q_n^{conv} - Q_n^{FACTS} = \sum_j |V_n| |V_j| (G_{nj} \sin(\theta_n - \theta_j) - B_{nj} \cos(\theta_n - \theta_j))$$

$$V_{min} \leq |V_n| + \Delta_{OLTC} \leq V_{max}$$

Équations principales de l'Optimal Power Flow.

3. Simplifications du problème

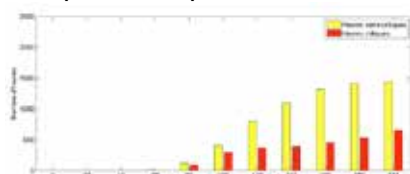


Figure 5

- Séparation en *scheduling* et *active-reactive optimal Power Flow*.
- Agrégation des variables de stockage dans le *scheduling*.
- Détermination a priori de la criticité des heures.
- Résolution successive des deux problèmes et contrôle de la perte d'optimalité.

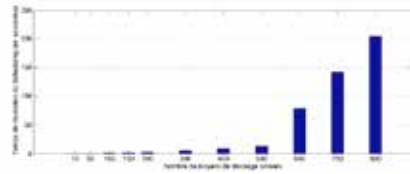


Figure 6

- Évolution du nombre d'heures critiques en fonction du taux de pénétration du PV et du stockage.
- Évolution du temps de résolution du *scheduling* en fonction du nombre de moyens de stockage modélisés.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Développement de la partie *scheduling* du simulateur

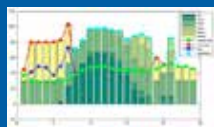


Figure 7 : Résultat du *scheduling* sur une journée.

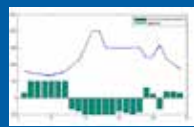


Figure 8 : Évolution des achats/ventes sur le marché en fonction des prix.

2. Établissement du critère de criticité et de la procédure de simulation

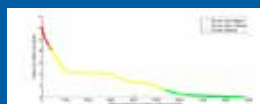


Figure 9 : Classement a priori des heures suivant leur criticité.

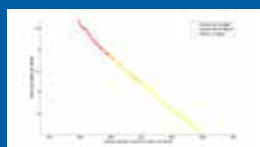


Figure 10 : Mise en évidence de l'imperfection du critère de criticité.

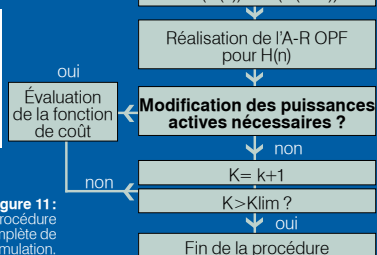


Figure 11 : Procédure complète de simulation.

PERSPECTIVES

1. Fin de la programmation du simulateur
2. Définition de *business models*
3. Développement d'une méthode de planification
4. Étude de sensibilité aux conditions de mise en œuvre

Remerciements - Avec le soutien de T. Guiot, F.-P. Neirac, R. Girard

Contact - yassine.abdelouadoud@cstb.fr



Morphologie et complexité urbaine Efficience et résilience

Loeiz Bourdic – Laboratoire des morphologies urbaines

Fin de thèse prévue en octobre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

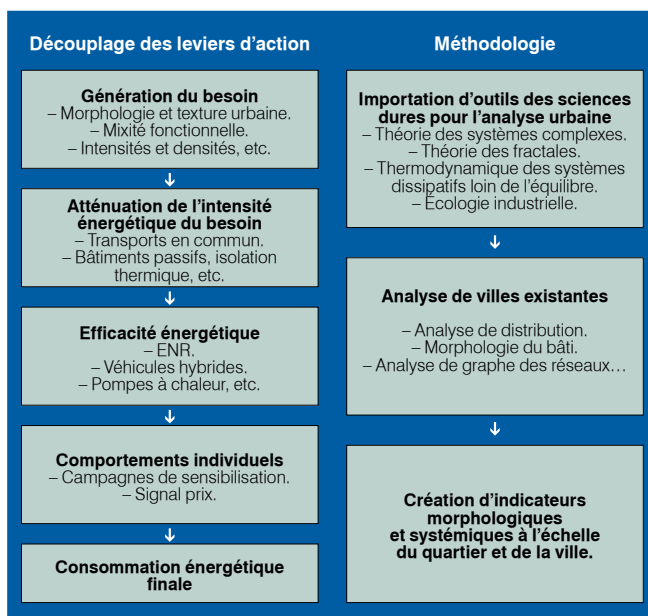
- > % d'urbains: 1/3 en 1950, 1/2 en 2010, 2/3 en 2030.
- > Bâti: 43% de l'énergie finale (19% GES.)
- > Transports: 32% de l'énergie finale (39% GES).
- > Nombreux outils de certification échelle bâtiment: HQE, BBC, LEED, BREEAM, CASBEE, DGNB, HK- BEAM, etc.

Mais

Même en portant le niveau d'efficience énergétique de tous les bâtiments d'une ville à un niveau de basse consommation, on ne réduirait in fine la consommation de la ville que de 1 à 2 %.
(Block, 2004)

Objectifs

- > Quelles lois structurelles et systémiques de l'énergétique urbaine à l'échelle du quartier et de la ville?
- > Quelle transposition en outils opérationnels de planification spatiale et énergétique pour les politiques urbaines?



ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

Outils, modèles et systèmes d'évaluation de la consommation énergétique des bâtiments à l'échelle quartier/ville

- > **Analyse critique de 18 outils et modèles.**
 - Pas de modèle véritablement systémique ni trans-scalaire.
 - Pas de séparation des leviers d'action, donc difficilement utilisable comme outil de pilotage pour les politiques urbaines.

> **Analyse critique des systèmes d'évaluation internationaux: LEED ND, CASBEE UD+, BREEAM, etc.**

- Les notations finales reposent sur une agrégation d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs, avec une pondération arbitraire.
- Davantage d'idéologie que de science.

> **Publication des conclusions de l'état de l'art**

- World Sustainable Building Conference SB11 à Helsinki.
- Bourdic & Salat, Building energy models and assessment systems at the district and city scales: a review, Building Research & Information, 2012.

Analyse complexe de tissus urbains

- Morphologie du bâti.
- Réseaux viaires (connectivité, récursivité, maille, etc.).
- Distribution rang-taille des aménités urbaines.

> **Publications :**

- Salat, Bourdic & Nowacki, Assessing Urban Comp SUSB 1(2).
- Salat & Bourdic, Power Laws for Energy Efficient and Resilient Cities, Proc. Eng. 21, 2011.
- Salat & Bourdic, Urban Complexity, Efficiency and Resilience, in Energy Efficiency, Intech, 2012.

Création d'un système d'indicateurs

> **Triple grille d'analyse :**

- Échelle bâtiment-voisinage-quartier-ville.
- Environnement – Socio-économique – Forme urbaine.
- Sectoriel (usage des sols, mobilités, etc.).
- Indicateurs systémiques à l'échelle du quartier et de la ville issus de la recherche fondamentale.

> **Publications :**

- Bourdic et al., Assessing cities : a new system of cross-scale spatial indicators, Building and Research Information, 2012.

PERSPECTIVES

- > Continuer l'importation d'outils d'analyse structurelle et systémique issus des sciences dures.
- > Création de nouveaux indicateurs.
- > Calibrer ces indicateurs sur des tissus urbains existants.

Contribution à l'étude des rapports entre la morphologie urbaine et le comportement énergétique des bâtiments

Lucie Merlier

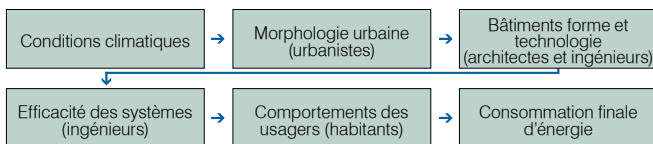
Fin de thèse prévue en octobre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

- > Urbanisation : un des principaux enjeux du développement durable à toutes les échelles d'action.
- > Complexité urbaine : système global (échanges internes et interactions permanentes avec l'extérieur) ⇒ transdisciplinaire.
- > Consommation d'énergie finale en France dans le bâtiment ≈ 43 % du total (données Ademe).
- > Importance grandissante de l'impact relatif de la morphologie urbaine sur la consommation d'énergie des bâtiments.

↓
Développer la connaissance des phénomènes thermo-aérauliques se déroulant en milieu urbain.



Facteurs déterminant la consommation d'énergie finale des bâtiments, d'après: RATTI et al., 2005.

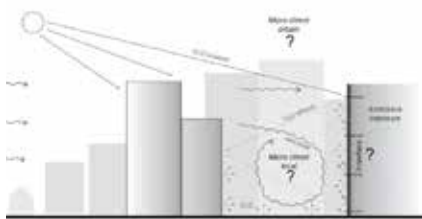


Figure 1 : Echanges énergétiques et micro-climat urbain.

Objectifs

- Comprendre les régimes d'écoulement du vent et les échanges radiatifs CLO et GLO en fonction de la complexité de la morphologie urbaine (principalement l'orientation, la rugosité et la réticulation du tissu urbain).
- Quantifier l'importance des phénomènes convectifs et radiatifs sur les sollicitations extérieures appliquées aux bâtiments (microclimat local) et sur la consommation de ces derniers.
- Analyser l'évolution des échanges énergétiques lors des changements d'échelle spatiale et la pertinence du choix du degré de complexité géométrique.
- Etablir des lois de comportement thermo-aéraulique en fonction des types morphologiques urbains.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

- Bibliographie : importance du contexte bâti urbain sur la balance énergétique des bâtiments et sur le confort des espaces publics**
 - résultats issus de mesures in situ ou de modèles plus ou moins simplifiés;
 - grande complexité de l'objet d'étude, importance des ressources nécessaires.
 - Premier corpus d'un point de vue thermo-aéraulique**
 - motif de base: patio, U, barre, plot;
 - association: continu, bande, îlot ouvert/fermé, cluster.
 - Simulations en cours sur modèle élémentaire de type patio:**
 - maillages à 12.10⁶ et 60.10⁶ cellules;
 - air: masse volumique et gaz idéal incompressible.
- ↓
Typologie de formes génériques et de textures réelles.
- ↓
Pas encore de convergence.



Figure 2 : Typologie générique et exemples de textures réelles du corpus, source: Firley et Stahl, 2009.

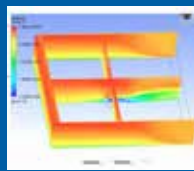


Figure 3 : Ex. de résultats (non convergents) obtenus pour la simulation du patio.

ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

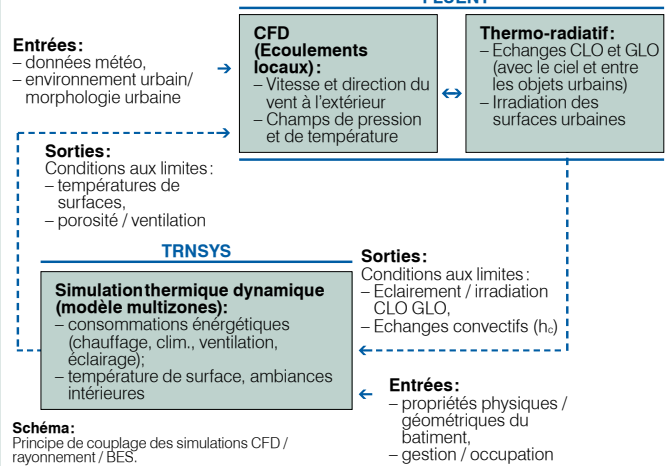
- Climatologie et microclimatologie urbaine empirique et expérimentale (Oke, Givonni, Santamouris, Nelson);
- Différentes approches de modélisation de l'influence de l'environnement bâti sur le potentiel bioclimatique des bâtiments - Importance de travaux relatifs au potentiel solaire passif (Adolphe, Ratti, Steemers, Salat, Robinson);
- Aéraulique externe: études des écoulements de vent dans les canyons urbains et modélisations CFD / couplées (Musy, Bozonnet, Blocken, Akshay, Hang);

Analyse morphologique

- Caractérisation géométrique, métrique et topologique des formes bâties et urbaines (source Burdet 2011);
- Importance de l'irrégularité et de la complexité urbaine.

Modélisations

1. Méthodologie générale



2. Modélisation d'un premier motif élémentaire sur Fluent

- > Définition du domaine et du motif de base (patio).
- > Modèle de turbulence 'k - ε realizable'; lancer de rayons , P1.
- > Conditions aux limites:
 - 'Velocity inlet' à profil parabolique (UDF) en entrée, 'outflow' en sortie;
 - bâtiment: type 'wall', 'shell conduction';
 - toit et limites latérales du domaine: condition de symétrie;
 - sol du domaine: type 'wall'.

PERSPECTIVES

- Convergence et validation des modèles élémentaires et génériques**
 - Maillage et conditions aux limites.
 - Comparaison des résultats avec un modèle similaire étudié en LBM.
- Étude d'une typologie générique et réelle de formes urbaines à différentes échelles spatiales:**
 - Cas générique / cas réel: identification des phénomènes élémentaires et étude de l'influence de la complexité morphologique.
 - Influence de l'échelle spatiale: identification des facteurs prépondérants et simplification des modèles.
- Établissement de lois de comportement simples d'aide à la conception.**

Remerciements - Avec le soutien de S. Salat (CSTB-LMU), F. Kuznik, G. Rusaouën, J.J. Roux (CETHIL). **Contact** - lucie.merlier@insa-lyon.fr

Bâtiments durables

Laëtitia ARANTES
Julie DAUSSEINS
Pierre-Luc DAVID
Émilie FOUQUE
Endrit HOXHA
Emna SELLAMI-KAANICHE
Natalia KOTELNIKOVA-WEILER
Matthieu LABAT
Maria-Octavia LUPSEA
Johann MIRANDA FUENTES
Antoine LEFORT
Khaoula MAHMOUD
Tristan SALQUE
Fabien TALBOURDET
Mathieu THOREL
Chen WANG

Du bâtiment à la ville : l'intégration des données énergétiques dans la conception architecturale située

Laëtitia Arantes

Fin de thèse prévue en octobre 2012

OBJECTIFS

Recherche pluridisciplinaire sur la densification verticale de la ville

1. Contexte politique et réglementaire

> Un double constat

- Des enjeux urbains multiples :
 - Mixité urbaine et sociale
 - Accès aux services urbains
 - Maîtrise des coûts
 - Qualité environnementale
- Une politique :
 - La ville dense et compacte
 - « Refaire la ville sur la ville »
 - « Densifier la ville »

> Une tendance

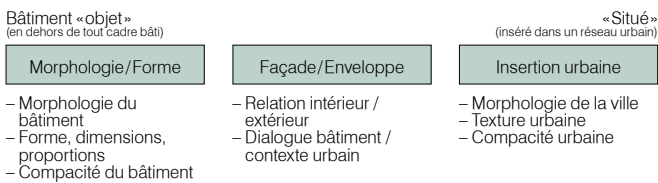
La construction de tours (Paquot Thierry, *La Folie des hauteurs*, Bourin Éditeur, Paris, 2007).

> Deux interrogations :

- Quel devenir morphologique de la ville ?
- Densité et compacité sont-elles des vecteurs de durabilité ?

> Un objet, trois composantes :

La tour comme élément de densification verticale de la ville



> 2 hypothèses

- Les nanotours et la réhabilitation de tours : des pistes plausibles d'habitat en milieu urbain dense.
- Le concept *Core-Skin-Shell* : une rationalisation de la conception de l'enveloppe qui propose de décomposer le bâtiment en trois couches.



ÉTAT D'AVANCEMENT

> Densification verticale de la ville

| | | |
|---|--|--|
| <p>A</p> <p>Travail préalable PFE Recherche</p> | <p>A1. La tour comme forme urbaine «intense»</p> <ul style="list-style-type: none"> - Qualités d'usages - Performances | <p>A2. Composition urbaine</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intégration - Respect du gabarit urbain |
| <p>B</p> <p>Travail de thèse</p> | <p>Entrée architecturale</p> <p>a. Analyse et comparaison de projets de tours.</p> <p>b. Mise en évidence de critères d'«intensité».</p> | <p>Entrée architecturale</p> <p>a. Analyse et comparaison de projets de tours.</p> <p>b. Mise en évidence de critères d'«urbanité».</p> |
| <p>« Densification »</p> <p>Dents creuses et friches</p> <p>DENSITÉ</p> | <p>« Verticale »</p> <p>Tour</p> <p>TYPOLOGIE / FORME URBAINE</p> | <p>« Ville »</p> <p>Intégration dans un tissu : cadre bâti / réseau de transports</p> <p>INSERTION</p> |
| <p>B2. Morphologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forme / compacité - Taille / dimensions (L, p, H) <p>Entrée architecturale</p> <p>a. Densité : état de l'art (dualité d'approches : mesures quantitatives / perceptions subjectives).</p> <p>Entrée technique</p> <p>b. Morphologie de l'enveloppe, énergie et optimisation : état de l'art.</p> <p>c. Le bâtiment « objet » : modèle paramétrique du bilan des flux induits par la construction et l'exploitation du bâtiment.</p> | <p>B1. Enveloppe / façade</p> <ul style="list-style-type: none"> - Épaisseur / profondeur - Espace(s) ⇒ CORE-SKIN-SHELL <p>Entrée architecturale</p> <p>a. La façade : étude historique et documentaire.</p> <p>b. Différents types de façades : liste non exhaustive de concepts.</p> <p>c. Enquête sur la notion d'espace : entretien avec des habitants et des architectes.</p> <p>Entrée technique</p> <p>d. L'intérêt spatial et énergétique du concept <i>Core-Skin-Shell</i> : modèle paramétrique.</p> | <p>B3. Morphologie urbaine</p> <ul style="list-style-type: none"> - Morceau de ville * - Dimensions : hauteur / longueur - Configurations / dispositions <p>Entrée architecturale</p> <p>a. Recherche de la ville idéale : état de l'art.</p> <p>Entrée technique</p> <p>b. Ville et énergie : état de l'art.</p> <p>c. Analyse de configurations « traditionnelles » de morceaux de ville (Plan Voisin, Broadacre City, etc.).</p> <p>d. Le bâtiment « situé » : optimisation à l'échelle du morceau de ville* par algorithmes génétiques (premières études).</p> |
| <p>> Une double approche ingénieur / architecte :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrée technique : Analyse scientifique : modèle descriptif du bilan énergétique d'un bâtiment « situé » (intégré dans un cadre bâti) ⇒ optimisation de la conception de la <i>Shell</i>. - Entrée architecturale : Etat des lieux de la densification verticale et du concept <i>Core-Skin-Shell</i>. <p>⇒ Développer un nouveau concept de construction, dans un premier temps appliqué aux tours, mais qui devrait être généralisable à d'autres types de bâtiments.</p> | | |

PRINCIPAUX RÉSULTATS

> **Morphologie du bâtiment « objet » : modèle numérique [B2.c]**
 Dimensionnement paramétrique du bâtiment « optimal » en énergie (toutes énergies confondues) :
 Nombre d'étages $n < 5$ (soit 15 mètres).



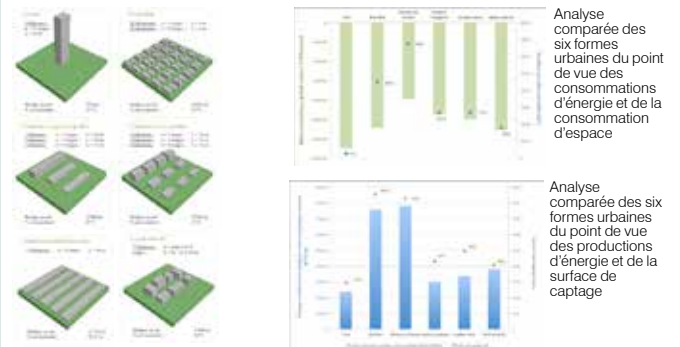
Bilan énergétique (Gains - Consommations) annuels tous postes confondus (kWh/m².an)

Inséré dans un tissu urbain, ce bâtiment « optimal » servira de base au développement d'un quartier ou d'une ville.

> **Analyse de 6 configurations urbaines «archétypales» [B3.c]**

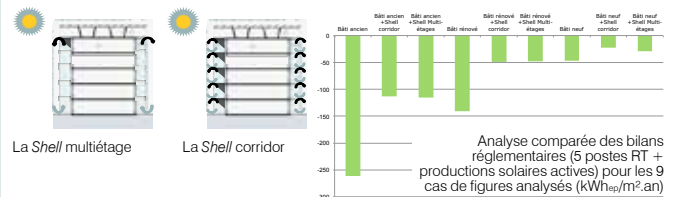
Cette partie propose d'analyser des configurations urbaines «archétypales», qui ont représenté à un moment donné un idéal, en matière de densité, ou encore en matière de qualité de vie.

- Les six formes urbaines étudiées - Résultats



> **Études énergétique et spatiale du concept Core-Skin-Shell [B1.d]**

Analyse comparée de deux typologies de *Shell* (multiétage et corridor) appliquées à trois bâtiments (ancien, rénové et neuf). Les résultats montrent que les deux *Shell* permettent une amélioration des performances réglementaires (apports solaires actifs inclus) de chaque bâtiment. Néanmoins, dans le cas du bâtiment neuf, l'intérêt du concept *Core-Skin-Shell* est à relativiser car il exige une conception high-tech et peu économique du bâtiment.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

> Ce travail de recherche investigate la production architecturale et urbaine au regard de deux enjeux, la performance et la localisation, tout en gardant à l'esprit l'importance des notions inhérentes à l'architecture que sont le confort, l'espace ou encore la qualité de vie. Les résultats escomptés sont :

- proposer un concept d'enveloppe réversible aux déclinaisons multiples pour bâtir des constructions aux qualités énergétiques requises par le contexte actuel, sans brider la liberté et la richesse du vocabulaire architectural,
- initier une démarche sur l'importance de la localisation qui impacte sur les économies par le microclimat, la production d'EnR, et les déplacements induits.

Le modèle simplifié à l'échelle urbaine présente des limites et mérite d'être développé sur deux points : intégrer les déplacements et prendre en compte l'influence du milieu urbain sur les performances. Enfin, la recherche sur le concept *Core-Skin-Shell* doit être poursuivie. Un projet de recherche sur le *Core-Skin-Shell* appliqué au cas précis de la réhabilitation est en cours de rédaction.

En cours : rédaction d'un article sur le modèle à l'échelle du bâtiment (soumis à *Energy and Building*).

Remerciements - Directeur de thèse: Olivier Baverel ; Encadrant CSTB: Daniel Quenard
 Contact - laetitia.arantes@cstb.fr



Durabilité des matériaux innovants à base de polyamide utilisés dans les réseaux d'eau intérieurs

Julie Dausseins

Fin de thèse prévue en janvier 2015

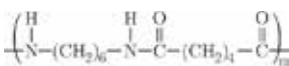
CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

- > **Les réseaux d'eau chaude sanitaire (RECS)**
 - Présence d'un biofilm dans les réseaux (interaction eau/micro-organismes/matériaux).
- > **Nécessité de traitements thermiques et chimiques pour assurer une eau saine aux utilisateurs.**
- > **Quel est l'impact de ces traitements sur les matériaux des RECS ? Influence sur la DURABILITÉ**
 - Une première thèse a été menée avec cette problématique sur du Polyamide 66 (PA66) non chargé et non stabilisé (C.EL MAZRY) : obtention de différents modèles cinétiques sur le matériau vierge.

- > **Quel est le comportement du matériau chargé en milieu agressif ? (désinfectant, T°, P)**

Matériau étudié : Polyamide 66 chargé 30%FV



Exemple : disconnecteurs

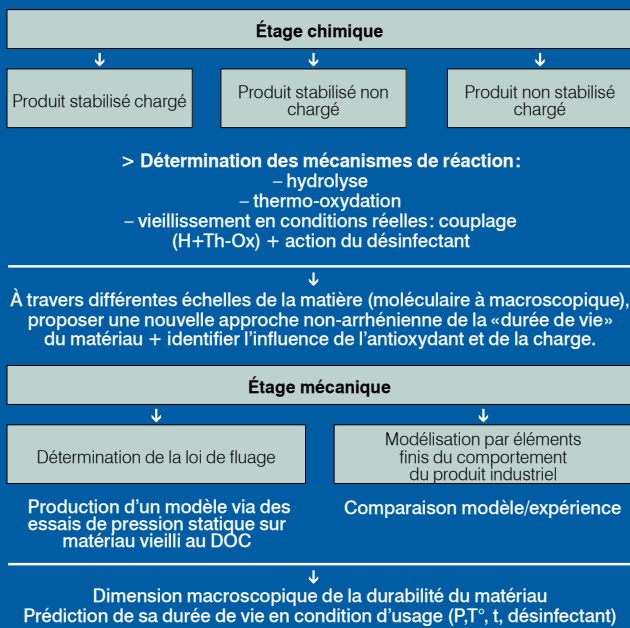


Objectifs

- Elucider les mécanismes de vieillissement d'un PA66 chargé stabilisé dans une eau désinfectée au dioxyde de chlore (DOC) modèles cinétiques d'hydrolyse, de thermo-oxydation et d'attaque radicalaire au dioxyde de chlore (DOC).
- Isoler l'influence du stabilisant et de la charge.
- Proposer un modèle de prédiction de défaillance de la pièce en fonction de la température et de la concentration en DOC.
- Déterminer la loi de fluage du matériau.

Predire le temps de rupture du matériau sous effets combinés de la pression, la température, l'humidité et la concentration en DOC

MÉTHODOLOGIE



ÉTAT D'AVANCEMENT

Moyens de vieillissement

- > **Échantillons : films (100µm) et tuyaux**



Vieillessement thermo-oxydatif



Vieillessement hydrolytique

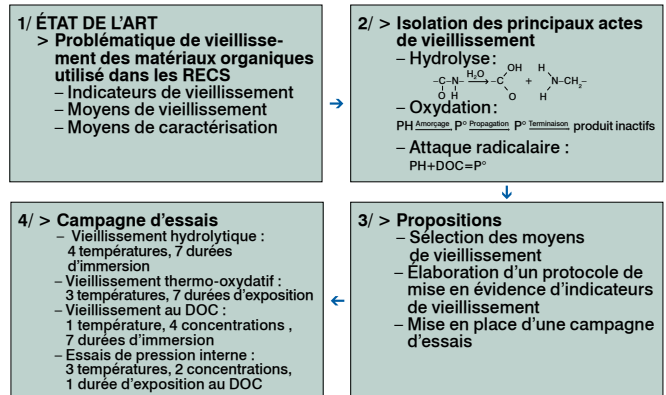


Banc essais de pression interne, CSTB Champs-sur-Marne

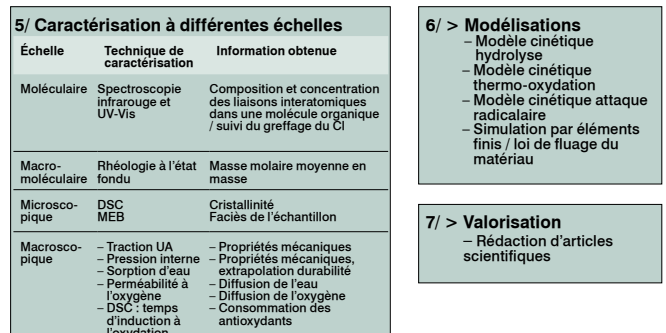
- > **Innovation CSTB Nantes Banc Dioxyde de Chlore**



Étapes du premier semestre de thèse



PERSPECTIVES



Remerciements - Avec le soutien de Olivier Correc et de Xavier Colin
Contact - julie.dausseins@cstb.fr; olivier.correc@cstb.fr



Caractérisation des risques associés à l'utilisation d'eaux grises traitées pour des usages extérieurs

Pierre-Luc David

Fin de thèse prévue en novembre 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

La diminution des ressources d'eau potable, l'augmentation de la population et les objectifs de développement durable (loi Grenelle 2 de l'Environnement de juillet 2010) nécessitent la recherche de solutions alternatives pour préserver la ressource hydrique.

Objectifs

- > Valoriser les eaux grises domestiques (eaux de machine à laver et eaux de salle de bains).
- > Évaluer les risques encourus lors de l'utilisation d'eaux grises traitées.
- > Diminuer l'empreinte environnementale du bâtiment et de sa parcelle.
- > Participer au développement des connaissances liées à la réutilisation d'eaux usées.

ÉTAT D'AVANCEMENT

2010

Bibliographie
Choix du procédé de traitement

- Lit fluidisé avec support de biomasse
- Optimisation de l'hydrodynamique et des conditions opératoires

Qualification des performances

- Choix des eaux grises
- Capacité de traitement
- Production d'eaux grises traitées

2013

Caractérisation des risques

- Irrigation de parcelles engazonnées
- Analyses microbiologiques
- Analyses physicochimiques

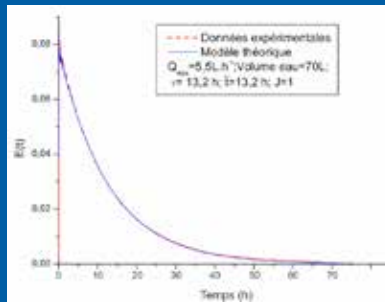
PRINCIPAUX RÉSULTATS

> Méthode d'optimisation d'un réacteur à lit fluidisé.

Photo du réacteur à lit fluidisé

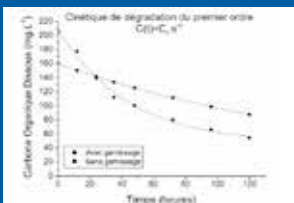


Caractérisation de l'hydrodynamique du réacteur à lit fluidisé et validation du modèle

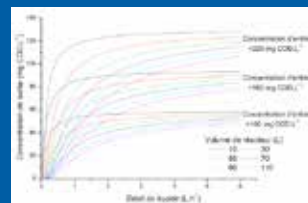


Le réacteur à lit fluidisé se comporte comme un réacteur parfaitement agité (réacteur idéal).

Cinétique de biodégradation du carbone contenu dans les eaux grises



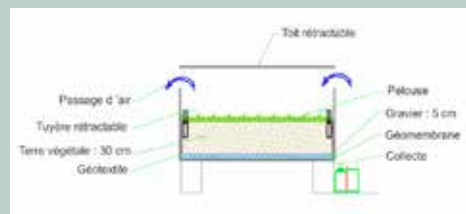
Influence des conditions opératoires sur le traitement des eaux grises



Grâce aux études combinées de biodégradation des eaux grises et de l'hydrodynamique du réacteur, et connaissant les caractéristiques des eaux grises brutes à traiter, ainsi que les objectifs à atteindre en sortie de procédé, il est possible de déterminer la configuration optimale du réacteur à mettre en œuvre pour traiter efficacement les eaux grises.

PERSPECTIVES

> Irrigation de parcelles engazonnées et caractérisation des dangers en lien avec la réutilisation d'eaux grises.



> Irrigation de pelouse par aspersion:

- d'eau potable (pelouse témoin) ;
- d'eaux grises brutes constituées d'un mélange d'eaux de douches (2/3) et d'eaux de lave-linge (1/3) ;
- d'eaux grises traitées produites par le réacteur à lit fluidisé.

> Analyses physico-chimiques et microbiologiques avant aspersion et en sortie de parcelles.

> Observations macroscopiques et analyses ponctuelles des propriétés du sol.

> Étude comparative et caractérisation des dangers liés à l'utilisation d'eaux grises pour l'arrosage d'espaces verts.

Remerciements – Encadrant CSTB : Gaëlle Bulteau, Philippe Humeau ; Encadrant EMN/GEPEA : Claire Gèrente, Yves Andrés (directeur de thèse)
Contact – pierre-luc.david@cstb.fr



Mise en place d'une stratégie innovante de maîtrise des amibes dans les biofilms pour la gestion des risques sanitaires

Étude de l'enkystement et de la résistance d'*Hartmannella*, une amibe libre, aux traitements de désinfection

Émilie Fouque

Fin de thèse prévue en octobre 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Trophozoïte d'*Acanthamoeba*
Vésicule contenant *L. pneumophila*

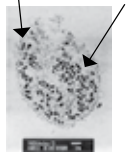


Figure 1 : Trophozoïte d'*Acanthamoeba* infecté par *Legionella pneumophila*.

Les amibes libres (FLA, Free-living amoebae) sont des protozoaires fréquemment rencontrés dans les réseaux d'eau chaude sanitaire (RECS). Elles sont un réservoir de bactéries pathogènes telles que les légionelles. Parmi elles on trouve, *Legionella pneumophila*, l'agent responsable de la légionellose.

> Les FLA :

- assurent la multiplication et la dissémination des légionelles,
- protègent les légionelles des conditions hostiles (traitements de désinfection, environnement),
- augmentent la virulence et la résistance des légionelles.

La maîtrise du risque légionelle passe donc par le contrôle des amibes libres dans les RECS.

Trophozoïte (forme végétative)



Activité métabolique normale

Enkystement

Conditions hostiles

Kyste (forme de résistance)



Activité métabolique réduite

Déenkystement

Conditions favorables

Les FLA sont difficiles à contrôler dans les RECS à cause de leur forme de résistance appelée kyste.

Figure 2 : Trophozoïte (A) et kystes (B) d'*Acanthamoeba* (10 µm).

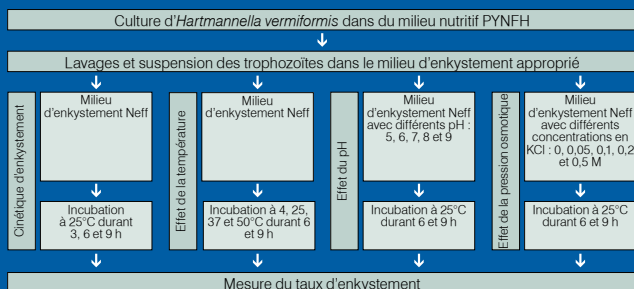
Cette étude se focalise sur les FLA du genre *Hartmannella* qui est fréquemment rencontré dans les RECS. Deux souches ont été sélectionnées : *H. vermiformis* ATCC 50237 (souche de référence), *H. vermiformis* 172A (souche environnementale).

Objectifs

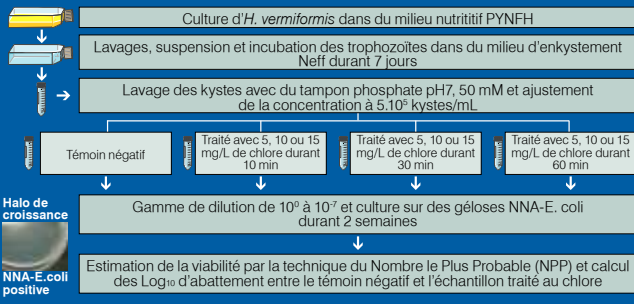
- > Étude de l'effet des conditions environnementales sur l'enkystement d'*Hartmannella* (température, pH, pression osmotique).
- > Étude de la résistance des kystes d'*Hartmannella* aux traitements de désinfection (chlore).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Étude de l'effet des conditions environnementales sur l'enkystement d'*Hartmannella*



Étude de la résistance des kystes d'*Hartmannella* aux traitements chlorés



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Étude de l'effet des conditions environnementales sur l'enkystement d'*Hartmannella*

Taux d'enkystement

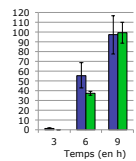


Figure 3 : Cinétique d'enkystement d'*Hartmannella*.

- Chez *Hartmannella* le processus d'enkystement est rapide. Après 9h d'incubation la totalité des cellules est enkystée.
- Pour la suite des expérimentations, le taux d'enkystement est mesuré après 6 et 9 h d'incubation.

Taux d'enkystement

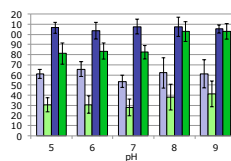


Figure 5 : Enkystement d'*Hartmannella* en fonction du pH (même légende que figure 4).

- Les pH compris entre 5 et 9 n'ont pas d'effet sur l'enkystement de la souche de référence ATCC 50237 d'*H. vermiformis*.
- Les pH neutres et légèrement acides limitent l'enkystement de la souche environnementale 172A d'*H. vermiformis*.

Taux d'enkystement

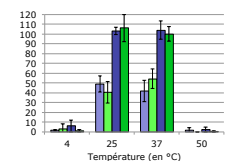


Figure 4 : Enkystement d'*Hartmannella* en fonction de la température.

- À 25 et 37°C les cellules sont totalement enkystées après 9 h d'incubation.
- À 4°C les cellules ne sont pas enkystées, ce qui est vraisemblablement dû à un ralentissement du métabolisme.
- À 50°C les cellules sont endommagées.

Taux d'enkystement

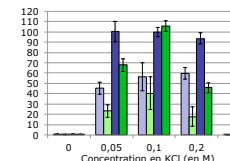


Figure 6 : Enkystement d'*Hartmannella* en fonction de la pression osmotique (même légende que figure 4).

- À 0 M en KCl la pression osmotique est trop faible, les cellules sont turgescentes.
- À 0,5 M en KCl la pression osmotique est trop forte, les cellules sont plasmolysées.
- La souche environnementale 172A semble plus sensible à la pression osmotique que la souche de référence ATCC 50237.

Étude de l'effet des conditions environnementales sur l'enkystement d'*Hartmannella*

Log10 d'abattement

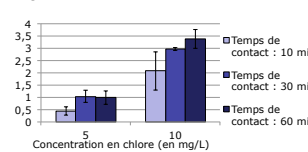


Figure 7 : Résistance des kystes d'*Hartmannella vermiformis* ATCC 50237 aux traitements chlorés.

- À 15 mg/L de chlore pour des temps de contact de 10, 30 et 60 min les kystes sont totalement inactivés.

> Discussion

- Ces kystes sont plus résistants au chlore que ceux de *Naegleria*, un autre genre de FLA. Les kystes de *N. fowleri* et *N. gruberi* sont inactivés par une exposition à 0,5 mg/L de chlore pendant respectivement 1 h et 3 h (De Jonckheere et Van de Voorde, 1976).
- Ils sont cependant plus sensibles au chlore que ceux d'*Acanthamoeba*, un autre genre de FLA. Les kystes d'*A. culbertsoni* et d'*A. polyphaga* résistent à une exposition au chlore de respectivement 40 mg/L pendant 3 h (De Jonckheere et Van de Voorde, 1976) et 50 mg/L pendant 18 h (Kilvington et Price, 1990).

PERSPECTIVES

- > Les conditions environnementales ont un effet sur l'enkystement d'*Hartmannella*. Il existe des différences de sensibilité entre les souches testées.
- > L'effet d'autres conditions sur l'enkystement, comme la concentration cellulaire, va être évalué.
- > Des inhibiteurs (cytosquelette...) susceptibles de bloquer l'enkystement d'*Hartmannella* vont être testés.
- > Les kystes d'*H. vermiformis* ATCC 50237 sont relativement résistants aux traitements chlorés. L'évaluation de la résistance des kystes d'autres souches d'*Hartmannella* est actuellement en cours.
- > La résistance des trophozoïtes d'*Hartmannella* aux traitements chlorés va être évaluée.
- > La résistance des kystes d'*Hartmannella* à d'autres traitements de désinfection fréquemment utilisés dans les RECS comme les chocs thermiques ou l'acide peracétique couplé au peroxyde d'hydrogène va être testée.

Dans le futur, ce travail pourra être utilisé pour développer une stratégie innovante pour le contrôle des FLA dans les RECS.

Remerciements - Avec le soutien de M.-C. Trouilhé, P. Humeau, P. Hartemann et Y. Hécharé
Contact - emilie.fouque@cstb.fr



Amélioration de la fiabilité de l'évaluation des performances environnementales des bâtiments

Endrit Hoxha

Fin de thèse prévue en novembre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

- L'évaluation des performances environnementales des bâtiments est basée sur des analyses de cycle de vie (ACV).
- Les premières communications sur des résultats comparatifs de bâtiments mettent en lumière des problèmes liés aux incertitudes sur les calculs d'ACV et sur la robustesse des résultats.
- Peu de travaux soulevant ces questions d'incertitudes et de robustesse des modèles ont été réalisés. Ils ont consisté à identifier les nombreuses sources de variabilité des résultats, dont la variabilité des entrées du modèle ACV. Un besoin de typologie et de hiérarchisation de ces sources de variabilité est nécessaire pour améliorer la robustesse des modèles.

Objectifs

- Étudier la sensibilité et la robustesse des modèles d'ACV de bâtiments.
- Cartographier les paramètres sensibles de l'ACV bâtiment.
- Proposer une méthodologie pour l'identification des paramètres clés qui modifient profondément le résultat et diminuent ainsi la robustesse du résultat.
- Implémenter les résultats dans ELODIE afin de transformer l'outil en un véritable outil d'aide à la décision.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Analyse de sensibilité des paramètres d'entrée

> Équation du calcul des impacts environnementaux :

$$I_k = \sum_{i=1}^n I_{k,i} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{LB}{LM_i} + 1 \right] \times k_i \times m_i \quad \text{si } \frac{LB}{LM} \in R-N$$

$$I_k = \sum_{i=1}^n \left[\frac{LB}{LM_i} \right] \times k_i \times m_i \quad \text{si } \frac{LB}{LM} \in N$$

Équation 4

I : impacts environnementaux.
N : nombre d'utilisation d'un matériau ou élément.
K : coefficient d'impact.
M : quantité du matériau.
LB : durée de vie du bâtiment.
LM : durée de vie du matériau.

> Application de l'équation (2) d'analyse de sensibilité dans la relation (4) = coefficients de sensibilité U selon les 3 paramètres :

$$U_k(k) = \left[\frac{\partial I}{\partial k} \right] \times \frac{k^0}{I^0} = \frac{m^0 \cdot n^0 \cdot k^0}{I^0}$$

$$U_k(m) = \left[\frac{\partial I}{\partial m} \right] \times \frac{m^0}{I^0} = \frac{m^0 \cdot n^0 \cdot k^0}{I^0} \Rightarrow U_k(k) = U_k(m) = U_k(n)$$

$$U_k(n) = \left[\frac{\partial I}{\partial n} \right] \times \frac{n^0}{I^0} = \frac{m^0 \cdot n^0 \cdot k^0}{I^0}$$

Équation 5

2. Analyse des contributions des paramètres d'entrée sur le résultat

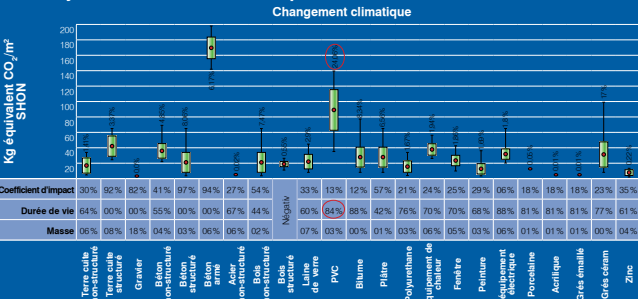
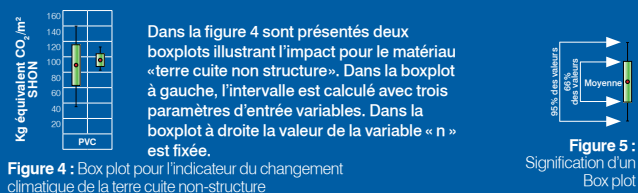


Figure 3 : La variabilité des résultats et le pourcentage de l'influence de chaque input sur l'output.



ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

- > Analyse du cycle de vie
- > Analyse de sensibilité

Éléments méthodologiques

1. Analyse du cycle de vie des bâtiments



Figure 1 : Box plot pour l'indicateur du changement climatique de la terre cuite non-structure.

- Dans la première partie de la thèse, nous nous sommes intéressés seulement à la contribution du module composants (matériaux et produits de la figure 1).

Dans notre modèle, les impacts environnementaux sont fonction de 3 paramètres :

$$I_k = f(n, k, m) \quad (1)$$

I : impacts environnementaux.

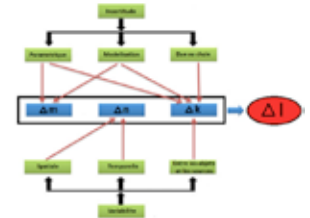
N : nombre d'utilisation d'un matériau ou élément.

K : coefficient d'impact.

M : quantité du matériau.

2. Incertitudes et variabilités liées aux entrées

Le calcul de l'ACV bâtiment traduit les incertitudes dues au modèle de calcul, aux données utilisées, au niveau de pratique de l'utilisateur.



Notre étude est focalisée uniquement sur les incertitudes dues aux données d'entrée selon différentes sources.

Figure 2 : Schéma représentatif des différentes sources d'incertitude et de variabilité liées aux données d'entrée.

3. Analyse de sensibilité et des incertitudes

Équation de l'analyse de sensibilité | Équation de l'analyse des incertitudes

$$U_k(n, k, m) = \left[\frac{\partial I}{\partial (n, k, m)} \right]_{n, k, m} \times \frac{(\mu_n, \mu_k, \mu_m)}{\mu_I} \quad (2) \quad \sigma_I = \sigma_{n, k, m} \times \frac{\partial I(\mu_{n, k, m})}{\partial \mu_{n, k, m}} \quad (3)$$

μ est la moyenne et σ est l'écart type

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

1. Analyse de contribution des paramètres d'entrée sur les résultats

- > L'analyse de sensibilité montre que les trois paramètres n, m et k ont la même influence potentielle sur le résultat de l'indicateur.
 - > L'analyse des incertitudes permet d'identifier lesquels de ces paramètres impactent le plus le résultat de l'indicateur pour chacun des composants et donc permet de cibler les efforts de précision.
- La méthodologie développée est une approche générale, utilisée à l'échelle matériau/produit et ne dépend pas de la typologie de l'ouvrage.

2. Utilisation dans ELODIE

- > Implémenter cette méthode et la coupler avec des exigences de qualité des données dans le logiciel ELODIE.

Remerciements - Avec le soutien de: R. Leroy, Navier (Université Paris-Est, ENPC, IFSTTAR, CNRS), J. Chevalier, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, G. Habert Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zürich), D-BAUG, Switzerland

Contact - endrit.hoxha@cstb.fr



Modélisation des flux de contaminants émis par les toitures à l'échelle urbaine

Emna Sellami-Kaaniche

Fin de thèse prévue en septembre 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

- Rejets urbains en temps de pluie (RUTP) = principale source de pollution du milieu récepteur.
- Les toitures = contribution significative aux RUTP.

> Travaux OPUR (Observatoire des Polluants URbains en Ile-de-France)

1. Forte contribution des eaux de toitures à la contamination métallique des eaux de ruissellement (Gromaire, 1998).
2. Étude des processus d'émission de l'échelle expérimentale jusqu'à l'échelle du toit :



- Robert-Sainte, 2009 ⇒ métaux.

- Van de Voorde, en cours ⇒ molécules organiques et liées aux pratiques d'entretien des toitures.

3. Ma thèse → Passage à l'échelle urbaine.

Problématique

Comment extrapoler les résultats des émissions des contaminants des toitures obtenus à petites échelles spatiales à l'échelle urbaine ?

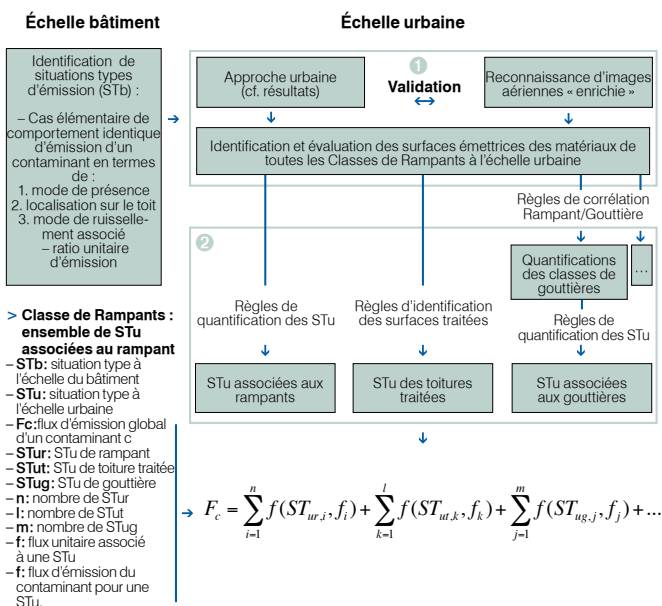


Objectifs

- > Contribuer à l'élaboration d'une méthodologie générale de modélisation des flux de contaminants issus des ruissellements des toitures à l'échelle urbaine.
- > Valider les méthodes élaborées dans certains cas de figure en identifiant des données utilisables et en croisant des outils existants.

ÉTAT D'AVANCEMENT

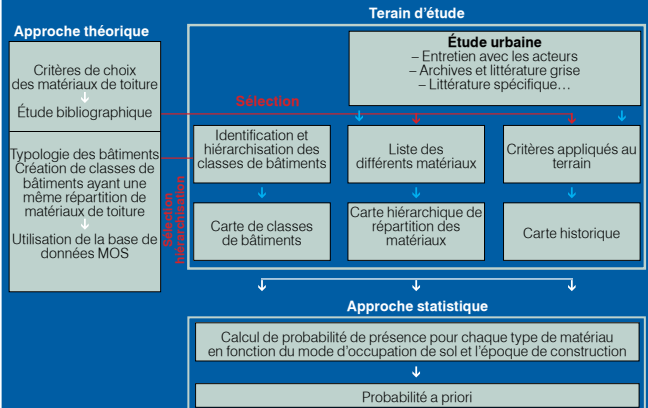
Méthodologie générale



Remerciements - Directeur de thèse (LEESU) : Ghassan Chebbo; Codirecteur (CSTB) : Bernard de Gouvello; Encadrant LEESU : Marie-Christine Gromaire
Contact - emna.sellami@leesu.enpc.fr, bernard.degouvello@leesu.enpc.fr

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Définition d'une méthodologie d'identification et quantification des matériaux de rampants à l'échelle urbaine basées sur une approche urbaine.



2. Application à la ville de Créteil.

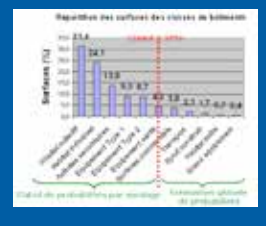
> Carte répartition



> Carte historique

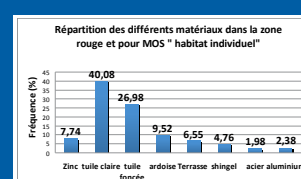


> Mode d'occupation du sol (MODS) principe de cumul

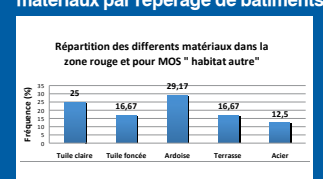


> Pour chaque zone urbaine et pour chaque MOS, on calcule la fréquence de présence des différents matériaux de rampants (2 exemples).

Approche statistique par sondage



Estimations de surfaces de matériaux par repérage de bâtiments



PERSPECTIVES

1. Calcul des différentes probabilités par l'approche statistique
2. Application de la classification automatique et comparer ses résultats avec celles de l'approche urbaine
3. Développer d'autres méthodes pour quantifier les autres parties du toit (gouttière, éléments singuliers) et l'émission des toitures traitées

Communications - Sellami-Kaaniche E., de Gouvello B., Le Bris A., Gromaire M.C., Chebbo G. (2012) *Modelling the Zn emissions from roofing materials at Créteil city scale* - Defining a methodology. In: 12th edition of the World Wide Workshop for Young Environmental Scientists (WWW-YES-2012) - Urban waters: resource or risks?, Arcueil (France).
 - Sellami-Kaaniche E., de Gouvello B., Gromaire M.C., Chebbo G. (16-17 octobre 2012) *Critères de choix des matériaux de couverture dans une ville, Cas de la ville de Créteil*. In : 5^{ème} Journées Doctorants en Hydrologie Urbaine Strasbourg (France).



Optimisation mécanique et énergétique d'enveloppes en matériaux composites pour les bâtiments

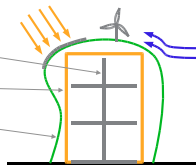
Natalia Kotelnikova-Weiler

Fin de thèse prévue en septembre 2012

PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

> Améliorer le bilan énergétique d'un bâtiment

- Core skin-shell :
- cœur : inertie thermique et élément porteur du bâtiment
- peau : isolation thermique
- coque : captage d'énergie
- Optimiser la coque :
 - quelle géométrie ?
 - quelle répartition des panneaux-captateurs ?



> Structure de la coque

- Gridshell : coque en grille de poutres.
- Matériau : matériaux composites à fibres de verre et matrice polymère.
- Le matériau est chargé en flexion de manière permanente :
 - déformations différées : fluage ;
 - rupture différée du matériau ;
 - quelle durée de vie de la structure ?



Gridshell pour la structure du Forum Solidays, conçu au Laboratoire Navier.

MORPHOGÉNÈSE DE L'ENVELOPPE

> Principe *

- Triangulation de l'enveloppe (facettes)

- Algorithme génétique :
 - paramètres d'optimisation (gènes) = Nature + Position des triangles ;
 - un individu = une enveloppe ;
 - population initiale aléatoire ;
 - évaluation des individus, but : maximiser la fonction-objectif (ici la quantité d'énergie produite par les panneaux divisée par la surface de l'enveloppe) ;
 - nouvelle génération à partir des meilleurs individus.



Figure 1 : Architecture générale du logiciel d'optimisation.

> Fonction-objectif

- Contraintes géométriques : volume interne, volume externe, ouvertures existantes.
- Environnement : course du soleil, variation journalière et saisonnière de l'énergie reçue, obstacles proches et lointains.
- Évaluer l'énergie reçue par les facettes : apports diffus, apports directs, apports réfléchis.
- Convertir en énergie produite : rendement des panneaux.

> Exemples d'optimisations

- Les panneaux en bleu captent uniquement le rayonnement direct.
- Les panneaux en jaune-orangé uniquement le diffus et le réfléchi.
- Les panneaux gris ne captent rien.



Figure 2 : Optimisation de l'enveloppe à Tunis (gauche) et à Oslo (droite) sur toute l'année.



Figure 3 : Optimisation de l'enveloppe à Paris pour les mois de l'été (gauche) et d'hiver (droite).

* Nous remercions l'institut Jean le Rond d'Alembert, en particulier Paolo Vanucci et son équipe de nous avoir permis d'utiliser le logiciel BIANCA.

Remerciements – Directeur de thèse: Jean-François Caron (UR Navier), Codirecteur de thèse: Olivier Bavere Encadrant CSTB: Daniel Quenard, Ingénieur ADEME: Samira Kherrouf, avec le soutien de l'ADEME
Contact – natalia.kotelnikova@enpc.fr, daniel.quenard@cstb.fr, caron@enpc.fr

DURABILITÉ DES COMPOSITES

Objectifs

> Déterminer l'influence des propriétés des constituants du matériau sur la rupture différée du composite.

Méthode

> Modélisation de la rupture du matériau :

- apparition de ruptures de fibres dans le matériau dès l'application de la charge (cf. figure 4) ;
- évolution des propriétés de la matrice conduisant à la rupture différée de nouvelles fibres et à la propagation de la décohésion fibres-matrice (cf. figure 5) ;
- formation de fissures traversant le matériau (cf. figure 6) ;
- ruine du matériau global (cf. figure 7) et (cf. figure 8).

> On s'intéresse à la partie (cf. figure 4)-(cf. figure 6), pour laquelle on réalise un modèle de type shear-lag (fibres élastiques 1D, matrice travaillant uniquement en cisaillement). Ce modèle inclut une distribution stochastique des résistances des fibres et une matrice viscoélastique. Le chargement peut être en traction pure ou en traction-cisaillement combinés.

> Simulation de la propagation de l'endommagement du matériau dans le temps : suivi du nombre de ruptures de fibres et baisse du module apparent dans le temps (cf. figure 9).

Résultats

> Observation de la progression de l'endommagement (cf. figure 4) à (cf. figure 6).
 > Détection de l'effondrement du module apparent (cf. figure 9).

Figure 4 : Dès l'application du chargement, des ruptures et zones de décohésion apparaissent. **Gauche**: champ de contraintes axiales normalisées dans les fibres. **Droite**: zones de ruptures de fibres (noir) et de décohésion (rouge).

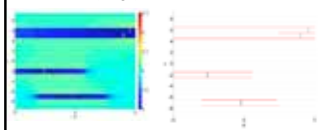


Figure 5 : Avec la relaxation de la matrice, la décohésion se propage et des nouvelles ruptures de fibres apparaissent.

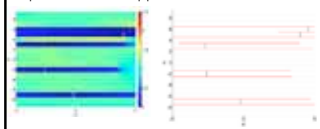


Figure 6 : Des macro-défauts se forment dans l'échantillon, signalant la rupture. Les fibres sont déchargées, elles ne supportent plus le chargement imposé.

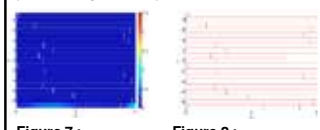


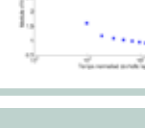
Figure 7 : Rupture progressive en flexion.



Figure 8 : Rupture brutale en flexion-torsion.



Figure 9 : Diminution du module apparent au cours du temps due au fluage et à l'endommagement.



PERSPECTIVES

> Optimiser l'enveloppe

- Étude de l'influence de l'environnement immédiat (construction de nouveaux bâtiments autour du bâtiment étudié) sur les performances et la modification de l'enveloppe optimisée.

> Prévoir la rupture différée

- Monte-Carlo : quelle distribution probabiliste des durées de vie du composite pour un chargement donné ?
- Étude paramétrique : quelle influence des différents jeux de paramètres sur cette distribution ?

Communications

S. Barboura, N. Kotelnikova, J-F Caron, O. Baverel, Long-term behaviour of glass-resin pultruded composites for structural application in construction, 14th European conference on composite materials, 7-10 juin 2010, Budapest, Hongrie
 S. Barboura, N. Kotelnikova, J-F Caron, Comportement à long terme des profils pultrudés à fibre de verre et différentes résines pour des applications structurelles dans la construction: modélisation et étude expérimentale, Matériaux 2010, 16-22 octobre 2010, Nantes, France
 N. Kotelnikova-Weiler, S. Barboura, J-F. Caron, Modélisation et étude expérimentale de la rupture différée de composites pultrudés UD sous chargements permanents, JNC17, 15-17 juin 2011, Poitiers, France
 S. Barboura, N. Kotelnikova-Weiler, J-F. Caron, O. Baverel, Experimental study of the influence of matrix system on pultruded GFRP composites' creep behaviour under flexural loading, CDCC2011, The Fourth International Conference on Durability & Sustainability of Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Construction, 20-22 juillet 2011, Quebec City, Quebec
 N. Kotelnikova-Weiler, J-F. Caron, Phenomenological and experimental study of pultruded UD FRP composites static and deferred rupture under combined flexural, compressive and torsion loading, CDCC2011, The Fourth International Conference on Durability & Sustainability of Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Construction, 20-22 juillet 2011, Quebec City, Quebec
 N. Kotelnikova-Weiler, J-F. Caron, Cinétique de ruptures de fibres dans un matériau composite UD avec une matrice viscoélastique soumise à la traction, Journées Scientifique et Technique Essais non destructifs et durée de vie des composites, AMAC-COFREND, 27-28 octobre 2011, Lyon, France
 N. Kotelnikova-Weiler, J-F. Caron, Kinetic of fiber ruptures in a unidirectional composite with a viscoelastic matrix, The 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, 13-15 juin 2012, Rome, Italie
 N. Kotelnikova-Weiler, J-F. Caron, Phenomenological and experimental study and modelling of UD FRP composites' creep rupture under pure and combined loadings., 15th European Conference on Composite Materials, 24-28 juin 2012, Venise, Italie
 N. Kotelnikova-Weiler, O. Baverel, Jean-François Caron, Genetic algorithms in use to optimise buildings envelope for solar refurbishment, 7th ENERGY FORUM on Solar Building Skins, Bressanone, Italy, 06-07 December 2012.



Chaleur-humidité-air dans les maisons à ossature bois

Matthieu Labat^{1,2}, Amandine Piot^{1,3}, Géraldine Garnier¹, Daniel Quenard¹, Monika Woloszyn², Jean-Jacques Roux²

Fin de thèse prévue en novembre 2012

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

- Poursuite des travaux d'Amandine Piot, thèse CSTB (2009).
- Essor récent de la construction à ossature bois en France.
- Nouvelles problématiques liées aux transferts d'humidité.
- Pas (ou très peu) d'expérimentations à l'échelle du bâtiment tout entier.



Objectif principal

Validation d'un modèle de transferts couplés « Chaleur-air-humidité » (environnement Matlab – Simulink)

Démarche

- Nombreux transferts couplés et simultanés.
- Phénomène de compensation d'erreurs.
- Identification des lacunes au niveau de la modélisation.

↓ Décomposition des étapes de validation

1. Transferts 1D chaleur / humidité dans les parois isolées.
2. Transferts 2D chaleur / air dans une lame d'air ventilée.
3. Renouvellement d'air en conditions naturelles.
4. Simulation de l'ensemble des transferts et réalisation de bilans globaux. Pour chacun des quatre axes, la méthode de validation est similaire :
 - caractérisation expérimentale des phénomènes;
 - développement de l'outil de modélisation;
 - identification des paramètres de modélisation.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Validité de la démarche mise en œuvre

- Démarche très générale, en principe adaptable à d'autres études.
- Validation des hypothèses simplificatrices de simulation.
- Mise en évidence expérimentale et numérique du fort couplage des transferts.
- Précision satisfaisante pour des simulations à l'échelle du bâtiment.

Pistes d'amélioration

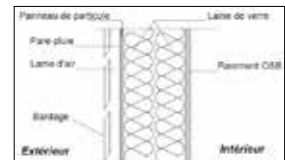
- Caractérisations supplémentaires, liées aux spécificités du bâtiment étudié.
- Étude des éléments de parois en conditions contrôlées afin d'identifier quelles propriétés il est nécessaire de caractériser avec plus de précision.
- Ajout d'un module permettant la prise en compte des « ponts thermiques ».

➔ **Vers quelle utilisation de l'outil ?**
Prévisions des consommations
Étude du confort thermique / hygrique
Impact des constituants de la paroi
Proposition de modes de construction durables

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Transferts dans les parois

- 6 configurations de parois différentes.
- Instrumentation des parois.
- Expérimentations sur plus de 5 ans.



> Phénomène observés

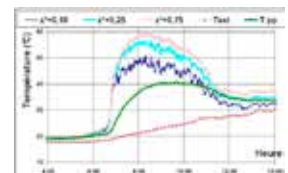
- Dégagement de chaleur latente dans l'isolant dû à l'adsorption de vapeur.
- Forts transferts de vapeur sous l'influence du rayonnement solaire.

VALIDATION

Comportement global correctement représenté (CL imposées).
Pas de dérive du modèle sur des séquences de plusieurs semaines.
Caractérisation à approfondir pour quelques cas ciblés.

Bardage ventilé

- Nombreuses caractérisations (CFD, thermographie, mesures in-situ).
- Mise en évidence du comportement fortement 2D, notamment sous l'effet du rayonnement solaire.



> Intégration des résultats

- Modélisation de type 1D1/2.
- Développement d'une corrélation semi-empirique.

VALIDATION

Précision de 8 % sur le flux de chaleur qui traverse la paroi isolée.
Étude à affiner pour mieux prendre en compte l'influence du vent.

Renouvellement d'air

- Conditions de pression non contrôlées.
- Ajout et développement d'un modèle en pression adapté.

> Identification des paramètres

- Caractérisation de la perméabilité
- Mesures en conditions réelles par gaz traceurs (méthode de décroissance – CO₂)



VALIDATION

Précision de 23 % sur le débit d'air.
Forte sensibilité au vent, difficile à estimer à partir de la littérature.

Simulation globale

> Validation à partir de mesures locales de température et d'humidité

- Comportement moyen correctement reproduit.
- Des écarts ponctuels peuvent apparaître mais le modèle ne dérive pas.

> Bilans de chaleur et de vapeur

- Précision moyenne sur le flux déperditif des parois verticales : 3 %.
- Estimations correctes du niveau d'humidité de l'air intérieur.

> Influence des composants de l'enveloppe

Impact hygrique du pare-vapeur et des matériaux hygroscopiques (fibre de bois, ouate de cellulose, OSB...) mis en évidence par l'expérience et quantifiable grâce à l'outil.

¹ CSTB - 24 rue Joseph Fourier, 38400 Saint-Martin-d'Hères

² CETHIL, Université de Lyon, CNRS, INSA-Lyon, 69621 Villeurbanne

³ Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley, Germany

Contribution à l'évaluation de l'impact environnemental du bâtiment à l'échelle locale : méthodes numériques pour l'évaluation des émissions dans l'eau

Maria-Octavia Lupsea, Nicoleta Schiopu*, Ligia Tiruta-Barna**

Fin de thèse prévue en janvier 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Les émissions dans l'eau des produits dues aux phénomènes de lixiviation pendant la vie en œuvre sont peu ou pas prises en compte actuellement dans l'ACV. Cependant, pour certaines substances elles peuvent représenter jusqu'à 90% des émissions totales du cycle de vie des produits.



> Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires (FDES).

| Impact environnemental | Production | Mise en œuvre | Vie en œuvre | Fin de vie |
|--|------------|---------------|--------------|------------|
| Épuisement des ressources | | | | |
| Changement climatique | | | | |
| Emissions dans l'eau pendant la vie en œuvre : soit : sous-estimation (0 émission) soit : sur-estimation, (100% du contenu total) | | | | |
| Pollution de l'air | | | | |
| Pollution de l'eau | | | | |

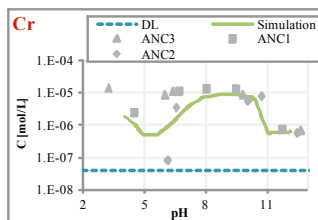
Objectifs

- Estimation des émissions dans l'eau des produits de construction en conditions naturelles d'exposition à partir des résultats expérimentaux obtenus en conditions contrôlées (essais de lixiviation), par méthodes numériques d'évaluation.
- Agrégation des émissions des produits à l'échelle de l'ouvrage et développement d'une méthodologie d'évaluation environnementale du cadre bâti à l'échelle locale.

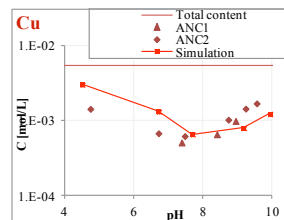
PRINCIPAUX RÉSULTATS

> Analyse du comportement à la lixiviation et étude numérique sur 3 typologies de produits (bois traité, plaque fibro-ciment et membrane bitumineuse)

Simulation du relargage des substances dangereuses réglementées (SDR)**

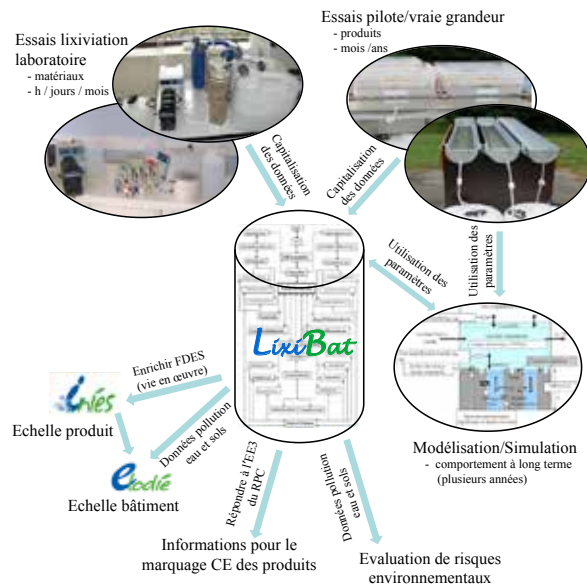


Plaque fibro-ciment



Bois traité CBA

> Construction de la base de données LixiBat



> Développement d'une méthodologie pour le couplage des données de lixiviation et des données d'ACV

Intégration des données de lixiviation dans le ICV (Inventaire de cycle de vie)

| Expertise | Surestimation |
|-----------|--|
| | <ol style="list-style-type: none"> 1. Le contenu total du produit est relargué pendant la vie en œuvre. 2. Données de lixiviation des essais statiques (48h, agressive, mg/kg). 3. Données de lixiviation des essais dynamiques (64 jours, mg/m³). |
| | Sous-estimation |
| | <ol style="list-style-type: none"> 4. Données de lixiviation des essais à l'échelle pilote en conditions naturelles (e.g. 1 année). 5. Simulation du comportement à la lixiviation à l'échelle pilote (e.g. 1 année). |
| | Solution optimale |
| | <ol style="list-style-type: none"> 6. Simulation du comportement à la lixiviation sur toute la durée de vie (e.g. 30 années). |

Liste des publications:

- Lupsea, M., Mathies, H., Schoknecht, U., Tiruta-Barna, L., Schiopu, N., *Biocide leaching from CBA treated wood—a mechanistic interpretation*, soumis à la revue Science of the Total Environment;
- Lupsea, M., Schiopu, N., Tiruta-Barna, L., *LCA data consolidation on water pollution indicator, International Symposium « LCA & Construction »*, 10 – 12 Juillet 2012, Nantes;
- Lupsea, M., Mathies, H., Schoknecht, U., Tiruta-Barna, L., Schiopu, N., *Leaching from new generation treated wood: a chemical approach, Env Impact*, 2 – 4 juillet 2012, New Forest;
- Lupsea, M., Schiopu, N., Tiruta-Barna, L., *Leaching behaviour of building products: experimental and numerical approach*, WASCON, 30 mai – 1 juin 2012, Gothenburg
- Lupsea, M., Schiopu, N., Laurent, N., Tiruta-Barna, L., *LixiBat – A Database for the Leaching Characteristics of the Building Products, World Sust Building*, 18 – 21 octobre 2011, Helsinki.

* CSTB/ESE - environnement.

** Laboratoire LISBP/INSA Toulouse.

*** Selon la liste SDR associées aux produits de construction et listées en tant que polluants principaux dans la Directive 2000/60/EC.
EC – DS 041/051 rev.10. Indicative list of regulated dangerous substances possibly associated with construction products under the CPD, 2011, 29p.

Remerciements – Dr Ute Schoknecht et à toute l'équipe de l'Institute BAM, DAAD – Office allemand d'échange universitaire
Contact – maria.lupsea@cstb.fr, nicoleta.schiopu@cstb.fr



Étude numérique du changement de phase avec convection naturelle

Johann Miranda Fuentes

Fin de thèse prévue en mars 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

- Le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire est le premier consommateur d'énergie en France. Ainsi, en 2010, il représentait 44% de l'énergie finale consommée (source SOeS).
- L'utilisation des énergies fossiles pour la production d'énergie entraîne l'émission des gaz à effet de serre (GES). Le gaz utilisé pour le chauffage fait que le secteur du bâtiment est responsable également des émissions de GES. En 2010, 24% du total des émissions de CO₂ étaient produites par le résidentiel et tertiaire en France (source Citepa).
- Comme alternative aux énergies fossiles, l'énergie solaire suscite un grand intérêt. Cependant, elle est intermittente d'où la nécessité de stocker de la chaleur.
- Matériaux à changement de phase (MCP). Leur principe est l'absorption/restitution de l'énergie lors du changement d'état. Avec l'avantage d'une grande densité d'énergie emmagasinée à température ou plage de température connue.
- Le stockage de la chaleur dans les parois des bâtiments permet d'amortir les fluctuations thermiques extérieures et ainsi de réduire la demande de chauffage.
- En outre, pour profiter de l'éclairage naturel, un matériau translucide serait idéal.
- Le projet ANR INERTRANS a alors proposé une paroi translucide avec briques en verre remplies d'un MCP. Ce MCP est transparent à l'état liquide et presque opaque à l'état solide.

Objectifs

- Modélisation fine d'un bloc de MCP.
- Transferts couplés conduction-convection-rayonnement.
- Comparaison aux résultats expérimentaux.
- Modèle simplifié à partir des conclusions tirées du modèle fin.

ÉTAT D'AVANCEMENT

Modèle fusion avec convection naturelle (opérationnel)

- > **Écoulement par la méthode de Boltzmann sur réseau**
- La méthode de Boltzmann sur réseau (Lattice Boltzmann, LB) est une approche mésoscopique en mécanique des fluides.
- L'évolution du fluide est décrite par l'équation de LB :

$$f_i(\vec{x} + \vec{e}_i, t + \Delta t) - f_i(\vec{x}, t) = \Omega_i$$

- Cette équation est dérivée de l'équation de Boltzmann qui décrit l'évolution et l'interaction des particules composant un fluide.
- L'équation de LB utilise alors une discrétisation des vitesses, de l'espace et du temps.
- La collision Ω est considérée comme une relaxation vers un état d'équilibre.
- La masse volumique, et la vitesse sont obtenues par :

$$\rho = \sum_i f_i \quad \rho \vec{u} = \sum_i f_i \vec{e}_i$$

> Équation d'énergie par des différences finies

- La formulation enthalpique permet d'écrire une seule équation valable pour les phases solide et liquide. Ainsi, il est possible d'utiliser un maillage régulier, adapté à la méthode de Boltzmann sur réseau également :

$$\partial_t T + \vec{u} \cdot \nabla T = \alpha \nabla^2 T - \frac{L_h}{c_p} \partial_t f_L + \frac{1}{\rho c_p} \nabla \cdot \vec{q}_R \quad h = c_p T + f_L L_h$$

> Cas test 2D validé.

> Cas de la brique avec acide gras.

Modèle rayonnement

- On suppose que le rayonnement pénètre le matériau de façon diffuse.
- Les phénomènes d'absorption, et diffusion du rayonnement sont décrits par l'équation des transferts radiatifs.
- La solution de cette équation permet de connaître le flux radiatif qui est ajouté à l'équation de l'énergie :

$$\partial_t T + \vec{u} \cdot \nabla T = \alpha \nabla^2 T - \frac{L_h}{c_p} \partial_t f_L + \frac{1}{\rho c_p} \nabla \cdot \vec{q}_R$$

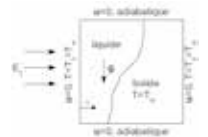
- L'équation des transferts radiatifs est complexe car elle est fonction de l'angle solide, de la position, et de la longueur d'onde.
- Les méthodes de résolution se distinguent suivant la façon de résoudre les quantités angulaires.

> Méthode des ordonnées discrètes pour l'ETR

- Intégrales angulaires remplacées par des sommes.
- Nombre réduit des directions (cosinus directeur μ).

$$\mu_m \frac{dI^m}{dx} = -(\kappa + \sigma) I^m + \kappa I_b + \frac{\sigma}{4\pi} S^m$$

Le changement des propriétés à l'interface solide-liquide pose des problèmes avec cette méthode car la conservation de l'énergie n'est pas assurée.



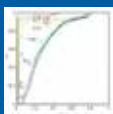
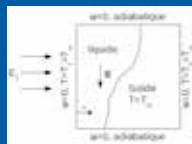
PRINCIPAUX RÉSULTATS

Validation

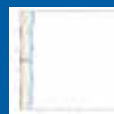
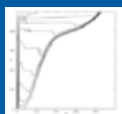
> Validation du modèle changement de phase avec convection naturelle avec cas test de la littérature

- D. Gobin et al., Melting driven by natural convection. A comparison exercise: first results, Int. J. Therm. Sci. 30 (1999)
- J. Mencinger, Numerical simulation of melting in two-dimensional cavity using adaptative grid, J. Comput. Phys. 198 (2004)

| | Étain | Octadécane |
|----|---------------------|-----------------------|
| Ra | 2.5*10 ⁵ | 1.0*10 ⁸ |
| Pr | 0.02 | 50 |
| St | 0.01 | 0.1 |
| | Convection faible | Convection importante |



Isothermes «octadécane»



Isothermes «étain»

Pour chaque cas, à gauche nos résultats, à droite les résultats de Mencinger 2004.

Comparaison avec résultats expérimentaux

> Le modèle a été appliqué aux conditions de la brique Inertrans :

- fluide newtonien ;
- les propriétés du fluide sont supposées constantes ;
- les parois horizontales adiabatiques.



Front de fusion à 48 min (à g. résultat numérique, à d. expérimental)

- > Des conditions limites idéales font que le front de fusion avance plus vite dans la simulation.

Acide gras

| | |
|-----------------|---------------------|
| T fusion | 21 °C |
| Chaleur latente | 152 kJ/kg |
| Ra | 3.9*10 ⁹ |
| Pr | 112 |
| St | 0.257 |
| H/L | 6 |

Remerciements - Avec le soutien de Frédéric Kuznik (CETHIL), Kéryn Johannes (CETHIL), Joseph Virgogne (CETHIL), Mathieu Cosnier (CSTB), Daniel Quénard (CSTB)

Contact - johann.miranda-fuentes@insa-lyon.fr

PERSPECTIVES

- > Application de la méthode de Boltzmann sur réseau, pour résoudre l'équation des transferts radiatifs.
- > Intérêt des résultats pour le problème du bâtiment.

Gestion optimale de l'énergie dans le bâtiment résidentiel

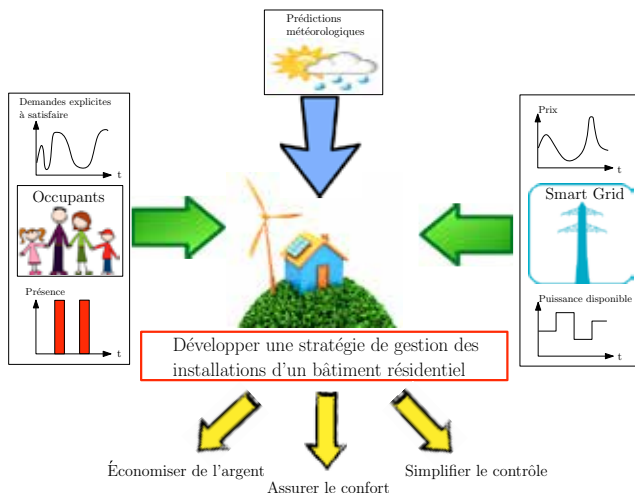
Application sur un bâtiment BBC et un bâtiment BEPos

Antoine Lefort, Guillaume Ansanay-Alex,
Hervé Guéguen, Romain Bourdais

Fin de thèse prévue en octobre 2013

INTRODUCTION

Les bâtiments intègrent aujourd'hui de nombreux systèmes complexes (stockage, production locale, etc.) qui interagissent entre eux. Leur fonctionnement dépend de l'environnement, des conditions météorologiques au comportement des occupants. La réduction de la consommation des bâtiments requiert ainsi une gestion intelligente qui doit en outre s'adapter à la venue des nouvelles stratégies de tarification de l'électricité du réseau de distribution (*smartgrid - microgrid*).



STRATÉGIE

- > Pour répondre au problème posé, nous avons mis en place une **commande prédictive, hiérarchisée et distribuée (HD-MPC)**.
 - L'anticipation a pour objectif de minimiser la facture énergétique et de satisfaire les besoins de l'habitat.
 - La hiérarchisation permet de pallier la grande complexité de résolution en travaillant sur deux échelles de temps*.
 - La distribution assure la modularité de la méthode afin de s'adapter à tous les types de bâtiments.

- > Le problème d'optimisation se formalise ainsi :
 - Minimiser la fonction coût :

$$J = \int_t^{t+H} (\text{coût}(t), P_{\text{réseau}}(t)) dt$$

- avec

$$\text{coût}(t) = \begin{cases} C_{\text{achat}}(t) & \text{si } P_{\text{réseau}}(t) > 0 \\ C_{\text{vente}}(t) & \text{si } P_{\text{réseau}}(t) < 0 \end{cases}$$

- sous un ensemble de contraintes ($\forall i, j \in N$):

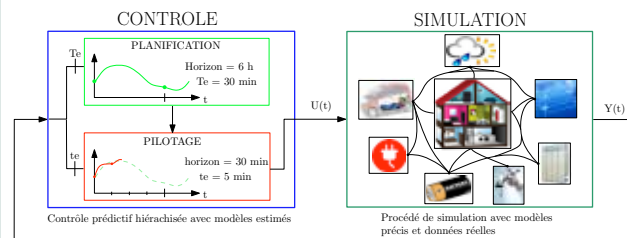
$$F_j(P_i(t)) = C_j(t) \\ P_{\min,i}(t) \leq P_i(t) \leq P_{\max,i}(t)$$

Références :

* A. Lefort, R. Bourdais, H. G., G. A.-A. In Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Grenoble, 2012
 ** Technical report, CSTB, 84 avenue Jean-Jaurès – Champs-sur-Marne – B.P. 2 – F-77421 Marne-la-Vallée Cedex 2

Remerciements – Directeur de thèse : Hervé Guéguen; Co-encadrant : Romain Bourdais; Encadrant CSTB: Guillaume Ansanay.
Contact – antoine.lefort@cstb.fr

CONTRÔLE



- > Le contrôle prédictif des installations repose sur une modélisation du bâtiment résidentiel. Une première étude montre qu'il faut anticiper au moins 6 heures à l'avance pour s'adapter au mieux au profil tarifaire fourni par le réseau.
- > Les différents systèmes (ballon d'eau chaude, batterie, panneau solaire, etc.) utilisés pour les simulations proviennent de la bibliothèque SIMBAD**. La stratégie de commande a ainsi été testée dans l'environnement Matlab/Simulink pour différents scénarios.

RÉSULTATS

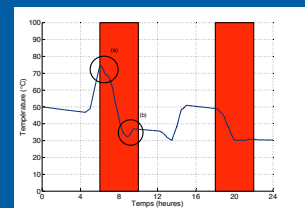


Figure 1 : Évolution de la température du ballon d'eau chaude (T_{cs}).

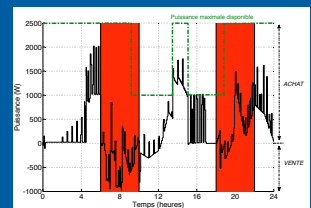


Figure 2 : Puissance électrique échangée avec le réseau ($P_{\text{réseau}}$).

Les périodes de tarification élevées sont anticipées par la stratégie de commande en chargeant au maximum les différents stockages disponibles (a). Pour autant, le confort reste prioritaire. C'est pourquoi dans le cas ci-dessus, le ballon d'eau chaude est chauffé pendant la période chère afin d'anticiper la limitation de puissance électrique disponible à venir (b). Les apports solaires sont plus importants que prévus, la saturation de la puissance électrique échangée est évitée : le contrôle réagit aux perturbations et aux incertitudes de prédiction.

PERSPECTIVES

- > Sur le plan applicatif, il s'agit :
 - d'appliquer cette stratégie à deux cas d'études : un bâtiment basse consommation (BBC) et un bâtiment à énergie positive (BEPos), pour lesquels des modèles ont été développés ;
 - d'étudier l'intégration du contrôle énergétique du bâtiment dans un réseau électrique intelligent (*smart grid*).
- > Sur le plan théorique, la convergence de la méthode hiérarchisée requiert une étude plus approfondie, tout comme la robustesse du contrôle.
- > Les premiers résultats montrent que des améliorations peuvent être apportées à l'aspect temps réel de la gestion pour favoriser davantage l'autoconsommation et pour lisser la puissance réseau.

Dynamique des polluants dans les sols saturés : Méthodologie de reconstitution de parcelles d'infiltration

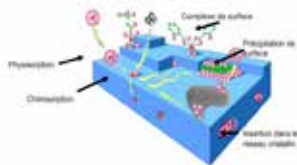
Khaoula Mahmoud

Fin de thèse prévue en octobre 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Cadre scientifique de l'étude

- L'étude du transfert des polluants dans la zone non-saturée des sols de parcelle d'infiltration ⇒ **L'un des axes de recherche d'AQUASIM (stratégie bâtiment – parcelle – environnement).**
- Étudier sur le terrain et au laboratoire, le devenir des polluants générés par les eaux pluviales ainsi que leur impact sur la structure et les propriétés du sol du milieu récepteur (parcelles d'infiltration).



Questionnement

> Quels sont les phénomènes

- qui influencent le devenir
- du polluant dans le sol ?

> Quels sont les risques provoqués

- par les polluants sur la structure
- du sol ?

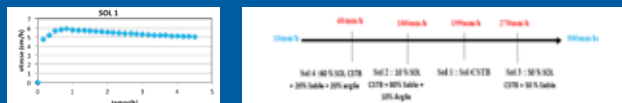
> Comment caractériser les comportements mécanique, hydraulique et chimique des sols vis-à-vis les polluants étudiés ?

Stratégie adoptée

- Identifier les types des sols utilisés ainsi que les polluants en question.
- Élaborer une méthodologie d'évaluation du comportement des sols vis-à-vis des polluants mis en jeu à petite échelle et à grande échelle.
- Construire la parcelle d'infiltration à semi-grandeur réelle avec des sols modèles.
- Établir les paramètres pertinents permettant de définir une stratégie de reconstitution de parcelles de sols (dans AQUASIM) à des fins d'expérimentations de recherche et d'évaluation (en conditions réelles mais maîtrisées).

PRINCIPAUX RÉSULTATS

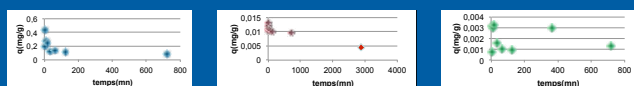
1. Choix et caractérisation des matériaux de parcelles



- 4 sols de textures différentes ont été mis en place dans les parcelles d'infiltration.
- Ces sols ont été choisis selon deux critères: leur capacité d'infiltrabilité et leur pouvoir de rétention des polluants issus des EPU.

1. Étude du transfert des métaux lourds au laboratoire

> Essais en conditions statiques



- Les résultats expérimentaux montrent que le temps nécessaire pour atteindre l'état d'équilibre varie en fonction de l'ion métallique en solution. Il a été observé que la vitesse de réaction de plomb est beaucoup plus rapide que celles du zinc et du cuivre.

> Essais en conditions dynamiques



ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

- Les principaux aspects théoriques nécessaires à la compréhension des mécanismes de transfert et des interactions chimiques des métaux lourds dans le sol.
- La qualité des eaux pluviales urbaines (EPU).
- Les impacts de l'infiltration des EPU sur les sols des ouvrages d'infiltration.

Caractérisation des matériaux de parcelles d'infiltration

- Caractérisation hydraulique : essais d'infiltration.
- Caractérisation granulométrique.
- Teneur en métaux lourds (plomb, zinc, cuivre et cadmium).
- La CEC.
- La teneur en carbonates.
- La teneur en matière organique.

Étude du transfert des polluants au laboratoire: étude de cinétique et d'isothermes d'adsorption

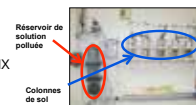
> Essais en conditions statiques : en batch

- Des essais en batch ont été effectués afin d'appréhender et mieux comprendre le phénomène de sorption des métaux au sein des échantillons de sols étudiés.



> Essais en conditions dynamiques : en colonnes

- Des essais de percolation ont été effectués dans des colonnes (10cm*5cm) de sols afin de déterminer le profil cinétique du transfert de métaux lourds par les sols étudiés.



Étude du transfert des polluants in situ: mise en place des parcelles d'infiltration

- La mise en place de 4 parcelles d'infiltration de sols différents.
- L'installation des sondes de mesure et leur connexion au central d'acquisition.
- L'alimentation des parcelles en eaux chargées.



PERSPECTIVES

1. Poursuite de suivi de fonctionnement des parcelles d'infiltration

> Influence du transfert des métaux lourds sur les comportements des sols :

- mécanique,
- hydraulique,
- chimique,
- couplage hydromécanochimique.

2. Expérimentations sur un banc d'essais à échelle intermédiaire

- Des colonnes de sols de 140 cm seront mises en place au laboratoire afin d'étudier les comportements de sol à échelle plus réduite que les parcelles.



3. Comparaison entre les résultats obtenus pour les trois échelles étudiées

- Une étude comparative sera menée dans le futur travail afin de caractériser les comportements (mécanique, hydraulique et chimique) des sols pour les trois échelles utilisées.

Remerciements – Avec le soutien de A. Lakel et N. Saiyouri
Contact – khaoula.mahmoud@cstb.fr



Amélioration des performances de PAC géothermiques par couplage de mesures in-situ et de méthodes numériques inverses

Tristan Salque

Fin de thèse prévue en octobre 2013

OBJECTIFS

> Mettre au point une nouvelle gestion des systèmes de pompes à chaleur (PAC) géothermiques dans le résidentiel et le petit tertiaire.

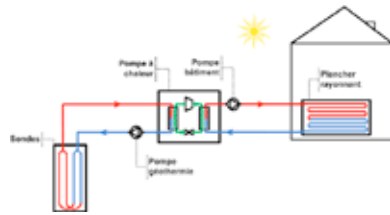


Figure 1 : Schéma d'un système de PAC géothermique.

> L'objectif est à la fois de minimiser la consommation d'énergie et d'améliorer le confort thermique à court terme ainsi que d'optimiser le système sur le long terme (charges et décharges du sous-sol).

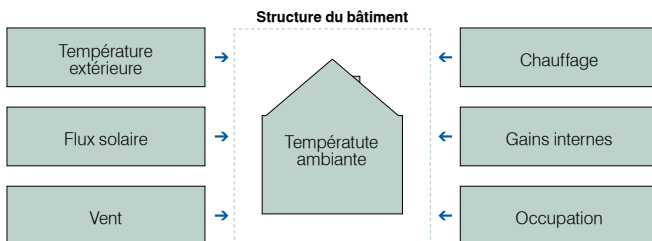


Figure 2 : Gestion à court terme de la température ambiante.

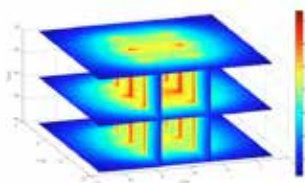


Figure 3 : Gestion à long terme du stockage géothermique.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

> Comparaison du régulateur prédictif avec des régulateurs conventionnels sur une maison individuelle de 100m² à Nancy durant le mois de mars.

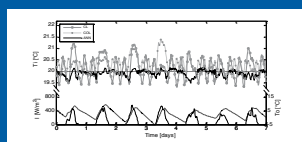


Figure 4 : Consigne fixe à 20°C.

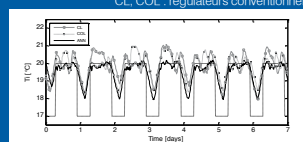


Figure 5 : Réduit de nuit à 17°C.

> Avantages du contrôleur prédictif : réduction des périodes de surchauffes de 90 % (anticipation des gains solaires), gain en énergie électrique consommée (de 5 à 18 % en fonction du scénario de chauffage et du régulateur de référence), détermination de l'heure optimale de relance du chauffage le matin.

> Réduction de la demande en période de pointe électrique en utilisant la masse thermique du bâtiment pour décaler les besoins.

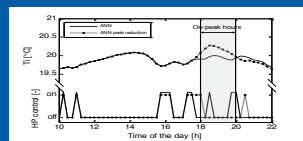


Figure 6 : Réduction de la pointe électrique.

ÉTAT D'AVANCEMENT

– Élaboration de modèles prédictifs court terme (plancher chauffant, sondes, rayonnement solaire, température extérieure et bâtiment) basés sur des réseaux de neurones.

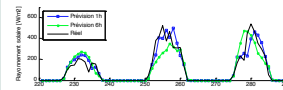


Figure 7 : Prédiction du rayonnement solaire.

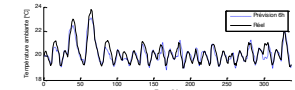


Figure 8 : Prédiction de la température ambiante.

– Développement d'un régulateur prédictif permettant d'anticiper les variables météo (rayonnement solaire, température extérieure) et le comportement thermique du bâtiment.

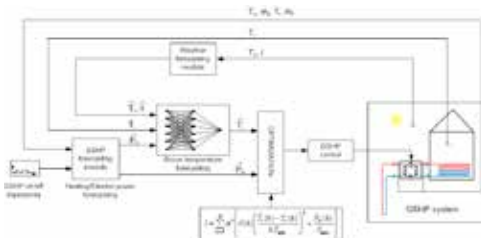


Figure 9 : Structure du régulateur prédictif.

– Régulateur validé par simulation via un couplage en temps réel entre TRNSYS et Matlab.

PERSPECTIVES

> Définir une stratégie de gestion à long terme du stockage géothermique. Le principal levier d'action étant la mise en route du free-cooling en période estivale pour recharger le sol.

> Valider le prototype sur le banc d'essai semi-virtuel du CSTB. Le régulateur prédictif sera bientôt testé sur une PAC réelle connectée au banc semi-virtuel qui émule le comportement des sondes et du bâtiment.

> Tester le prototype in-situ sur un local commercial de 100m² à Savigneux sur la saison de chauffage 2012-2013.



Complexe commercial de Savigneux (42)

Développement d'une démarche d'aide à la connaissance pour la conception/rénovation de bâtis performants

Aide à la connaissance pour des géométries performants

Fabien Talbourdet

Fin de thèse prévue en octobre 2012

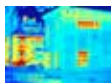
CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

- > **Augmentation du prix des énergies et augmentation de l'effet de serre**
Volonté des concepteurs et des usagers de bâtiments moins énergivores et plus confortables.
- > **Renforcements des réglementations dans différents domaines (dont l'énergétique)**
Complexification de l'acte de conception.
- > **Impact fort de la géométrie sur la conception**
Besoin de géométries performantes.



L'obtention de bâtiments performants passe donc par une évaluation de la géométrie dès la phase amont de conception

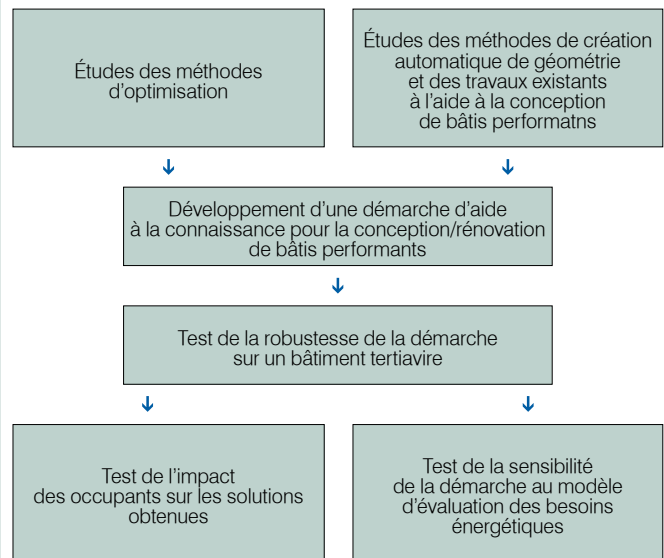


Les interactions entre paramètres étant fortes, il est nécessaire d'évaluer les différents couples {géométrie | enveloppe} et d'avoir une vision globale de l'espace des solutions.

Objectifs

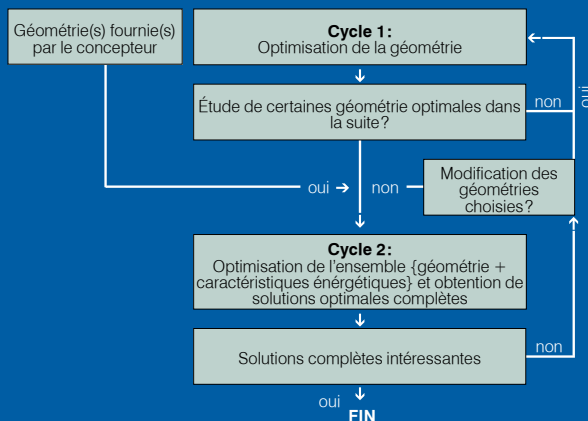
- > **Trouver un moyen de parcourir efficacement l'espace des solutions pour obtenir des solutions performantes.**
- > **Adapter la recherche des solutions aux projets du concepteur.**
- > **Assurer la robustesse des solutions obtenues (comportements des occupants, incertitudes sur les paramètres, mise en œuvre, évolution climat,...).**

ÉTAT D'AVANCEMENT

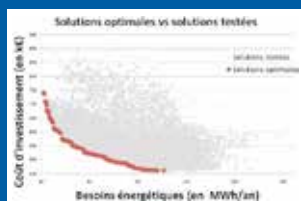


PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Développement d'une démarche d'aide à la connaissance



2. Robustesse de la démarche validée sur un cas de test réaliste



- Peu de sensibilité aux probabilités de croisement et de mutation de l'algorithme génétique
- Temps de fonctionnement limité de la démarche (5j. à 7j.)
- > **diminution importante du temps de fonctionnement possible**

PERSPECTIVES

1. Test de la partie géométrie de la démarche

- > **Test avec d'autres géométries de bâtiments**
 - Forme bâtiment
 - Géométrie intérieure
 - Dimensions différentes

- > **Test de la méthode de génération automatique de géométrie intérieure de Medjdoub**
 - Limite sur le nombre de zones à traitées?
 - Performances des solutions

2. Utilisation de méthodes d'analyse des résultats pour l'extraction de connaissance

3. Test avec d'autres types de bâtiments et d'autres climats

4. Test de cette démarche par des concepteurs

5. Impact des dispositifs de rafraîchissement passif et hybride ainsi que des systèmes CVC sur les solutions obtenues

6. Impact de l'utilisation de réseau de neurones sur les solutions obtenues

7. Intégration au BIM (Maquette numérique du Bâtiment) et test de la démarche avec plus de paramètres

Remerciements – Avec le soutien de F. Andrieux, J.-R. Millet, P. Michel et B. Vinot
Contact – franck.andrieux@cstb.fr



Méthodologie d'aide à la décision multicritère pour la conception de travaux de réhabilitation énergétique de bâtiments d'habitation dans une approche globale

Gestion des incertitudes liées à la connaissance de l'existant
Mathieu Thorel

Fin de thèse prévue en octobre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Dans le contexte du Grenelle de l'Environnement, la rénovation énergétique des bâtiments est un enjeu majeur pour l'attente du Facteur 4 d'ici à 2050. Deux objectifs sont recherchés :

- > convaincre les maîtres d'ouvrage d'entreprendre des travaux énergétiques;
- > accompagner les maîtres d'œuvre dans leur choix.

Notre cible Ils peuvent être atteints par :

- l'intégration des contraintes de mise en œuvre au cœur du processus de réhabilitation ;
- l'adaptation des diagnostics au niveau de la connaissance de l'utilisateur ;
- la mise en œuvre d'une approche globale (systémique) de la réhabilitation.

Figure 1 : Chemin de l'amélioration énergétique des bâtiments.

Méthode d'aide à la décision multicritère

Objectifs

- Méthodologie d'aide à la décision intégrant les contraintes multiples et une analyse multicritère de la réhabilitation.
- Gestion des incertitudes impactant la caractérisation de l'existant et le choix de solutions de réhabilitation.
- Adaptation d'un modèle énergétique compatible avec l'aide à la décision → Moteur Th-C-E Ex Faisabilité.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Aide à la caractérisation typologique de l'existant (composition ET performance énergétique)



Création de bibliothèques typologiques des compositions d'éléments d'enveloppe chauffée (murs, planchers, fenêtres...) et des équipements énergétiques représentatifs de la période 1947-1974 en fonction :

- du lieu géographique et de l'année de construction (pour tous les éléments d'enveloppe) ;
- du type de parement extérieur, de la présence de cloisons intérieures et de l'épaisseur des parois (pour les murs) ;
- du type d'énergie de chauffe pour les équipements.

Figure 2 : Influence des facteurs morphologiques sur la performance énergétique moyenne annuelle de MI du parc français construits entre 1945 et 1974, période de construction la plus mauvaise du point de vue efficacité énergétique.

Pour évaluer rapidement le potentiel énergétique d'un projet, identifier les contraintes et les opportunités liées à une opération de réhabilitation.

2. Gestion des incertitudes sur la caractérisation de l'existant

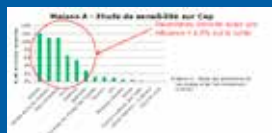


Figure 3 : Influence des paramètres d'entrée sur la performance énergétique d'une maison individuelle modélisée sous Th-C-E Ex

Les paramètres énergétiques modifiables ayant le plus d'impact pour des maisons non isolées de la période 1945-1974 simulées avec un outil réglementaire (scénarios conventionnels) sont :

- les transmissions thermiques de l'enveloppe ;
- les rendements énergétiques des équipements de chauffage ;
- la régulation/programmation annuelle des installations de chauffage et ECS.

> Publications

- *Decision making for an optimized renovation process, Conference ECPPM2012, Reykjavik, Iceland.*
- *Knowledge management for decision making in holistic building renovation design, Proceedings of the CIB W78 2012, Beirut, Lebanon.*

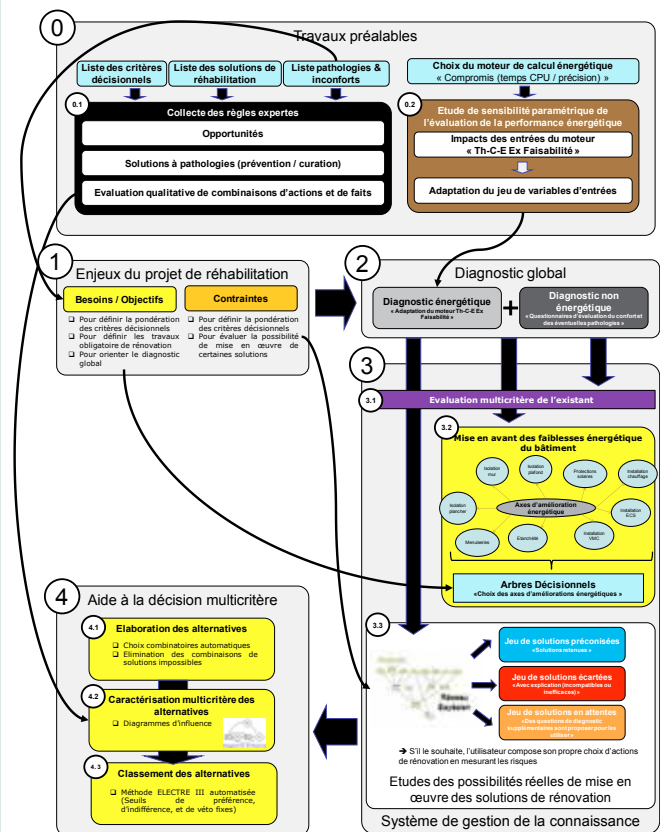
Remerciements – Avec le soutien de G. Sauce, C. Buhé et F. Andrieux
Contact – mathieu.thorel@cstb.fr

ÉTAT D'AVANCEMENT

1. État de l'art

- Modèles et algorithmes de calcul énergétiques et de réhabilitation pour l'aide à la décision.
- Typologie du parc existant français (résidentiel 1945-1974) et analyses de sensibilité paramétriques sous Th-C-E Ex.
- Études des systèmes de gestion de la connaissance : Arbres Décisionnels, Système Expert, Réseaux Bayésiens, Diagramme d'Influence.
- Choix du processus d'aide à la décision multicritère : ELECTRE, APH...

2. Méthodologie d'aide à la décision (à finaliser)



3. Intégration des incertitudes (risques) liées à la prise de décision

> Fonction du niveau de complétion du diagnostic global

- Réseaux Bayésiens ⇒ Évaluer les risques de choisir une action de rénovation (3.3).
- Diagrammes d'influence ⇒ Quantifier les critères découlant de ces choix (4.2).

4. Étude de cas – Réhabilitation et agrandissement d'une maison à La Rochelle (Partenariat avec Phénix Evolution)

> Objectifs

- Label BBC Neuf.
- Agrandissement de la surface habitable.

> Contraintes majeures

- Délai court (2 semaines).
- Amélioration du confort acoustique.
- Plancher sur terre-plein non isolable.



Avant travaux : E
Après travaux : A



Comportement au colmatage des systèmes filtrants à base de sable en écoulement insaturé de l'assainissement non collectif (ANC)

Étude du développement du colmatage dans deux types de sable
Chen Wang

Fin de thèse prévue en janvier 2015

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Le colmatage se développe inévitablement dans le matériau filtrant du filtre à sable en épurant des eaux usées domestiques prétraitées par une fosse toutes eaux. Le colmatage ayant des origines physique (rétention), chimique (précipitation) et biologique (biofilm) a des effets (favorable et défavorable) sur la performance épuratoire.



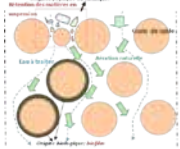
Figure 1: Filtre à sable vertical de l'ANC

> **Favorable** : le pouvoir épuratoire (rétention) est renforcé par rapport d'un filtre propre dû à l'état initial du colmatage réduisant la porosité du milieu filtrant.

> **Défavorable** : le pouvoir colmatant (stagnation), provoqué par le biofilm surdéveloppé alourdit le lit de sable, appauvrit l'aération du milieu et ralentit la minéralisation de matières organiques.

Une mauvaise connaissance scientifique sur la dynamique du colmatage conduit à un surdimensionnement du filtre (emprise du sol important) de manière empirique de l'utilisation du sable roulé de rivière (matériau épuisé rapidement du fait de la consommation importante)

Figure 2: Illustration du milieu filtrant à l'écoulement non saturé et différentes origines du colmatage.



Objectifs

> Mieux comprendre le comportement à long terme du système filtrant sous influence du développement du colmatage (comportement hydrodynamique, performance épuratoire).

> Étudier les mécanismes entrant en jeu dans les phénomènes du colmatage, du transfert et de la transformation.

> Tester la possibilité de l'utilisation du sable concassé (teneur en fines particules, minéraux).

MÉTHODOLOGIE

1. Description des bancs d'essais et étude du comportement hydrodynamique et mécanique d'un milieu poreux non saturé



Figure 4: Schématisation du pilote des filtres à sable.

> Pilote des filtres à sable (pilote principal) : deux filtres de taille identique équipés respectivement du sable roulé et du sable concassé sont alimentés avec de l'effluent septique en mode discontinu (en batch). Les ports de prélèvement du sable sont positionnés à 5, 10, 30, 50, 70, 90 cm. Ce pilote destiné à analyser la performance à long terme sous état colonisé.



Figure 5: Schématisation du pilote des colonnes à sable.

> Colonne à sable : une série des colonnes transparentes à sable de taille réduite alimentées de même façon servent aux tests hydrauliques et mécaniques : test d'infiltration, rétention en eau, taux de tassement...

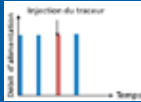


Figure 6: Injection du traceur.

> Test de traçage-distribution de temps de séjour (DTS) : la mesure de DTS sert à connaître le comportement de transport d'un fluide dans un milieu poreux. L'allure de DTS est établie à partir d'une détermination de la concentration finale d'un traceur (lithium) à l'aide de l'injection de façon d'impulsion. La DTS permet de quantifier l'importance d'éventuelles zones mortes et stagnantes, de cheminements préférentiels... particulièrement en présence du biofilm.

2. Caractérisation de la performance épuratoire, des composants et de la structure du biofilm/Caractérisation de l'aération du milieu filtrant

| Paramètres physico-chimiques |
|---|
| pH, T°C, conductivité, O ₂ dissous |
| MES |
| DBO ₅ |
| DCO |
| NH ₄ ⁺ |
| NTK |
| NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ |
| PO ₄ ³⁻ |

Tableau 2: Analyses physico-chimiques de l'effluent d'entrée et de sortie

Caractérisation du colmatage et du biofilm à différentes profondeurs du massif filtrant (et en fonction du temps)

| Mesure directe | Mesure des composants majeurs du biofilm | Mesure de la structure du biofilm |
|---|---|---|
| Méthode MVS (rapide, facile et pas permettre la différenciation du biofilm vivant, mort ou des MES accumulées.) | Empreinte moléculaire (génomique) RISA (permettre d'avoir une connaissance sur la diversité de la communauté bactérienne) | Microscopie électronique à balayage (MEB) |
| Méthode par fumigation (quantification du carbone de biofilm) | Mesure colorimétrique des composants majeurs (sucres, protéines, ADN) | |

Tableau 3: Caractérisation de la dynamique du développement de biofilm dans le massif filtrant.

> Caractérisation de la capacité d'échanges gazeux du massif filtrant sous l'effet du colmatage: mesure de l'oxygène gazeux à différentes profondeurs à l'aide des sondes fibres optiques
- Mesure de l'O₂ par « fluorescence quenching » (interférence faible).
- Sonde non contaminée par l'effluent ou le biofilm, opérable en présence du matériau filtrant.



ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

> Synthèse bibliographique (sur le colmatage et le développement du biofilm).
> Méthodologie (comportement hydrodynamique, suivi du colmatage et biofilm).

Étude bibliographique

1. Caractéristiques des matériaux filtrants destinés au traitement des eaux usées

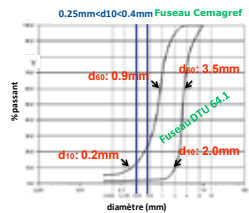


Figure 3: Granulométrie recommandée par la norme et Cemagref (d** : diamètre de maille laissant passer ** % d'échantillon)

Deux types de sable à étudier :

- Origine du sable roulé : il est naturel (d'origine alluviale de rivière ou marine), ayant des formes arrondies et une granulométrie peu étalée ;
- Origine du sable concassé : il est artificiel, issu du carrière résultant du concassage de roches (calcaires, grès, porphyres, quartzites...), ayant des formes plus anguleuses et une granulométrie plus étalée (en présentant plus de particules fines).

| Sable | d10 mm | CU (d60/d10) - | % fin % |
|----------|--------|----------------|---------|
| roulé | 0.33 | ±3.0 | 0.75 |
| concassé | 0.31 | 6-7 | 0.93 |

Tableau 1: Comparaison des caractéristiques physiques du sable roulé (matériau référence) et du sable concassé (matériau à analyser) (CU : coefficient d'uniformité ; % fin : teneur volumique des particules inférieures à 0,08 mm) (source WANKO, A, 2005).

> Pourquoi le sable concassé nous intéresse ?
- Disponibilité. - Reproductibilité.

2. Colmatage dû au développement du biofilm

> Contribution du biofilm
- Biotransformation, minéralisation et assimilation des nutriments présents dans l'effluent.
- Colmatage biologique.



Figure 4: Processus de développement du biofilm sur une surface inerte.

> Développement du biofilm
- Préconditionnement et transport des bactéries.
- Adhésion ou attachement.
- Prolifération des cellules.
- Accumulation et maturation.
- Détachement.

> Matrice d'exopolymères

- Polysaccharides.
- Protéines.
- Acides nucléiques.
- Lipides

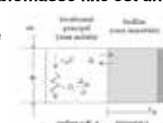
> Nuisances du biofilm excessif sur le milieu filtrant

- Réduire le pouvoir d'infiltration.
- Alourdir le système et conduire au tassement.
- Ralentir l'échange gazeux et le transfert du soluté.
- Conduire en condition anaérobie...

3. Étude des phénomènes du transfert dans un milieu non saturé

> Un milieu poreux non saturé à biomasse fixé est un environnement complexe.

- Hydrodynamique : étant donné une tranche élémentaire dz, les phénomènes du transfert se décrivent la convection et la diffusion axiale avec un échange entre zones mobile et immobile :



$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \frac{\partial C}{\partial z} - \frac{\partial C}{\partial t} r_f(z)$$

- Phase gazeuse : échange avec l'écoulement selon loi de Henry, puis rentre dans le biofilm par diffusion moléculaire.

$$\frac{\partial C_g}{\partial t} = D_g \frac{\partial^2 C_g}{\partial z^2} - v \frac{\partial C_g}{\partial z} - \frac{\partial C_g}{\partial t} r_f(z)$$

PERSPECTIVES

- Mise en place du pilote des colonnes à sable (tests à court terme)
 - Caractéristiques physiques, chimiques des matériaux filtrants
 - Granulométrie - Tests de relargage (cations, matières organiques).
 - Caractéristiques hydrodynamiques à l'aide des colonnes à sable
 - Rétention en eau claire - Test de traçage - Test d'infiltration - Tassement à l'eau claire.
- Mise en place du pilote des filtres à sable (pilote principe)
 - Caractéristiques hydrodynamiques dans les filtres à sable
 - Test de traçage à l'eau claire - Test de traçage sous l'influence du colmatage.
 - Caractérisation du biofilm développé à différentes profondeurs
 - Analyses des composants du biofilm.
 - Étude de l'échange gazeux dans le massif filtrant
 - Modélisation.
- Expérimentations sur plateforme à échelle réelle

Usages, santé, confort

Rukshala ANTON
Brice BERTHELOT
Florian CORDONNIER
Adrien DEFRANCE
Thierno DIALLO
Gwenaëlle HAESE
Joëlle-Dorcas LAFFITTE
Jean-Paul LUCAS
Rachid OUARET
Mory OUATTARA
Jérémy ROUCH

Étude des mécanismes d'adsorption de composés organiques volatils par des couches polymères appliquées au développement de micro-capteurs dédiés à la détection du développement fongique dans les environnements intérieurs

Rukshala Anton

Soutenance prévue en décembre 2012

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Enjeu

Prévention de la prolifération des champignons microscopiques dans les bâtiments, phénomène délétère pour les occupants et les ouvrages.

Problématique

Disposer d'outils innovants de surveillance de la pollution fongique.

Objectif

Élaborer une micro-méthode de détection utilisant des polymères conducteurs électroniques (PCE) (Fig. 1) et basée sur la reconnaissance d'une empreinte chimique spécifique d'un développement microbien (COVm).

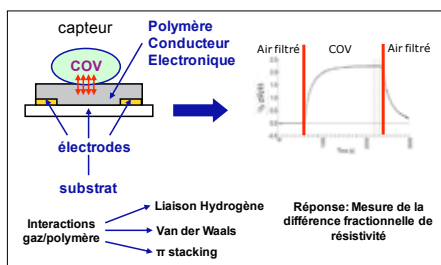


Figure 1 : Principe des polymères conducteurs électroniques (PCE).

Démarche

Rechercher les PCE les mieux adaptés à la détection des COV fongiques au travers de l'étude :

- des mécanismes d'interaction PCE-COV ;
- de l'effet de la morphologie du film de polymère (Fig. 2) sur la sélectivité et la sensibilité de la couche sensible.

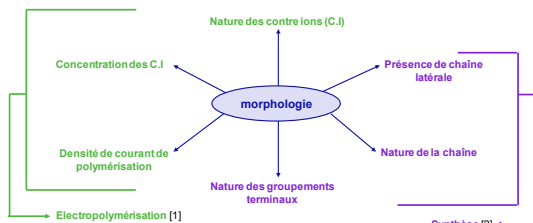


Figure 2: Paramètres influençant la morphologie des PCE.

[1] S. Hamilton et al. *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 107, Issue 1, 27 May 2005, Pages 424-432
[2] Bo Li et al. *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 123, Issue 2, 21 May 2007, Pages 651-660

Communications

> Congrès

- Anton R, Moularat S, Joblin Y, Sourice J, Aubert PH, Sallenave X, Banet P, Robine E et Chevrot C (2011). Study of gas sensors based on electropolymerized conducting polypyrrole films for the detection of fungal development. 6th World Congress on BIOMIMETICS, Artificial Muscles and Nano-Bio, Cergy-Pontoise.
- Anton R, Moularat S, Joblin Y, Sourice J, Aubert PH, Sallenave X, Banet P, Robine E et Chevrot C (2011). Etude de polypyrrole électropolymérisé en vue de l'application à la détection fongique. 4^e Journée POL-IdF, Thiais. Joblin Y, Moularat S, Anton R, Bousta F, Oriol G, Robine E, Bourouina T (2010). Moulds Detection by their Volatile Organics Compounds : Use for Heritage Conservation, IAQ (Châlon-sur-Saône).
- Gaüzère C, Moletta-Denat M, Anton R, Bousta F, Joblin Y, Moularat S, Oriol G, Ritoux S, Robine E, Godon JJ (2010). Etude des aérosols microbiens dans les sites patrimoniaux : approche moléculaire, 26^e Congrès Français sur les Aérosols (Paris), Journal of aerosol.

> Publication dans un journal à comité de lecture

- Joblin Y, Moularat S, Anton R, Bousta F, Oriol G, Robine E, Picon O, Bourouina T (2010). Detection of moulds by volatile organic compounds : Application to heritage conservation. *International Biodeterioration and Biodegradation* (IF=2.3). 64 (3), 210-217.

> Articles en cours

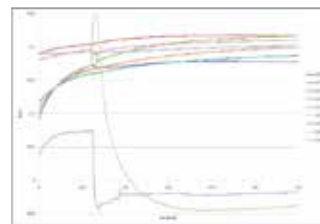
- Development of a pyrrole and its derivatives based sensor array for mould detection by volatile organic compounds. *Sensors and Actuators B*.
- Study of the influence of the interfacial energy of a sensitive layer based on pyrrole on sensors selectivity in the presence of fungal VOC. *Sensors and Actuators B*.

Contact CSTB – rukshala.anton@cstb.fr, stephane.moularat@cstb.fr, enric.robine@cstb.fr
Contact LPPI – claude.chevrot@u-cergy.fr

RÉSULTATS

Étude des mécanismes d'interaction PCE-COV

- Influence sur les bandes spectrales (espèces polaroniques et bipolaroniques).
- Calcul des énergies interfaciales (γ_s^{LW} , γ_s^{AB} , γ_s^+ , γ_s^-) en absence et en présence de COV par la méthode de Van Oss, Chaudhuri et Good (VCG).
- Influence sur les potentiels en circuit ouvert (Open Circuit Potential OCP).



- En présence d'un oxydant \Rightarrow OCP \downarrow
- En présence d'un réducteur \Rightarrow OCP \uparrow
- En présence de COV fongiques \Rightarrow OCP constant

Figure 3 : Mesure du potentiel en circuit ouvert du PolyAC11 pendant 10 minutes avec ajout de COV au bout de 2 minutes.

> Principaux mécanismes

1. Sans COV, Forces de Van der Waals (90,9%) prédominantes sur interactions acide/base (9,1%)
2. Mécanisme d'interactions COV-PCE : Interactions faibles type Van der Waals et acide-base.
3. En présence d'un alcool type COV1 \Rightarrow γ_s^{total} le plus faible \Rightarrow Interaction acide prédominante avec formation de liaison hydrogène.
4. En présence d'alcane \Rightarrow γ_s^{total} faible \Rightarrow interaction de Van der Waals prédominante.

Choix des PCE d'intérêt pour la détection des traceurs fongiques

> Étude des paramètres influençant la morphologie des polymères

- Conception de matrices à géométries différentes (6,12 et 26 BI).
- Influence de la nature du contre-ion.
- Influence de la position et de la nature de la chaîne dérivée.
- Influence de la géométrie de matrice sur l'adhésion des dépôts.
- Influence du recuit.

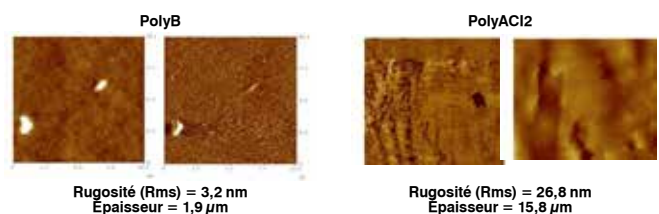


Figure 4 : Images AFM (10 µm x 10 µm) des films de polymères sur matrices 6 BI (PolyB) et 26 BI (PolyAC12).

Synthèse de 6 PCE avec différentes morphologies spécifiques des traceurs fongiques

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- > Mise en évidence des principaux mécanismes d'interaction PCE-COV.
- > Synthèse de 6 polymères spécifiques des COV fongiques.
- > Élaboration d'une matrice de capteurs permettant de détecter les traceurs fongiques.
- > Procédé de conception de PCE : application à d'autres polluants chimiques.

Conception et réalisation de micro-capteurs dédiés à la surveillance des aérocontaminants

Brice Berthelot

Fin de thèse prévue en octobre 2014

ENJEUX ET OBJECTIFS

Enjeux

- La pollution particulaire est source de diverses pathologies cardiovasculaires, cérébrovasculaires et respiratoires au travers de mécanismes de toxicité décrits par le Haut Conseil de la Santé Publique.
- La dimension des particules ainsi que la composition chimique et biologique sont des paramètres fondamentaux puisqu'ils déterminent la nature des effets sanitaires engendrés lors de l'exposition des individus.
- Parmi les particules, figurent les spores fongiques qui sont les particules vivantes les plus nombreuses et les plus diversifiées de l'air que nous respirons.



Figure 1 : Photographie MEB CSTB aérosolisation de conidies d'*Aspergillus niger*.

Objet de la recherche

- Conception et développement d'une microméthode innovante de mesure individuelle rapide des teneurs en particules atmosphériques en discriminant les aérosols de nature biologique.

> Modèle d'étude: conidies fongiques aéroportées.



Figure 2 : Photographies (de gauche à droite) de conidies de *Penicillium versicolor*, d'*Alternaria Alternata* et de *Fusarium culmorum*.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

> Élaboration d'un banc de test confiné

- Production maîtrisée d'aérocontaminants.
- Contrôle des paramètres physico-chimiques.

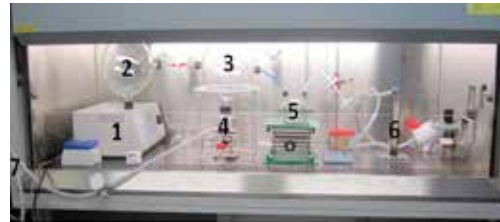


Figure 9 : Photographie du banc.

> Premier synoptique issu de l'état de l'art

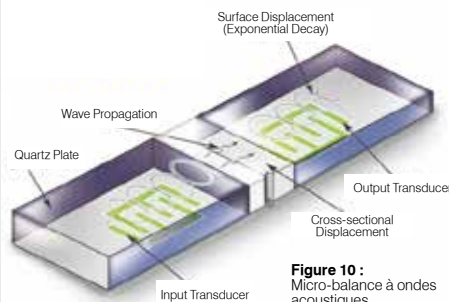


Figure 10 : Micro-balance à ondes acoustiques.



Figure 11 : Photographies d'un µ-pyrolyseur.

ÉTAT D'AVANCEMENT

> Analyse du marché

TEOM



Figure 3 : Photographies de TEOM.

- > **Avantages**
 - Résolution temporelle (<1h).
- > **Inconvénients**
 - Méthode non normalisée.
 - Sous-estimation de la concentration des PM.

Appareils de mesure individuels



Figure 4 : Photographie de CIP10®, échantillonneur individuel d'air.

- > **Avantages**
 - Diverses granulométries accessibles.
 - Pas de mesure en continu.
- > **Inconvénients**
 - Nécessite une longue durée de prélèvement (>20 heures).
 - Pas de mesure en continu.

> État de l'art des solutions existantes

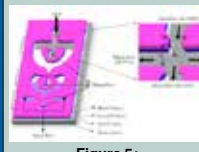


Figure 5 : Illustration d'un impacteur virtuel miniaturisé.



Figure 6 : Illustration d'un micro-dispositif à effet couronne.

> Physique des aérosols et mécanismes de collecte

- > **Les méthodes de mesure**
 - Problématiques de prélèvement et de transport.
 - Définitions des mesurands et des conditions environnementales de mesure.

- > **Les techniques instrumentales**
 - Méthodes de collection.
 - Méthodes d'analyses.



Figure 7 : Schéma de principe d'une collection par application d'une force externe.

- > **Physique des aérosols**
 - Le mouvement des particules.
 - Changement physique de la phase particulaire.

> Contraintes analytiques

> Baïse individuelle



Figure 8 : Photographies de systèmes individuels d'échantillonnage d'air.

- > **Mesure en continu**
 - Période d'échantillonnage.
 - Temps de réponse.
- > **Niveaux de sensibilités**

Choix et dimensionnement des systèmes

Évaluation des concepts par approche numérique et expérimentale

Élaboration d'une maquette fonctionnelle

Étude de la transmission des virus respiratoires dans les espaces clos : le rôle des surfaces

Persistance d'un aérosol viral déposé sur des surfaces

Florian Cordonnier

Fin de thèse prévue en novembre 2012

CONTEXTE ET OBJECTIFS

- 80 % des infections respiratoires survenant dans les environnements intérieurs sont d'origine virale. La grippe, dont l'agent étiologique, est un virus non spécifique de l'homme, *Myxovirus influenzae*, compte parmi les pathologies présentant une morbidité et une mortalité élevées.
- La transmission du pathogène est principalement interhumaine : elle se produit par contact direct avec un individu contaminé ou via la projection, par la toux, l'éternuement ou la parole, de gouttelettes vers les muqueuses respiratoires d'un individu hôte. Le rôle de l'environnement (air et surfaces) dans la transmission du virus, bien qu'évoqué, demeure méconnu.
- Cette étude vise à améliorer les connaissances sur la persistance du virus grippal et en particulier la part relative aux fomites. Dans ce contexte, un dispositif expérimental a été mis en place pour reproduire la contamination des supports par un aérosol d'*Influenza* et pour étudier la survie du virus grippal.

PRÉSENTATION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

- Le dispositif d'aérobiocontamination (Fig. 1) est composé d'une chaîne de production, d'un volume de conditionnement avec une hygrométrie et une température contrôlées, associé à une métrologie spécifique permettant de caractériser la taille, la concentration et l'infectiosité de l'aérosol viral.
- Le montage est également équipé d'un dispositif de contamination : différents matériaux représentatifs des environnements intérieurs (mobilier de bureau, poignées de porte, EPI...) sont disposés dans un impacteur et contaminés par l'aérosol viral produit.

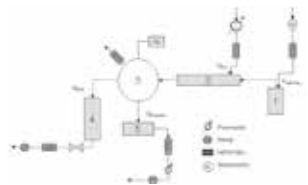
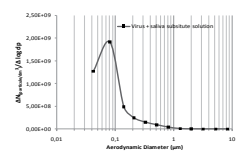


Figure 1: Schéma du dispositif expérimental.

1. Collison nebulizer
2. Drying Column
3. Mixing Chamber
4. Electrical Low Pressure Impactor or SCK Biocollector
5. Andersen Impactor

- Le dispositif est caractérisé avec un pool viral produit à partir de la souche de collection *Influenza A H1N1* (ATCC VR-1469). Le virus est multiplié en cellules MDCK (ATCC CCL-34).
- Le virus est récolté, centrifugé, filtré pour être suspendu dans un substitut salivaire. La suspension virale est aliquotée et conservée à - 80° C. Chaque aliquot de virus est directement utilisé dans le nébuliseur.

ÉTUDE DE L'AÉROSOL VIRAL



- Le système produit, à partir du virus en substitut salivaire, un aérosol polydispense ($\sigma_g = 1,6$) centré sur 0,08 µm (Fig. 2).

Figure 2: Répartition granulométrique de l'aérosol.

- La présence du virus au sein de cet aérosol est révélée à l'aide de mesure par quantitative Polymerase Chain Reaction (quantification de l'ARN total) et Viral Plaque Assay (quantification de l'infectiosité) sur les particules recueillies sur les étages de l'ELPI. Le diamètre aérodynamique des particules virales est compris entre 0,04 et 5 µm avec une distribution bimodale (modes à 0,25 et 0,8 µm) (Fig. 3).

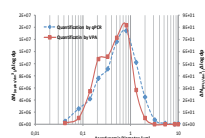
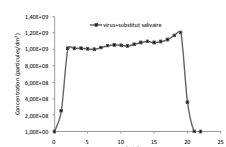


Figure 3: Répartition granulométrique du virus dans l'aérosol.



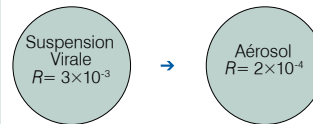
- Le générateur d'aérosol produit 10⁹ particules/dm³ (CV 5 %, entre 0,04 et 5 µm de diamètre) pendant 15 min (Fig. 4).

Figure 4: Évolution de la concentration particulaire.

ÉTUDE DE LA CONTAMINATION DES SUPPORTS

> De la suspension virale à l'état d'aérosol

$$R = \text{Virus infectieux} / \text{Virus totaux}$$



- Perte de l'infectiosité lors du changement d'état. (Figure. 5)

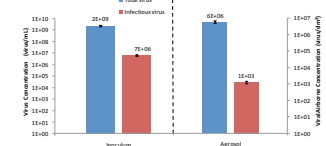


Figure 5: Concentration virale dans l'air et dans le substitut salivaire avant nébulisation.

> Quantité de virus déposée par impactation sur de l'acier

- 1 min. $\Rightarrow (5 \pm 2) \times 10^5$ virus totaux
- 10 min. $\Rightarrow (3 \pm 2) \times 10^6$ virus totaux

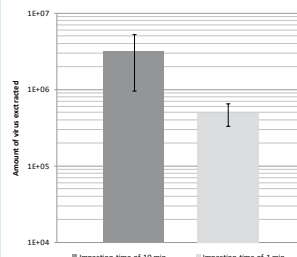


Figure 6: Quantité de virus impactée après 1 et 10 min. sur de l'acier.

> Aspect du dépôt après impactation

- Temps d'impactation de 10 minute \Rightarrow Formation de monticule
- Temps d'impactation de 1 minute \Rightarrow Dépôt uniforme sans superposition de couche

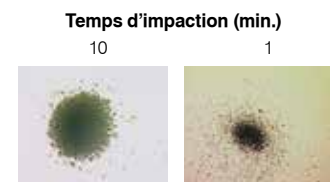


Figure 7: Photographie par microscopie optique de dépôt sur du verre ($\times 100$).

> Survie du virus à t0 à la surface des matériaux après une impactation de 1 min.

- La contamination virale par impactation est comprise entre 2×10^9 and 7×10^9 virus totaux/matériau.
- La survie du virus est comprise entre 20 and 80 virus infectieux pour l'acier, le verre, le PVC, le cuivre et le linoléum. La survie sur le papier est inférieure de 1 log (2 virus infectieux) à celle observée sur les autres matériaux.

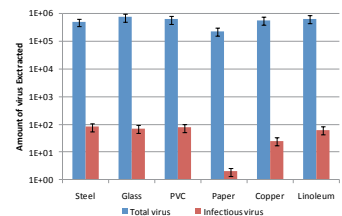


Figure 8: Quantité de virus déposée sur les surfaces après 1 min d'impactation.

> Survie du virus à la surface des matériaux au cours du temps après impactation de 1 min.

- Sur le cuivre et le papier, aucun virus infectieux n'est quantifiable après 2 heures.
- Après 2 heures sur l'acier et le PVC, l'infectiosité décroît de 1 log.
- Le verre et le linoléum semblent avoir peu d'effet même après 2 heures (< 1 log).

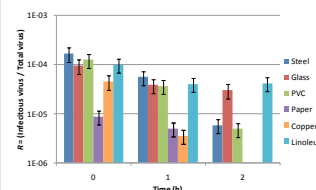


Figure 9: Quantité de virus déposée sur les surfaces après 1 min d'impactation.

CONCLUSION

- > Le dispositif expérimental produit un aérosol de virus *influenza* caractérisé en termes de concentration, de taille et d'infectiosité.
- > Le dispositif permet de contaminer de façon reproductible des matériaux pour étudier la survie des virus à leur surface.
- > Le système offre de nouvelles possibilités de contamination pour l'étude de la survie des virus sur les supports, à l'heure actuelle non observées dans la littérature.

Remerciements - Avec le soutien de T.L. Ha, E. Robine et E. Géhin
Contact - florian.cordonnier@cstb.fr



De la perception de l'environnement sonore à la gestion du bruit à Paris

Adrien Défrance

Fin de thèse prévue en octobre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

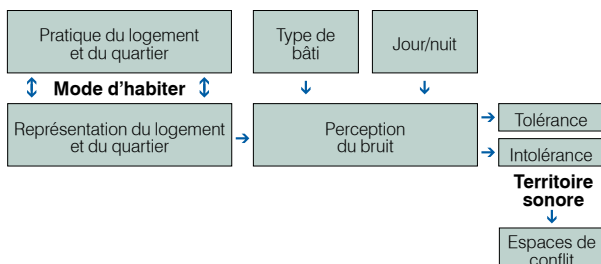
Le bruit est régulièrement présenté dans les sondages comme la première nuisance dont se plaint la population française, en particulier dans les zones urbaines de forte densité.

«À Paris, 36% des ménages sont gênés par le bruit contre 19% dans les communes péri-urbaines» (Insee, Enquête nationale logement 2006).

- > **La prise en compte du bruit en milieu urbain au nom du «vivre-ensemble» est pourtant un phénomène assez récent.**
- > **Le problème plus spécifique du tapage nocturne à Paris :**
Difficulté à concilier la demande de tranquillité des riverains tout en préservant l'attractivité nocturne de Paris (États généraux de la nuit, novembre 2010).
- > **La solution des pouvoirs publics :**
Mettre l'accent sur la prévention pour mieux réguler les «bruits de comportement».
– Création d'un dispositif de médiation nocturne (les Pierrots de la Nuit) pour «sensibiliser les noctambules au respect de l'espace public».
– Élaboration en cours d'un nouvel indicateur de bruit plus proche du ressenti des habitants pour améliorer «l'appropriation de l'environnement sonore urbain» (projet HARMONICA).

Objectifs

- > **Questionner l'émergence du bruit comme « problème » urbain.**
- > **Comparer la sensibilité au bruit dans plusieurs quartiers de Paris, le jour et la nuit, en interrogeant le rapport quotidien à l'espace vécu.**



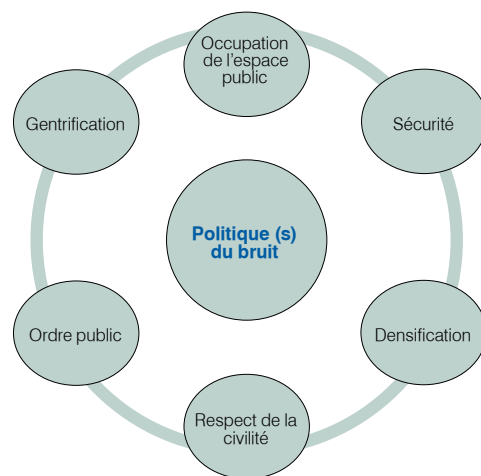
- > **Étudier la gestion du tapage nocturne et son impact sur les normes d'usage de l'espace public.**

ÉTAT D'AVANCEMENT

- > **Revue de la littérature scientifique**
Rédaction d'un chapitre sur la notion de bruit et de tolérance sonore. On peut définir celle-ci comme une indifférence à la production sonore d'autrui ou, positivement, comme l'acceptation de messages sonores relevant d'autres modes de vie ou d'activités différentes.
- > **Choix de terrains aux morphologies urbaines contrastées mais ayant en commun une mixité fonctionnelle :**
 - place des Fêtes (19^e) : forte présence de grands ensembles aux abords de la place et tissu pavillonnaire dans les rues adjacentes;
 - bassin de la Villette (19^e) : tissu urbain mixte (immeubles des années 90 côtoyant des immeubles haussmanniens);
 - rue Daguerre (14^e) : tissu urbain ancien;
 - rue Oberkampf (11^e) : tissu urbain ancien.
- > **Protocole méthodologique en cours :**
 - premières observations issues d'une enquête ethnographique portant sur le dispositif de médiation des Pierrots de la Nuit (rédaction d'un article à paraître dans la revue Métropolitiques);
 - réalisation d'entretiens semi-directifs avec des habitants du quartier de la place des Fêtes et du quartier d'Oberkampf ainsi qu'avec des présidents d'associations de riverains.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

- > **L'analyse des premiers entretiens révèle une assez grande tolérance vis-à-vis de l'environnement sonore de la part des habitants.**
Si la majorité d'entre eux fait référence à des situations de gêne ponctuelle en identifiant un voisin «fêtard», elle en parle comme d'un problème résolu (par le dialogue ou par le déménagement du «faiseur de bruit»). Une seule habitante met en cause l'ancienneté du bâti. Les enquêtés justifient d'eux-mêmes l'absence d'un sentiment de gêne en évoquant plusieurs paramètres (le passé résidentiel, l'origine culturelle, l'origine sociale, l'adhésion à la valeur du respect mutuel, etc.).
- > **La régulation du bruit soulève d'autres enjeux urbains que celui de protéger la tranquillité des riverains.**



- > **Le recueil des premières données de terrain a fait émerger deux hypothèses :**
 - le dispositif de prévention des nuisances sonores irait dans le sens d'une «normalisation des comportements» et d'une mise en ordre de l'espace public;
 - le processus de gentrification (correspondant trivialement à l'embourgeoisement d'un quartier) exacerberait la problématique du bruit.

PERSPECTIVES

- > **Mener des entretiens avec des responsables** (urbanistes, préfecture, mairie, patrons de bars, etc.) et des groupes actifs pour mieux saisir la politique urbaine du bruit à l'échelle locale.
- > **Élaborer avec eux une carte des bruits.** Nous appliquerons à cet effet la méthode des parcours commentés afin de mettre en lumière la façon dont sont vécues et perçues les ambiances par les acteurs des quartiers. On confrontera cette donnée aux structures réelles du cadre bâti : formes, matériaux, centralité, trafic.
- > **Effectuer des mesures acoustiques** sur chacun des sites retenus.
- > **Poursuivre la démarche ethnographique** avec les Pierrots de la Nuit.

Ces enquêtes devront permettre :
 – d'établir une cartographie acoustique de la sensibilité urbaine au bruit;
 – de construire une typologie du bâti, des modes de production du bruit ainsi que des modes de résolution des conflits liés au bruit;
 – d'encourager la mise en place de dispositifs alternatifs ou complémentaires à l'isolation phonique.

Impact des polluants gazeux du sol sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments

Thierno Diallo

Fin de thèse prévue en septembre 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

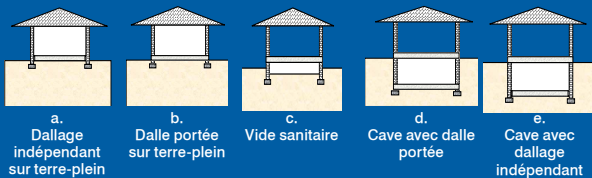
- Les modèles d'évaluation des risques sanitaires liés aux pollutions gazeuses venant du sol contiennent beaucoup d'incertitudes, notamment dans la prise en compte des phénomènes de transfert à l'interface sol/bâtiment :
 - ⇒ besoin d'amélioration des modèles de transfert (convection, diffusion).
- Besoin d'un outil de dimensionnement des systèmes de dépressurisation des sols (SDS) pour la protection des bâtiments vis-à-vis des remontées gazeuses.

Objectifs

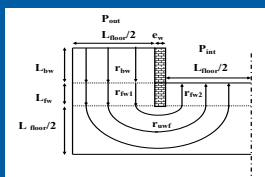
- Amélioration des modèles d'évaluation des risques sanitaires pour mieux évaluer l'impact des pollutions gazeuses (radon, COV, etc.) sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments.
- Prise en compte de phénomènes à l'interface sol/bâtiment (convection, diffusion) pour différentes typologies de soubassements.
- Développement d'un outil de dimensionnement de SDS.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

- Développement de modèles analytiques pour la quantification des flux d'air convectifs du sol vers le bâtiment pour différents soubassements : dallage indépendant, dalle portée, vide sanitaire, cave.
- Prise en compte de la perméabilité des dalles, de la présence de fissures, de la couche de gravier sous dalle et des dimensions de fondations, de la perméabilité des murs enterrés.
- La confrontation avec un modèle numérique par éléments finis (Comsol) donne un bon accord. (erreur relative maximum de 11%).



> Exemple : débit d'air Q entrant dans un vide sanitaire

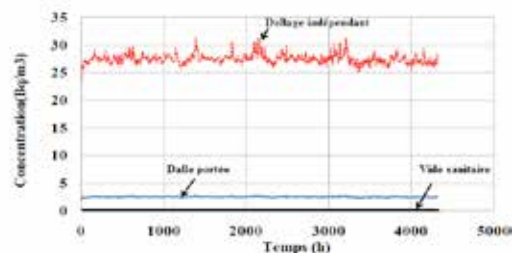


$$Q = \frac{k_{soil} \times l}{\pi \mu} \ln \left(\frac{1 + \left(\frac{\pi}{L_{bw} + 2L_{wf}} \right) \left(\frac{L_{floor} + e_w}{2} \right)}{1 + \left(\frac{\pi}{L_{bw} + 2L_{wf}} \right) \left(\frac{e_w}{2} \right)} \right) \times (P_{out} - P_{int})$$

ÉTAT D'AVANCEMENT

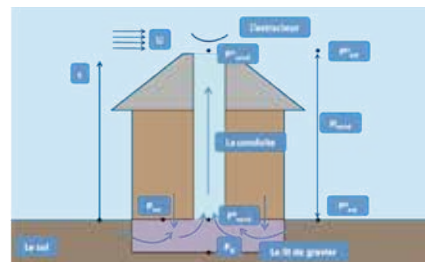
Intégration des modèles dans un code de ventilation pour évaluer la qualité de l'air dans le bâtiment

> Étude de l'impact de trois soubassements (dallage indépendant, dalle portée, vide sanitaire) sur la concentration intérieure en radon.



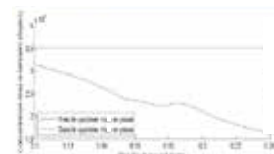
- La typologie du soubassement a une influence considérable sur l'entrée des polluants gazeux du sol dans le bâtiment.

Modélisation d'un S.D.S.



$$(P_{ext}^0 - P_{cond}^0) + (P_{cond}^0 - P_{cond}^H) + (P_{cond}^H - P_{mf}^H) + (P_{mf}^H - P_{int}^0) = 0$$

- Développement de modèles analytiques en loi de pression (bilan massique)
- Intégration de ces modèles dans un code de ventilation pour évaluer l'efficacité du SDS



Concentration moyenne annuelle en polluant dans le bâtiment en fonction du diamètre du conduit du SDS

La démarche suivie

Développement des modèles analytiques

Confrontation avec des données expérimentales

Vérification des modèles

Bon accord avec données expérimentales

PERSPECTIVES

- > Étude de l'impact de la prise en compte des typologies de soubassement dans les modèles d'évaluation des risques sanitaires.
- > Prise en compte de la diffusion dans les modèles, étude du poids relatif de la convection et de la diffusion.
- > Validation des modèles développés avec des données expérimentales disponibles.



Mise en place d'une méthode d'objectivation des mesures sensorielles lors des tests de dégustation par l'utilisation d'indicateurs du système nerveux autonome

Gwénaëlle Haese

Fin de thèse prévue en décembre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Les goûts et les odeurs dans l'eau sont responsables de nombreuses plaintes de consommateurs d'eau du robinet.

> En France, selon le Baromètre Santé Environnement 2007, inscrit au sein du Plan national santé environnement (PNSE), 68% des individus déclaraient consommer de l'eau du robinet, 24% exclusivement et 43% occasionnellement.

> Motifs les plus couramment cités par les personnes déclarant ne pas en consommer :
 – le mauvais goût (62,9%) et la préférence pour une eau en bouteille (par opposition implicite à un rejet de l'eau du robinet).
 – l'odeur, deux fois plus souvent évoquée que la couleur (42,6%).

> Les goûts et les odeurs dans l'eau sont généralement à des niveaux faibles et proches du seuil de perception ; les normes pour leurs mesures ne sont pas satisfaisantes.

↓
La mesure des perceptions sensorielles dans l'eau par analyse sensorielle n'est pas satisfaisante.

Des méthodes objectives ont donc été développées pour évaluer l'aspect émotionnel de ces réactions en utilisant l'activité autonome du système nerveux.

Objectifs

- Évaluer le potentiel de chaque méthode physiologique.
- Mettre en place une méthodologie sensorielle et physiologique.
- Prédire la perception d'un individu via ses paramètres physiologiques.

ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

- > Les méthodes sensorielles appliquées à l'eau.
- > Les méthodes d'exploration du système nerveux autonome.

Mesures de la perception

1. Les méthodes sensorielles

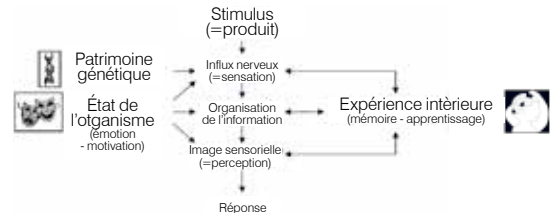


Figure 1 : Roue des goûts et des odeurs de l'eau.

- Détermination des seuils de perception : choix forcé de 1 parmi 3.
- Épreuves discriminatives : test triangulaire.
- Méthodes holistiques : Napping®.
- Échelles de notation d'intensité et hédonique.

2. Les facteurs influençant la perception

- Facteurs contextuels.
- Facteurs intrinsèques à l'individu (âge, sexe, génétique, expérience).
- Caractéristiques de l'eau (concentration en molécules sapides ou odorantes, température, structure moléculaire).



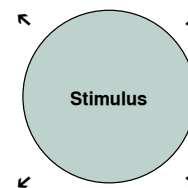
3. Les principales méthodes d'exploration du système nerveux autonome

> Qualité :

- réponses électrodermales, cardiaques et respiratoires ;
- réactions faciales ;
- électroencéphalogramme (EEG).

> Hédonique :

- résistance électrodermale, T°C et microcirculation cutanée, fréquence cardiaque ;
- pas de corrélation avec les variations de conductance cutanée ;
- réactions faciales et électromyogramme ;
- EEG.



> Intensité :

- réponses électrodermales, cardiaques et respiratoires ;
- réactions pupillaires ;
- réactions faciales ;
- EEG.

> Émotion :

- réponses électrodermales, cardiaques et respiratoires ;
- réactions faciales.

PERSPECTIVES

1. Mise au point du protocole

Test des méthodes physiologiques

- Utilisation des quatre saveurs basiques (sucrée, salée, acide, amère).
- Screening du panel et choix des quatre dégustateurs les plus sensibles.
- Choix de la méthode ou des méthodes physiologiques les plus pertinentes.

2. Mise en place d'un laboratoire sensoriel adapté à la problématique

3. Expérimentations sur des odeurs de l'eau

- Chlore.
- Terreux, moisi.
- Médicinal.

Les trois odeurs les plus problématiques et causes de nombreuses plaintes des consommateurs d'eau du robinet.

Place de la gestion de l'incertitude dans la gestion des risques en santé environnementale

Étude appliquée au syndrome des bâtiments malsains (SBM)

Joëlle-Dorcas Laffitte

Fin de financement en octobre 2012

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Le syndrome des bâtiments malsains (SBM) est diagnostiqué quand, dans un bâtiment, le nombre de personnes ressentant des symptômes de type maux de tête, irritations cutanées ou des muqueuses, fatigue générale, etc., est plus élevé qu'attendu sans que les analyses environnementales et médicales ne permettent de trouver une cause à ces troubles.

> La gestion du SBM peut se réaliser à plusieurs niveaux :

- **la prévention** : en évitant les caractéristiques environnementales qui semblent liées aux symptômes (moquette, fenêtres scellées, mauvais entretien des locaux et de la VMC, etc.);
- **la protection** : en remédiant à tout problème identifié comme une cause avérée. Il faut alors identifier la cause des symptômes (ce qui est parfois impossible);
- **la prévention** : en remédiant à tout problème identifié comme une cause probable ou en s'assurant qu'une cause probable est la cause avérée des symptômes;
- **la gestion de crise** : qui consiste à circonscrire l'ampleur que prend le dossier sur les plans politiques et sociaux.

La maîtrise du risque SBM passe donc par la gestion de l'incertitude liée à la cause du SBM.

Objectif

Étudier les différentes formes d'incertitudes liées au SBM pour aider à sa gestion.

Hypothèses

- Le SBM implique plusieurs formes d'incertitudes.
- Les différentes incertitudes créent du stress qui va entraîner la mise en place de stratégies d'adaptation individuelles et de groupe.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Les différentes formes d'incertitude retrouvées dans le SBM

> Incertitude et communication

- Les rumeurs portent sur les informations manquantes et/ou jugées peu crédibles.
- Les rumeurs diffèrent selon que l'on est gestionnaire ou touché/exposé.

> Incertitude et maladie :

- L'incertitude liée à la cause des symptômes crée une incertitude sur l'évolution de la maladie et sur sa gravité.
- L'incertitude liée à la maladie crée de l'anxiété.

> Incertitude et risque

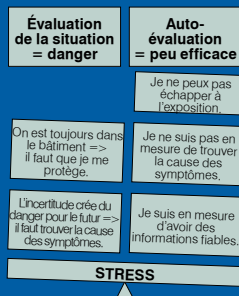
- Les personnes touchées et exposées pensent qu'il est nécessaire de connaître la cause des symptômes pour que ces derniers disparaissent.
- Pour les gestionnaires, l'incertitude ne devrait pas empêcher l'assainissement du bâtiment mais elle empêche la sortie de crise car les employés demandent une réponse.
- L'incertitude liée aux causes de la maladie induit des questionnements concernant la responsabilité.

2. Le stress dans le SBM

Le SBM crée du stress dont les déterminants changent selon les individus. Le stress se retrouve chez l'ensemble des personnes interrogées.

Le stress donne lieu à des stratégies centrées sur le problème (recherche d'information, construction d'hypothèses, évitement...) qui sont individuelles puis collectives. Il donne également lieu à des stratégies centrées sur l'émotion (recherche de soutien social, décharge émotionnelle, mise à distance...) qui sont essentiellement individuelles.

L'ensemble des stratégies vise à réduire le stress, dont on peut dès lors penser qu'il est vécu comme négatif (plutôt que comme un challenge).



ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

Trois formes principales de l'incertitude

Psychologie du risque :

- l'incertitude bloque l'action ;
- l'incertitude demande à être réduite en risque, et donc d'établir des relations de cause à effet certaines.

Psychologie de la santé

- (Mishel, 1988, 1990) :
- l'incertitude est l'incapacité à donner sens aux événements qui entourent la maladie ;
 - elle donne lieu à des stratégies visant à la maintenir, l'augmenter ou la réduire via le processus décrit dans la théorie du stress (ci-contre).

Psychologie de la communication :

- les rumeurs expliquent la situation quand l'information officielle n'est pas jugée satisfaisante => l'incertitude crée des rumeurs ;
- les rumeurs renforcent le sentiment d'appartenance au groupe.

La théorie du stress (Lazarus & Folkman, 1984)

L'incertitude est généralement considérée comme une source de stress.

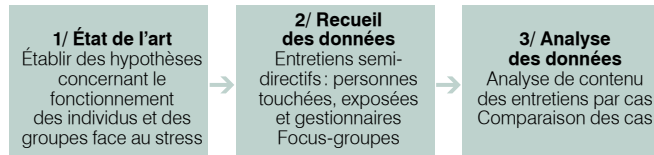
Le stress est défini comme une transaction entre l'individu et son environnement.

Processus du stress :
1/ évaluation de la demande liée à la situation ; 2/ évaluation de ses propres capacités à répondre à la situation. 1>2 => stress.

Le stress donne lieu à des stratégies d'adaptation centrées sur le problème ou sur l'émotion.

Les changements engendrent une réévaluation qui impacte sur les stratégies développées.

Méthodologie



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

- Pour une personne touchée ou exposée, gérer le risque SBM c'est avant tout gérer le stress associé, et donc l'incertitude liée à la maladie.
- Pour un gestionnaire, gérer le risque SBM c'est avant tout trouver un moyen de réduire le nombre de personnes touchées, il n'est pas toujours nécessaire pour cela de connaître la cause des symptômes.
- Cependant, pour un gestionnaire, ne pas avoir la cause des symptômes, c'est laisser le doute sur la question des responsabilités.
- La communication est un élément essentiel de la gestion du risque SBM car elle permet de réduire l'incertitude (sur ce qui est fait). Elle permet également d'entretenir la confiance entre ceux qui doivent réduire leur stress et ceux à qui est déléguée la résolution du problème.

Perspectives

> Tester la validité des résultats

- En vérifiant la compatibilité des résultats avec d'autres cas de SBM.
- En vérifiant la compatibilité des résultats avec d'autres types de crises en santé environnementale (par exemple l'hypersensibilité chimique multiple, les antennes relais...).



Contamination des logements par le plomb : prévalence des logements à risque et outils de diagnostic

Enquête Plomb-Habitat
Jean-Paul Lucas

Fin de thèse prévue en septembre 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Le plomb, métal lourd et toxique, a des effets sanitaires graves chez l'homme, en particulier chez l'enfant (retard de croissance).



Le plomb a été largement disséminé dans l'environnement par l'industrie et par l'utilisation des carburants plombés en particulier. La présence de plomb dans l'environnement résidentiel perdure notamment à cause d'utilisations passées de peintures à base de dérivés de plomb comme la céruse, le minium et les siccatifs. Même les plombémies dites modérées (< 100 µg/L) chez l'enfant sont associées à des déficiences intellectuelles. En outre, les études scientifiques n'ont jamais montré qu'il existait un seuil en deçà duquel le plomb n'expose à aucun risque pour la santé.

Pour ces raisons, la recherche dans le domaine de l'exposition au plomb doit continuer.

En France, l'état de la contamination par le plomb dans les logements n'est pas connu car les données collectées par les enquêtes à domicile ou par le constat de risque d'exposition au plomb (CREP) ne sont pas centralisées à l'échelle nationale. En outre, dans le cadre des politiques publiques, il est important de savoir si le CREP, basé uniquement sur la mesure du plomb des revêtements, permet encore de mettre en évidence le risque plomb d'un logement pour ses occupants.

Objectifs

> Prévalence des logements à risque :

1. estimer les niveaux de contamination par le plomb dans les logements français;
2. construire un score quantifiant le risque plomb d'un logement.

> Outils de diagnostic :

1. estimer la contribution des différentes sources de plomb contaminant les poussières intérieures du sol;
2. juger la performance du CREP à évaluer le risque plomb.

Population d'étude : résidences principales abritant au moins un enfant âgé de 6 mois à 6 ans en France métropolitaine (N = 3 581 991).

PRINCIPAUX RÉSULTATS

> Estimation des niveaux en plomb dans les compartiments environnements des logements

- Eau du robinet : 58% des C[Pb] < 1 µg/L, 2.9% ≥ 10 µg/L (limite Europe 2013).
- Poussière intérieure au sol : moyenne géométrique (MG) Pb = 8,8 µg/m², 0,21% des logements dépassent 430 µg/m² (seuil américain en Pb total).
- Aire de jeu extérieure: MG = 33,5 mg/kg pour les sols meubles (e.g. pelouse). Pour les sols durs (e.g. terrasse, cour), la concentration en Pb est 3,2 fois plus élevée que celle des poussières intérieures.

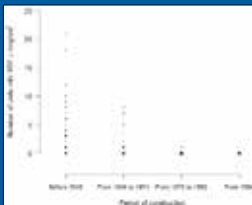


Figure 1 : Nb de parties peintes du logement contenant du Pb par année de construction (plus la bulle est grosse, plus elle représente de logements); support non métallique (céruse visée).

- Peinture: 25% des logements contiennent des peintures au plomb (≥ 1 mg/cm²). 50% des logements < 1949 contiennent du plomb non métallique, et 22% des logements construits entre 1949 et 1974.

La présence de telles peintures pour les logements 1949-1974 est résiduelle (rarement plus de cinq surfaces peintes et avec des concentrations de l'ordre de 1 à 3 mg/cm²).

Nb : Seuls les logements construits avant 1949 sont visés par la réglementation (CREP).

ÉTAT D'AVANCEMENT

Contamination des logements par le plomb

> Méthode :

Outils statistiques requis pour répondre à l'objectif appartenant à « l'échantillonnage et l'estimation en populations finies ».

- Valeurs estimées (moyenne, quantile etc.) : poids de sondage à introduire dans les analyses.
- Estimation des variances (intervalle de confiance) : plan de sondage à prendre en compte.

Distributions des niveaux en plomb dans l'eau du robinet, les poussières au sol, les aires de jeu extérieures, les peintures (Lucas et al., 2012).

Sources du plomb dans les poussières

Construction d'un modèle afin d'expliquer d'où vient le plomb contenu dans les poussières intérieures, ces poussières étant le média environnemental d'exposition principal pour les enfants (→ sur quelles sources agir pour réduire l'exposition ?). Les poussières ont été prélevées dans 2 à 5 pièces par logement (n = 484 logements) → non-indépendance des observations. Un modèle mixte ou multiniveau permet de prendre en compte cette corrélation :

$$y_{ij} = \beta_0 + \zeta_j + \sum_{m=1}^{m-1} \varphi_m x_{ij}^{(m)} + \sum_{r=1}^{r-1} \psi_r x_{ij}^{(r)} + \epsilon_{ij}$$

> Les niveaux hiérarchiques du modèle se décomposent :

- Au niveau de la pièce *i* du logement *j* par : $y_{ij} = \beta_0 + \zeta_j + \sum_{m=1}^{m-1} \varphi_m x_{ij}^{(m)} + \epsilon_{ij}$
 - Au niveau du logement *j* par : $\beta_0 = \beta_0 + \zeta_j + \sum_{r=1}^{r-1} \psi_r x_j^{(r)}$
- avec $\epsilon_{ij} \stackrel{iid}{\sim} N(0, \sigma_\epsilon^2)$ et $\zeta_j \stackrel{iid}{\sim} N(0, \sigma_\zeta^2)$

$y_j = C[Pb]_{\text{poussière}}$, x_j et x_{ij} les variables explicatives niveau logement et pièce respectivement (variables source et de confusion), β_0 la concentration moyenne globale, ζ_j l'effet logement aléatoire et ϵ_{ij} la perturbation; φ_m et ψ_r les coefficients à estimer.

Les poids de sondage des pièces (niveau 1) et logements (niveau 2) doivent être introduits dans ce qui est appelée la pseudo-vraisemblance. Les poids de niveau 2 peuvent être calculés de plusieurs manières. Le type de poids de niveau 2 à introduire est évalué par simulation d'une population de logements/pièces :

- simulation d'une population de taille *N* (table des variables *x* et *y*);
- tirage de 500 échantillons de 484 logements;
- application du modèle avec les différents types de poids sur chaque échantillon.
- comparaison des $\hat{\varphi}_m$ et $\hat{\psi}_r$ aux « vraies » valeurs de la population simulée (critères : biais et variance);
- recommandation du type de poids de niveau 2 à utiliser sur des données issues d'un plan de sondage complexe.

PERSPECTIVES

> Construction d'un score quantifiant le risque plomb d'un logement

- Par modélisation à équations structurelles (SEM) : PLSPM ou LISREL.
- Prenant en compte la concentration en plomb dans l'eau, les poussières, les sols extérieurs, les peintures.

> CREP et risque plomb

- Reconstruction d'un CREP pour chaque logement enquêté.
- Comparaison des conclusions du CREP au score construit quantifiant le risque plomb.
- Le cas échéant, proposition d'une nouvelle manière d'agrèger les données collectées lors d'un CREP (nouveau protocole CREP) afin de mieux quantifier le risque plomb.

Fourniture aux décideurs publics de la prévalence de logements à risque plomb, des sources sur lesquelles agir pour réduire l'exposition via les poussières et d'un protocole type CREP évaluant le risque plomb d'un logement.

Déterminants et prévision des fluctuations de la concentration en polluants dans un environnement intérieur

Rachid Ouaret

Fin de thèse prévue en novembre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Le domaine de la qualité de l'air à l'intérieur (QAI) des espaces clos n'est pas pourvu aujourd'hui d'études de suivi temporel de la concentration des polluants avec un pas de temps fin sur une année, contrairement à l'environnement extérieur, avec les réseaux de surveillance. Par conséquent, les sources de fluctuations des concentrations et leur amplitude sur une longue période restent très mal connues. À ce jour, les réponses aux questions :

- Combien de sources interviennent et à quel niveau contribuent-elles ?
 - Comment prévoir la variabilité des polluants à court ou moyen terme ?
- restent inconnues.

Objectifs

> Fournir une méthodologie d'exploitation de systèmes de données en temps réel pour anticiper l'instrumentation active future d'un environnement intérieur :

- identifier les sources de polluants intérieurs et leurs contributions ;
- développer des modèles de prévision à court ou moyen terme de la QAI.

MATÉRIELS

> Choix de l'environnement intérieur

Un espace de bureaux (open space de 810 m³) occupé par 4-15 personnes a été instrumenté. L'aération est assurée par une VMC simple flux par extraction et l'ouverture des fenêtres.



Figure 1 : Plan de l'open space et emplacement des capteurs.

> Choix des polluants étudiés

Critères de choix : la disponibilité des moyens de mesure permettant le suivi temporel en continu des niveaux à une échelle fine ; la toxicité (classés prioritaires par l'OQAI). Les polluants cibles sont le formaldéhyde, les particules fines et les HAP.

> Paramètres climatiques

- Les paramètres climatiques extérieurs (température, humidité relative, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent, irradiance) : enregistrés en continu sur le toit du bâtiment ARIA CSTB Champs-sur-Marne. Les données de pollution extérieures (PM₁₀, NO₂, O₃).
- Les paramètres intérieurs : température, humidité relative, irradiance, état des ouvrants, détecteur de présence et concentration de CO₂.



Figure 2 : Station météo.

PROBLÉMATIQUE

- La QAI est la résultante des interactions complexes entre l'environnement extérieur et l'ensemble des sources intérieures (équipements et matériaux, mobilier et les occupants et leurs activités), qui fluctue dans le temps.
- L'information sur les fluctuations de la concentration d'un polluant fournie par les capteurs est représentée dans un signal temporel.

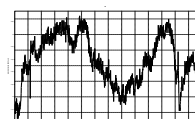
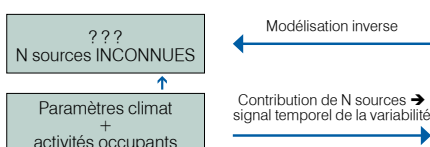


Figure 3 : Mesures en continu de formaldéhyde. La concentration provient d'un mélange de N sources de pollution inconnues.

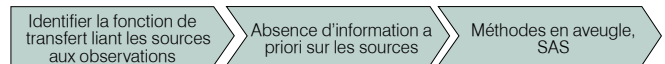
- En tenant compte des variations de paramètres climatiques (intérieurs et extérieurs) et de l'occupation, comment à partir de la variabilité des concentrations :
- remonter aux sources de pollution et à leurs contributions ?
 - prévoir les concentrations des polluants ?



ÉTAT D'AVANCEMENT

Méthodes

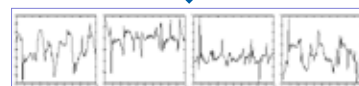
Les méthodes envisagées pour résoudre le problème sont celles liées à la séparation aveugle des sources à partir d'un signal intégrateur et celles de la prévision.



Séparation aveugle des sources (SAS)



Les émissions (ou signaux) s de m sources se mélangent et les résultats du mélange sont observés au niveau de n capteurs X. Les s[m] = [s₁[m] ... s_m[m]] et u[n] = [u₁[n] ... u_n[n]] désignent respectivement les m vecteurs de sources et de bruit.

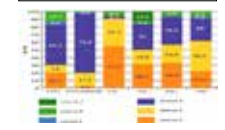
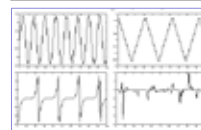
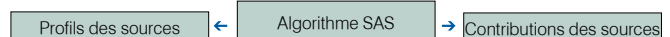


n profils temporels mesurés par les capteurs : mélanges des sources

Observations en continu (concentrations des polluants)

Le rôle de la SAS consiste à trouver une application G, appelée séparateur, telle que :

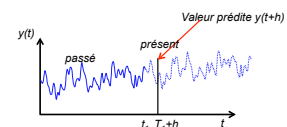
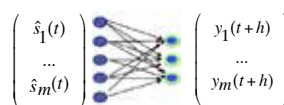
$$\hat{s}[m] = G(x[m])$$



Modèle prévisionnel



Modèle basé sur les sources $S_T(t) \xrightarrow{\text{prévisions}} Y_T(t+h)$



Modèle basé sur les concentrations $Y_T(t) \xrightarrow{\text{prévisions}} Y_T(t+h)$

Figure 4 : Prévision des concentrations des polluants sur un horizon temporel h



- Modèles des séries temporelles ARIMA, ARFIMA, GARCH, VAR.
- Modèles dynamiques CHAOS, mouvements fractionnaires, filtre de Kalman étendu.
- Apprentissage statistique réseaux de neurones, réseaux bayésiens, chaînes de Markov cachées (HMM).

PERSPECTIVES

- > Exploiter les données de l'état des ouvrants (fenêtres et portes).
- > Modéliser l'activité des occupants par HMM.
- > Appliquer l'algorithme de séparation aveugle des sources aux données de l'environnement intérieur (open space) si le nombre de mesures le permet.
- > Développer les modèles de prévision de la QAI.

Encadrement / Cofinancement - Avec le soutien de Olivier Ramalho, Anda Ionescu, Yves Candau. En lien avec le projet cofinancé PRIMEQUAL APR QAI 2012

Contact - rachid.ouaret@cstb.fr

UNIVERSITÉ PARIS-EST

CERTES

CSTB le futur en construction

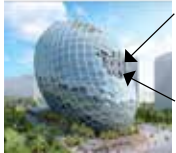
Développement et mise en place d'une méthode de classification multicritère du parc des bâtiments à usage de bureaux (qualité de l'air, santé, confort et performances énergétiques)

Mory Ouattara

Fin de thèse prévue en novembre 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte



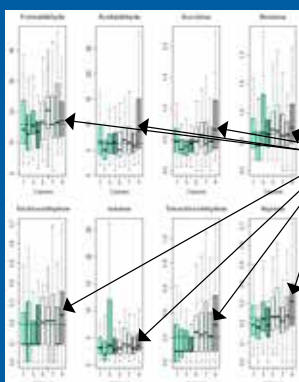
- > **Q1**
Quels sont les contaminants chimiques (COVs et aldéhydes...), physiques (particules fines et ultrafines) et biologiques (moisissures allergènes et virus...) présents dans cet immeuble de bureaux ?
- > **Q2**
Quel est l'impact d'une mauvaise qualité de l'air intérieur sur la santé de ses occupants et sur leur productivité ?

> **À ce jour en France, les réponses à Q1 et Q2 sont inconnues pour le parc des immeubles de bureaux.**

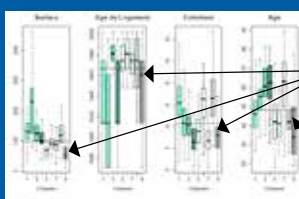
Objectifs

- > Développer une méthode de classification multicritère du parc des bâtiments à usages de bureaux.
- > Établir des indicateurs de qualité de l'air, de santé, de confort perçu et de performances énergétiques.

PRINCIPAUX RÉSULTATS



– ConSOM crée des groupes homogènes de logements en tenant compte des interactions entre blocs. Il améliore les performances de classification et met en évidence les oppositions entre classes de logements. Ainsi, par rapport aux principaux polluants de l'air intérieur. Les classes 6 et 9 présentent des concentrations de polluants les plus élevées, tandis que les classes 2 et 3 sont les moins polluées.



– Les classes 6 et 9 correspondent aux petits logements récents peu entretenus et occupés par des jeunes avec des revenus inférieurs à la moyenne.

Communications et articles

- Niang Keita, Mory Ouattara, Julien Brajard, Sylvie Thiria et Corinne Mandin Hierarchical-MTM (HMTM) : Classification d'individus décrits par des variables mixtes structurées en blocs, JDS'2011, 43^e Journée de Statistique, May 2011, pp.xx, Tunis, Tunisie.
- Mory Ouattara, Ndéye Niang Keita, F. Badran, Sylvie Thiria, Corinne Mandin Weighted Hierarchical Mixed Topological Map : Une méthode de classification hiérarchique à deux niveaux, EGC 2012, January 2012.
- Ndéye Niang Keita, Mory Ouattara, Hierarchical Mixed Topological Map, RNTI, 2012 (Soumis).
- Ouattara Mory, Ndéye Niang, algorithme ConSOM, SFC'2012, Marseille, septembre 2012.

Remerciements – Avec le soutien de toute l'équipe de Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, de l'ADEME et des laboratoires LOCEAN et CEDRIC

Contact – mory.ouattara@cstb.fr, corinne.mandin@cstb.fr, n-deye.niang_keita@cnam.fr

ÉTAT D'AVANCEMENT

Méthodes



– Classification par rapport à quatre critères d'un échantillon de 300 immeubles de plus de 50 personnes représentatif du parc des bureaux en France.

> **Base d'informations de + 1445 variables divisée en quatre blocs :**

– Qualité de l'air intérieur, santé, confort et performances énergétiques.

– Comment tenir compte des 1445 variables ?

- Existe-t-il des variables ou des groupes de variables « inutiles » ?
- Comment prendre en compte l'importance de chaque variable et de chaque bloc dans la classification ?

> **Nous proposons ConSOM (Consensus-Self-Organizing-Map), un nouvel algorithme de recherche de groupes homogènes d'individus en tenant compte des corrélations entre plusieurs tables.**

– Formellement, cela revient à optimiser la fonction de coût suivante :

$$J(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^q \alpha_{ij} \beta_{kl} (x_{ij} - y_{kl})^2 + J_1 + J_2$$

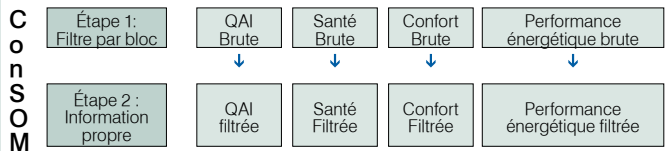
Où α et β sont les systèmes de poids définis respectivement sur les blocs et sur les variables et I et J leur entropie.

$$\alpha_{ij} = \frac{\exp(-\frac{d_{ij}^2}{\sigma^2})}{\sum_{k=1}^m \exp(-\frac{d_{ik}^2}{\sigma^2})}$$

$$\beta_{kl} = \frac{\exp(-\frac{d_{kl}^2}{\sigma^2})}{\sum_{l=1}^q \exp(-\frac{d_{kl}^2}{\sigma^2})}$$

$$J_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij}^2 \ln(\alpha_{ij}) \quad J_2 = \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^q \beta_{kl}^2 \ln(\beta_{kl})$$

Algorithme ConSOM



Catégorie de classement des bâtiments

Avantages et inconvénients

- Meilleures performances de classification et de consensus de classification entre blocs.
- Sélection de manière automatique des variables et des blocs les plus pertinents dans la classification.
- La complexité et le temps de calcul sont assez élevés. Cependant, les outils informatiques actuels résolvent ce problème de performance.

| Table 1 : Comparaison des performances de classification et Consensus de ConSOM. | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| Block 1 | 0.92 | 0.91 | 0.92 | 0.91 | 0.92 |
| Block 2 | 0.91 | 0.90 | 0.91 | 0.90 | 0.91 |
| Block 3 | 0.90 | 0.89 | 0.90 | 0.89 | 0.90 |
| Block 4 | 0.89 | 0.88 | 0.89 | 0.88 | 0.89 |
| Block 5 | 0.88 | 0.87 | 0.88 | 0.87 | 0.88 |
| Block 6 | 0.87 | 0.86 | 0.87 | 0.86 | 0.87 |
| Block 7 | 0.86 | 0.85 | 0.86 | 0.85 | 0.86 |
| Block 8 | 0.85 | 0.84 | 0.85 | 0.84 | 0.85 |
| Block 9 | 0.84 | 0.83 | 0.84 | 0.83 | 0.84 |
| Block 10 | 0.83 | 0.82 | 0.83 | 0.82 | 0.83 |
| Block 11 | 0.82 | 0.81 | 0.82 | 0.81 | 0.82 |
| Block 12 | 0.81 | 0.80 | 0.81 | 0.80 | 0.81 |
| Block 13 | 0.80 | 0.79 | 0.80 | 0.79 | 0.80 |
| Block 14 | 0.79 | 0.78 | 0.79 | 0.78 | 0.79 |
| Block 15 | 0.78 | 0.77 | 0.78 | 0.77 | 0.78 |
| Block 16 | 0.77 | 0.76 | 0.77 | 0.76 | 0.77 |
| Block 17 | 0.76 | 0.75 | 0.76 | 0.75 | 0.76 |
| Block 18 | 0.75 | 0.74 | 0.75 | 0.74 | 0.75 |
| Block 19 | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.73 | 0.74 |
| Block 20 | 0.73 | 0.72 | 0.73 | 0.72 | 0.73 |
| Block 21 | 0.72 | 0.71 | 0.72 | 0.71 | 0.72 |
| Block 22 | 0.71 | 0.70 | 0.71 | 0.70 | 0.71 |
| Block 23 | 0.70 | 0.69 | 0.70 | 0.69 | 0.70 |
| Block 24 | 0.69 | 0.68 | 0.69 | 0.68 | 0.69 |
| Block 25 | 0.68 | 0.67 | 0.68 | 0.67 | 0.68 |
| Block 26 | 0.67 | 0.66 | 0.67 | 0.66 | 0.67 |
| Block 27 | 0.66 | 0.65 | 0.66 | 0.65 | 0.66 |
| Block 28 | 0.65 | 0.64 | 0.65 | 0.64 | 0.65 |
| Block 29 | 0.64 | 0.63 | 0.64 | 0.63 | 0.64 |
| Block 30 | 0.63 | 0.62 | 0.63 | 0.62 | 0.63 |
| Block 31 | 0.62 | 0.61 | 0.62 | 0.61 | 0.62 |
| Block 32 | 0.61 | 0.60 | 0.61 | 0.60 | 0.61 |
| Block 33 | 0.60 | 0.59 | 0.60 | 0.59 | 0.60 |
| Block 34 | 0.59 | 0.58 | 0.59 | 0.58 | 0.59 |
| Block 35 | 0.58 | 0.57 | 0.58 | 0.57 | 0.58 |
| Block 36 | 0.57 | 0.56 | 0.57 | 0.56 | 0.57 |
| Block 37 | 0.56 | 0.55 | 0.56 | 0.55 | 0.56 |
| Block 38 | 0.55 | 0.54 | 0.55 | 0.54 | 0.55 |
| Block 39 | 0.54 | 0.53 | 0.54 | 0.53 | 0.54 |
| Block 40 | 0.53 | 0.52 | 0.53 | 0.52 | 0.53 |
| Block 41 | 0.52 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.52 |
| Block 42 | 0.51 | 0.50 | 0.51 | 0.50 | 0.51 |
| Block 43 | 0.50 | 0.49 | 0.50 | 0.49 | 0.50 |
| Block 44 | 0.49 | 0.48 | 0.49 | 0.48 | 0.49 |
| Block 45 | 0.48 | 0.47 | 0.48 | 0.47 | 0.48 |
| Block 46 | 0.47 | 0.46 | 0.47 | 0.46 | 0.47 |
| Block 47 | 0.46 | 0.45 | 0.46 | 0.45 | 0.46 |
| Block 48 | 0.45 | 0.44 | 0.45 | 0.44 | 0.45 |
| Block 49 | 0.44 | 0.43 | 0.44 | 0.43 | 0.44 |
| Block 50 | 0.43 | 0.42 | 0.43 | 0.42 | 0.43 |
| Block 51 | 0.42 | 0.41 | 0.42 | 0.41 | 0.42 |
| Block 52 | 0.41 | 0.40 | 0.41 | 0.40 | 0.41 |
| Block 53 | 0.40 | 0.39 | 0.40 | 0.39 | 0.40 |
| Block 54 | 0.39 | 0.38 | 0.39 | 0.38 | 0.39 |
| Block 55 | 0.38 | 0.37 | 0.38 | 0.37 | 0.38 |
| Block 56 | 0.37 | 0.36 | 0.37 | 0.36 | 0.37 |
| Block 57 | 0.36 | 0.35 | 0.36 | 0.35 | 0.36 |
| Block 58 | 0.35 | 0.34 | 0.35 | 0.34 | 0.35 |
| Block 59 | 0.34 | 0.33 | 0.34 | 0.33 | 0.34 |
| Block 60 | 0.33 | 0.32 | 0.33 | 0.32 | 0.33 |
| Block 61 | 0.32 | 0.31 | 0.32 | 0.31 | 0.32 |
| Block 62 | 0.31 | 0.30 | 0.31 | 0.30 | 0.31 |
| Block 63 | 0.30 | 0.29 | 0.30 | 0.29 | 0.30 |
| Block 64 | 0.29 | 0.28 | 0.29 | 0.28 | 0.29 |
| Block 65 | 0.28 | 0.27 | 0.28 | 0.27 | 0.28 |
| Block 66 | 0.27 | 0.26 | 0.27 | 0.26 | 0.27 |
| Block 67 | 0.26 | 0.25 | 0.26 | 0.25 | 0.26 |
| Block 68 | 0.25 | 0.24 | 0.25 | 0.24 | 0.25 |
| Block 69 | 0.24 | 0.23 | 0.24 | 0.23 | 0.24 |
| Block 70 | 0.23 | 0.22 | 0.23 | 0.22 | 0.23 |
| Block 71 | 0.22 | 0.21 | 0.22 | 0.21 | 0.22 |
| Block 72 | 0.21 | 0.20 | 0.21 | 0.20 | 0.21 |
| Block 73 | 0.20 | 0.19 | 0.20 | 0.19 | 0.20 |
| Block 74 | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.18 | 0.19 |
| Block 75 | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.17 | 0.18 |
| Block 76 | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.17 |
| Block 77 | 0.16 | 0.15 | 0.16 | 0.15 | 0.16 |
| Block 78 | 0.15 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.15 |
| Block 79 | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.13 | 0.14 |
| Block 80 | 0.13 | 0.12 | 0.13 | 0.12 | 0.13 |
| Block 81 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.11 | 0.12 |
| Block 82 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.11 |
| Block 83 | 0.10 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.10 |
| Block 84 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.09 |
| Block 85 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 |
| Block 86 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.07 |
| Block 87 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.06 |
| Block 88 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| Block 89 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| Block 90 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| Block 91 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| Block 92 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| Block 93 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Block 94 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Block 95 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Block 96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Block 97 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Block 98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Block 99 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Block 100 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Tableau 1 : Comparaison des performances de classification et Consensus de ConSOM.

La suppression du bloc 1 dans la classification améliore les performances de classification.

PERSPECTIVES

- > Appliquer la méthode aux données des campagnes «Bureaux» et «Officair».
- > Mettre en place des indicateurs de classements à travers les résultats de ConSOM via une étude plus détaillée des classes.



Modélisation d'un système d'assistance à la réverbération actif

Jérémy Rouch

Fin de thèse prévue en octobre 2014

OBJECTIFS

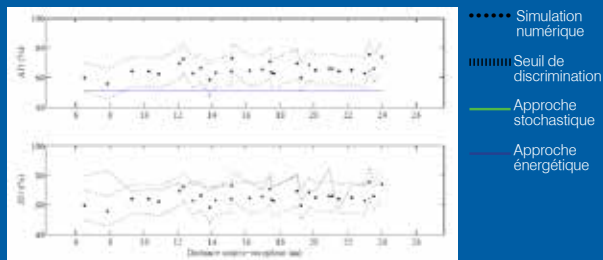
Objectifs

Élaboration, validation et mise en œuvre d'outils destinés à la prédiction quantitative de l'effet d'un système d'assistance à la réverbération régénératif (Carmen) sur l'acoustique d'une salle de spectacle.

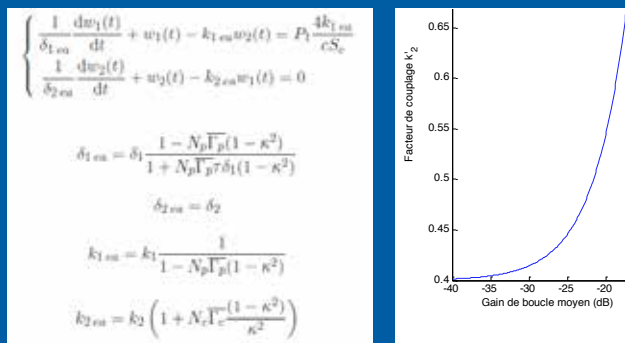


PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Comparaisons entre les approches théoriques et la simulation pour la prédiction de l'évolution de la durée de réverbération due à la présence du système Carmen dans une salle



2. Théorie du couplage des escapes par l'utilisation d'un système électroacoustique (ou d'assistance à la réverbération)



ÉTAT D'AVANCEMENT

1. Effet du système dans une salle simple

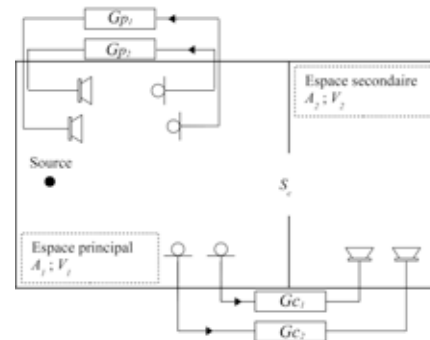
- Réalisation d'une campagne de mesure dans une salle équipée d'un système d'assistance à la réverbération.
- Mise au point d'un logiciel interfacé de génération de réponses impulsionnelles actives utilisant le logiciel Icare développé au CSTB.
- Élaboration de deux approches théoriques de génération de réponses impulsionnelles actives:
 - approche énergétique issue de la théorie de Barron (salle passive) et résolution approximée de l'équation différentielle avec délais (action du système) ;
 - approche stochastique des réponses impulsionnelles (salle passive) et résolution de l'équation fréquentielle exacte d'un système bouclé multivariable (action du système).



> Confrontation des données de référence (simulations numériques ou mesure) avec les deux approches théoriques dans six salles.

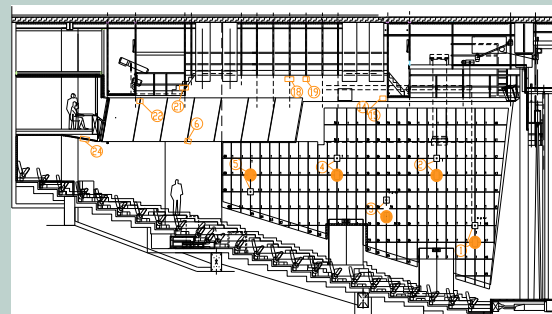
2. Effet du système dans une salle couplée

Étude théorique et simulation numérique de l'évolution du phénomène de couplage entre deux sous-volumes engendré par l'utilisation de canaux d'assistance à la réverbération.



PERSPECTIVES

> Utilisation des outils développés pour le dimensionnement du système Carmen dans les phases initiales (approches théoriques) et finales (simulation numérique) d'un projet d'installation.



Maîtrise des risques

Adel BENIDIR
Clément BOUDAUD
Adrien COURBOIS
Frédéric DELIANCOURT
Damien LAMALLE
Duc Toan PHAM
Nicolas PINOTEAU
Alessandro VIGANO
Van Huyen VU

Étude du galop sec des câbles inclinés sur les ponts à haubans. Les effets de l'état de surface dans l'excitation des phénomènes vibratoires

Adel Benidir

Fin de thèse prévue en novembre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte



Figure 1 : Haubans de pont (Millau, France).

Les ouvrages en génie civil tels que les ponts à haubans s'illustrent par leurs structures légères (Normandie, Viaduc de Millau) mais aussi, par les phénomènes d'excitation des haubans de différentes origines (VIV, RWIV, Galop, etc.) Le galop sec a été identifié pour la première fois par les Japonais dans les années 1990, cependant aucune hypothèse n'a été fournie comme origine à cette excitation.

> Propriétés associées:

- Présence d'un flux axial dans le sillage du hauban.
- Distribution dissymétrique des coefficients de pression au régime critique (piste à creuser).

L'effet de rugosité et le défaut de forme sur la distribution de coefficients de pression

Surface en PEHD



Zoom avec un rugosimètre optique x50

Figure 2 : Mesure de paramètres d'état de surface.

Mesure des paramètres de rugosité (Ra, Rz, Rq)

Paramètre Rz



Normes ISO 4287

Relier les effets des paramètres du vent (intensité de turbulence, angle d'incidence) et des paramètres d'état de surface comme la rugosité et le facteur de forme avec l'intensité et la corrélation spatiale de l'excitation.

Objectifs

- > Étude approfondie sur les effets de la rugosité de surface sur la distribution des forces aérodynamiques.
- > Convergence entre RWIV et le galop sec.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Influence du défaut de circularité sur l'écoulement de flux en régime critique d'une gaine à section circulaire



Figure 3 : Défaut de circularité sur les couronnes de pression.

- Corrélation entre le défaut de circularité (défaut macroscopique) et le coefficient de portance.

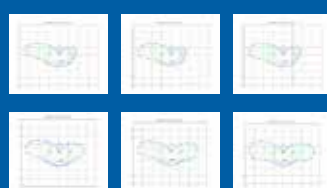


Figure 4 : Distribution de la pression moyenne sur plusieurs couronnes pour une vitesse de vent 23m/s.

2. Définition d'angle critique d'incidence de vent + Instrumentation

Balayage d'angle d'inclinaison



Figure 5 : Angle d'inclinaison 45°.

Intérieur d'une gaine de hauban



Figure 6 : Instrumentation de la gaine en capteur de pression.

> Buts:

- Identifier les angles d'orientation critiques.
- Valider le modèle d'instrumentation en capteur de pression.

ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

- Influence des paramètres : angle d'inclinaison, turbulence et état de surface.
- Technique de mesure d'état de surface (ondulation, rugosité).

Expérience en soufflerie



Figure 7 : Essai en vaine de gaine d'un hauban de pont.

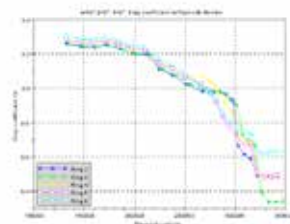


Figure 8 : Courbes des coefficients de traînée en fonction du nombre de Reynolds.

1. Étude des coefficients de traînée et de portance

- Identifier le régime critique en soufflerie (vitesse de vent, chute de traînée).
- Interpréter les différents régimes d'écoulements.
- Comparer les résultats obtenus avec les données enregistrées sur différents sites.

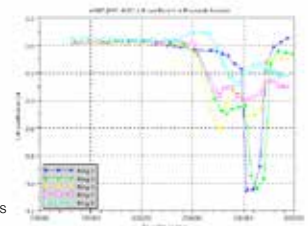


Figure 9 : Courbes des coefficients de portance moyens en fonction du nombre de Reynolds.

2. Relation entre les défauts macroscopiques et le coefficient de portance

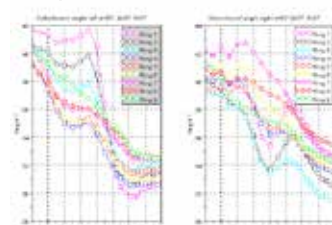


Figure 10 : Évolution de l'angle de détachement de part et d'autre d'une gaine PEHD.

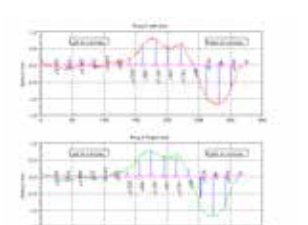


Figure 11 : Identification des zones de défauts en fonction d'angle d'incidence de vent.

PERSPECTIVES

1. Poursuite d'étude de gaines PEHD en soufflerie

- > Valider l'influence des défauts macroscopiques et microscopiques sur l'écoulement autour de gaine de hauban

- Régime critique
- Coefficient de portance
- Chute de traînée (Drag crisis)

- > Tester le maximum d'angles d'inclinaison et d'orientation
- Angle équivalent critique

2. Effet de la turbulence sur régime d'écoulement critique

3. Convergence entre excitation pluie/vent et galop sec

- > Comparaison entre gaine lisse et gaine avec rainure
- Transitions en régime critique
- Comportement des deux gaines en essai dynamique



Figure 12 : Gaine pour éliminer les RWIV (Millau, France).

Remerciements - Avec le soutien de O. Flamand, L. Gaillet, G. Dimitriadis

Contact - adel.benidir@cstb.fr



Analyse de la vulnérabilité sismique des maisons à ossature bois

Clément Boudaud

Fin de thèse prévue en décembre 2013

OBJECTIFS

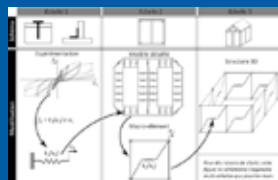
L'évolution des règles parasismiques pose un certain nombre d'enjeux scientifiques et techniques pour l'utilisation raisonnée de systèmes constructifs en bois.



Afin d'accompagner l'entrée en vigueur de l'Eurocode 8 (EC8 – Calcul de structures pour leur résistance aux séismes), des études récentes menées par le CSTB et FCBA ont mis en avant certaines interrogations et difficultés d'interprétation internes au chapitre bois de l'EC8. Nous cherchons donc à améliorer notre connaissance du comportement parasismique d'une maison à ossature bois (MOB). L'étude de la vulnérabilité sismique d'un tel ouvrage doit permettre de mieux appréhender les méthodes de dimensionnement. Un autre aspect de l'étude est la prise en compte de la variabilité des sollicitations et du comportement des MOB.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Approche couplée expérimentale / numérique en suivant une modélisation multi-échelle, des connecteurs métalliques jusqu'à la structure entière.



Échelle 1 : utilisation d'essais expérimentaux pour caler une loi de comportement hystérique pour chaque connecteur métallique (clous, équerres).

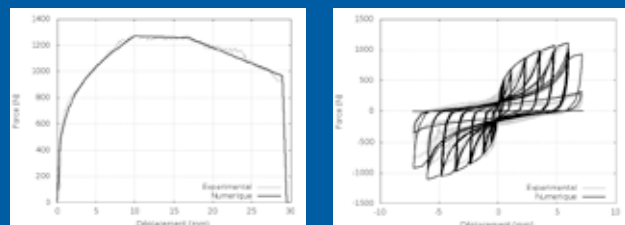


Figure 1: Calage des connecteurs métalliques en monotone et cyclique.

Échelle 2 : validation expérimentale du modèle EF de mur détaillé sous chargement quasi statique.

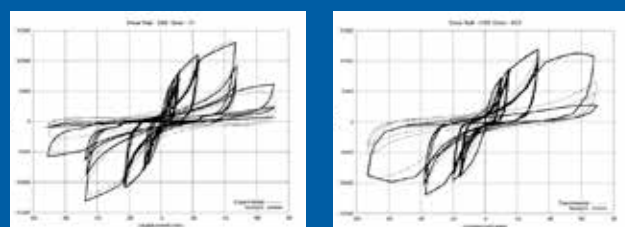


Figure 2: Comparaison numérique/expérimentale sur des murs de contreventement.

ÉTAT D'AVANCEMENT

Échelle 2 : validation du modèle éléments finis (EF) de mur détaillé sous chargements dynamiques à partir d'essais sur table vibrante menés au FCBA.



Figure 3: Essais dynamiques.

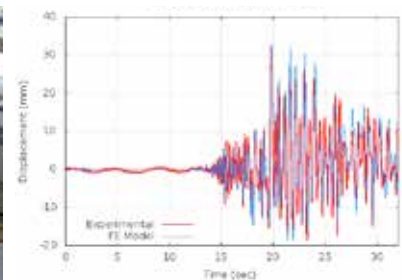


Figure 4: Comparaison numérique/expérimentale.

Échelle 2 : calage de l'élément macro sur les résultats du modèle EF de mur détaillé. Le calage est réalisé pour des chargements cycliques. Ensuite, vérification du macro-élément pour des chargements dynamiques.

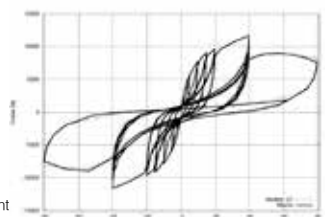


Figure 5: Calage du macro-élément

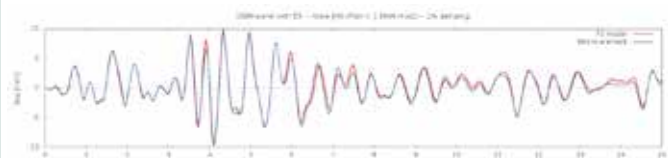


Figure 6: Vérification du macro-élément en dynamique.

Échelle 3 : développement d'un modèle 3D de maison par assemblage de macro-éléments. Calages des macro-éléments en cours. Validation prévue à partir d'un essai dynamique sur une maison sur la table vibrante du CEA (2013).

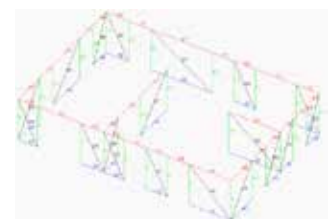


Figure 7: Modèle de structure.

PERSPECTIVES

- Essais dynamiques prévus sur une maison à ossature en bois sur la table vibrante du CEA (2013).
- Modélisation numérique d'une maison à ossature bois et étude des comportements globaux et locaux sous sollicitations sismiques.
- Au regard des méthodes simplifiées de l'EC8, le coefficient de comportement pourra être étudié.
- La méthode de modélisation utilisée permettra une analyse probabiliste du comportement des MOB sous sollicitations sismiques.

Étude expérimentale de la stabilité d'une éolienne offshore flottante soumise à l'action conjuguée de la houle et du vent

Adrien Courbois^{1,2}, Pierre Ferrant¹, Olivier Flamand², Jean-Marc Rousset¹

Fin de thèse prévue en septembre 2012

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

> Développement important de l'éolien offshore qui se heurte au problème des grandes profondeurs.

Les experts estiment que pour des profondeurs supérieures à 50 m, la solution ancrée n'est plus économiquement viable. Il faut donc recourir à des supports flottants comme ce fut le cas pour l'offshore pétrolier.

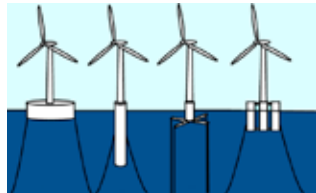
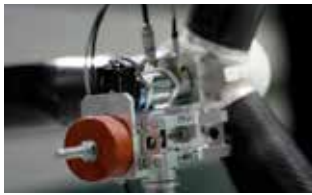


Figure 1 : Structures flottantes. De g. à d.: Barge, Spar TLP et Trifloat (© M. Philippe)

Objectifs

> Simuler expérimentalement l'action de la houle et du vent sur une éolienne flottante dans le but d'étudier la dynamique de la structure.

> Pour cela, un dispositif expérimental permettant la génération d'un vent offshore a été développé et validé sur le bassin de houle de l'École Centrale de Nantes.



ÉTAT D'AVANCEMENT

> Étude bibliographique (vent offshore, éolien flottant, génération du vent en bassin).

> Développement d'un outil CFD (Computational Fluid Dynamics) pour l'optimisation du dispositif de soufflage.

> Dimensionnement du dispositif de soufflage :

- 8 ventilateurs centrifuges de 18,5 kW (placés sur le bord du bassin, derrière les batteurs) ;
- 4 gaines souples de 13 m (grande modularité + gain de poids) pour conduire l'air à proximité de la maquette ;
- 4 diffuseurs (en jaune sur la photo) pour assurer une transition entre la gaine et la buse de soufflage ;
- une buse de soufflage de 2,80m x 2,80m.



Utilisation d'un nid d'abeille et d'une grille pour améliorer la qualité de l'écoulement.

> Qualification en bassin du dispositif de soufflage (sans houle).

> Génération de fluctuations de vitesse caractéristiques d'un vent marin par le contrôle de la vitesse de rotation des moteurs.

Bon accord entre la consigne et la mesure pour la partie basse fréquence ($f < 1\text{Hz}$).

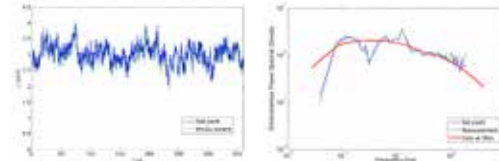


Figure 3 : Fluctuations de vitesse (gauche) et densité spectrale de puissance adimensionnée (droite).

PRINCIPAUX RÉSULTATS

> La qualité du dispositif de soufflage répond à nos attentes. Écoulement homogène dans la zone délimitant le rotor (cercle bleu) et taux de turbulence faible : $Tu < 3\%$ au centre du jet.

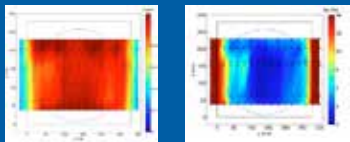
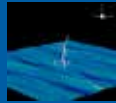


Figure 2 : Cartographie de vitesse moyenne (à gauche) et du taux de turbulence (à droite) 2 m en aval de la buse de soufflage (rectangle noir).

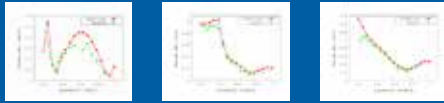
> Les mouvements de la maquette obtenus lors des essais ont été ramenés à l'échelle 1 et comparés avec une approche numérique (M. Philippe, LHEEA) avec et sans vent :

- bonne correspondance entre les essais et le code pour le cas sans vent (bonne prise en compte de la partie hydrodynamique par le code) ;
- influence logiquement limitée du vent sur le mouvement de pilonnement ;
- pour le cavement, le vent influence essentiellement la position en statique. Les ancrages étant linéaires, l'amplitude des mouvements autour de cette valeur ne change que très peu, pour des ancrages réels de type caténaires (non linéaires), ce ne sera pas forcément le cas ;
- l'ajout du vent dans les essais conduit à une augmentation du tangage autour de 0.4 rad/s. On observe également une augmentation numérique du tangage autour de cette pulsation avec vent mais de manière moins marquée. L'écart observé ici reste encore à expliquer.

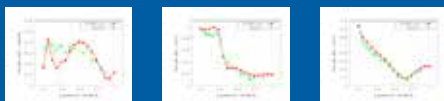


| | | |
|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Vent seul (statique) | Cavement expé = 11.5m | Cavement num = 12.5m |
| | Tangage expé = 6.5° | Tangage num = 5.9° |

Houle régulière, sans vent (dynamique)



Houle régulière, vent constant (dynamique)



Tangage

Pilonnement

Cavement

> Développement d'une méthodologie pour l'étude hydro/aéro-élastique à échelle réduite d'une éolienne flottante (respect des similitudes...).

> Dimensionnement de la maquette d'éolienne flottante au 1/50° (éolienne NREL 5MW + Dutch Tri-floater) :

- Respect des masses, des inerties et de la position du centre de gravité de chaque sous-système (flotteur, mât, nacelle, rotor)

- Respect du premier mode de flexion du mât :

- Utilisation d'ancrages aériens pour limiter le déplacement de la maquette



Cahier des charges : 5 Hz
Expérience : 4,2 Hz

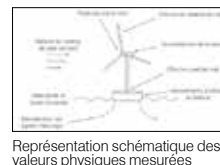
> Quelques chiffres issus du cahier des charges :

- diamètre rotor = 2,52m ;
- centre du rotor à 1,8 m de la surface libre ;
- masse des pales extrêmement faibles (135 g l'unité) compte tenu de leur longueur (1,23m) => fibre de carbone + épaisseur de 0,2 mm ;
- masse de l'ensemble éolienne+flotteur : 19 kg.



> Essais préliminaires en soufflerie (CSTB Nantes) de l'éolienne seule.

> Étude expérimentale de la stabilité d'un modèle réduit d'éolienne au 1/50°.



Représentation schématique des valeurs physiques mesurées



Cibles de trajectographie

Contact - adrien.courbois@cstb.fr

1. Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique (LHEEA), École Centrale de Nantes, UMR CNRS 6599
2. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Nantes

CSTB
le futur en construction

Étude des problématiques de similitude des écoulements pour les essais ferroviaires en soufflerie

Étude de l'influence des appendices de toiture des trains

Frédéric Deliancourt

Fin de thèse prévue en novembre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

L'augmentation croissante de la vitesse de circulation des trains ces dernières années a conduit à diminuer leur poids.

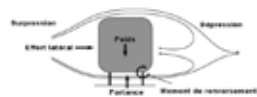


Figure 1: Répartition de la pression autour d'un train et efforts engendrés, d'après Hemida (2006).

Lorsque les trains circulent en condition de vent traversier, la différence de pression entre les faces au vent et sous le vent peut causer leur renversement.

Lors des essais en soufflerie, la similitude du nombre de Reynolds ne peut pas être respectée (taille des maquettes et vitesse trop contraignantes). La convergence des résultats en fonction de la vitesse doit donc être vérifiée.

Dans le cas de l'étude de l'influence d'un appendice (type mobilier en toiture d'une rame ferroviaire) sur l'écoulement global, la question de l'échelle à laquelle le reproduire se pose.

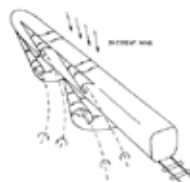


Figure 2: Structures du sillage d'un train, d'après Copley (1987).

Objectifs

- > Étudier en détail la topologie de l'écoulement autour d'un train.
- > Comprendre l'influence de lignes de toiture sur l'écoulement.
- > Dégager des règles de similitude pour la reproduction des détails lors d'essais à échelle réduite.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Topologie de l'écoulement



Figure 10: Structures du sillage d'un train, d'après Copley (1987).



Figure 11: Visualisation pariétale, le spectre de frottement permet d'identifier les différentes structures de l'écoulement.



Figure 12: Résultats obtenus par PIV, visualisation de l'écoulement moyen par le biais de lignes de courant. Vent incident suivant y. On peut suivre l'évolution des structures tourbillonnaires le long du train.

À droite: Côté sous le vent. On note la présence d'un tourbillon issu du toit et d'un doublet issu de l'écoulement passant sous le train.

À gauche: On peut suivre l'évolution des structures le long du train.

L'ensemble des mesures permet de mieux comprendre la topologie de l'écoulement.

2. Quantification de l'effet des lignes de toiture

> Pesée

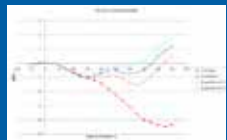


Figure 10: Effet des baguettes sur les efforts aérodynamiques.

Haut: Les lignes de toiture modifient complètement le comportement de la portance en fonction de l'angle de dérapage au-delà de 30°.

Bas: Les lignes de toiture augmentent le coefficient de moment de renversement (combinaison de l'effort latéral et de la portance).

> Mesures de pression pariétale



Figure 14: Effet des baguettes sur la répartition de pression le long du train. Vent incident suivant y. L'effet est le plus important côté au vent.

> Mesures PIV

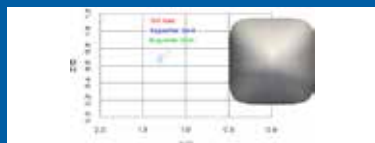


Figure 15: Plan PIV n°3 X/D=5 en partant du nez, maquette au 1:30. Identification des structures tourbillonnaires par le critère Γ_z . Les baguettes ont pour effet de faire remonter les structures et de les rapprocher du train.

ÉTAT D'AVANCEMENT

État de l'art

> L'écoulement autour des trains en condition de vent traversier.

Mesures en soufflerie

1. Topologie de l'écoulement, approche au 30°



Figure 3: schéma du modèle de train idéalisé.

- Choix d'un modèle de train générique : modèle de train idéalisé défini par Mair & Stewart (1985).
- Choix d'une position pour les lignes de toiture et de différentes échelles de reproduction.

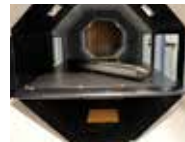


Figure 4: Modèle idéalisé à l'échelle 1:30 dans la soufflerie « bois » du laboratoire P'.

- > Campagne de mesure ayant pour but une meilleure compréhension de la topologie de l'écoulement. Les mesures effectuées sont les suivantes:
 - visualisations pariétales par enduit visqueux (mélange de kaolin, white spirit et acide oléique);
 - tomographie laser (visualisation de l'écoulement à l'aide de fumée);
 - vélocimétrie par image de particules (PIV) en deux dimensions, deux composantes (2D2C).

2. Mesures quantitatives, approche au 15°



Figure 5: Modèle hybride à l'échelle 1:15.

- Mesures sur le modèle idéalisé à l'échelle 1:15, et sur un modèle hybride utilisant la moitié inférieure du modèle et le toit d'un train régional existant.



Figure 6: Modèle idéalisé à l'échelle 1:15.

- > Campagne de mesures ayant pour but de connaître le comportement des modèles de train et de quantifier l'effet des lignes de toiture. Mesures réalisées:
 - pesée (utilisation d'une balance dynamométrique 6 composantes);
 - mesures de pression pariétale (182 prises de pression réparties en 7 couronnes, 6 capteurs PSI utilisés);
 - vélocimétrie par image de particules 2D2C;
 - visualisations pariétales.



Figure 7: Equipement de la maquette en prises de pression.



Figure 8: Maquette du modèle hybride sur un avaloir de couche limite contenant la balance dans la veine haute vitesse de la soufflerie SC1 du CSTB (Nantes).



Figure 9: Montage PIV dans la veine haute vitesse de la SC1.

PERSPECTIVES

- > Étude de l'influence de l'angle de dérapage sur la topologie de l'écoulement.
- > Étude de l'influence de la hauteur des lignes de toiture.

- Mesures résolues en temps.
- Mesures PIV couplées à des mesures de pression.
- PIV pour des configurations supplémentaires.
- Mesure de la troisième composante PIV (PIV2D3C).
- Étude numérique à l'aide du code de calcul OpenFOAM.

Recherche de critères de similitude pour la reproduction des lignes de toiture.

Remerciements - Avec le soutien de S. Aguinaga¹, J. Borée², J-P Bouchet¹, R.Grégore³, N. Paradot⁴, C. Sicot², F. Paillé². ¹Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), ²Institut P', ³Alstom Transport, ⁴Société nationale des chemins de fer français.

Contact - frederic.deliancourt@cstb.fr



Étude du niveau de confiance du logiciel de simulation incendie FDS à travers les cas des panaches libre et impactant

Damien Lamalle

Fin de thèse prévue en octobre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

> Sujet de recherche motivé par deux facteurs :

- le développement des bâtiments basse consommation modifiant plusieurs paramètres comme la ventilation et les conditions aux parois,
- l'usage de plus en plus courant des simulations numériques de type CFD (Computational Fluid Dynamics) pour l'ingénierie de la sécurité incendie.

Quelle confiance peut-on accorder aux résultats des simulations numériques de type CFD utilisées pour la sécurité incendie ?

Objectifs

> Estimer la robustesse des modèles numériques.

> Évaluer les erreurs et incertitudes sur 4 cas concrets :

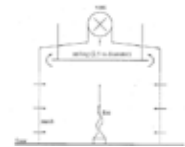
- panaches libre et impactant
- pièce avec plusieurs types d'isolation
- cas représentatif d'un tunnel
- cas représentatif d'un grand volume

> Rédiger des recommandations pour l'emploi raisonné de la Computational Fluid Dynamics (CFD) en sécurité incendie, conscient de ses forces et limites.

ÉTAT D'AVANCEMENT

Avancement

- Utilisation de Fire Dynamics Simulator (FDS).
- Simulation d'un panache (thèse de G. Rooney, 1997).
- Modification du code FDS de manière à calculer les équations de panache en fonction de la hauteur pour chaque pas de temps.



G. Rooney, 1997 (3x3x2m)

Flux de masse

$$G = \iint_S \rho w \, dS$$

Flux de flottabilité

$$B = \iint_S g \frac{\rho_a - \rho}{\rho_a} w \, dS$$

Flux de quantité de mouvement

$$M = \iint_S \rho w^2 \, dS$$

Objectifs de la simulation

> Étudier le phénomène du panache impactant.

> Étudier la sensibilité :

- du modèle du foyer (modèle de combustion, plaque chauffante et injection d'air chaud);
- au maillage.

> Étudier l'influence de la hauteur du plafond sur le panache impactant.

Présentation de la simulation

> Maillage :

- (100x100x80) : 800000 mailles;
- volume de contrôle de 27 cm³ - 0.03x0.03x0.03m.

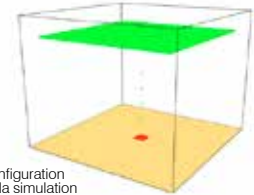
> Temps de simulation : 1200 s

- temps mis par le calcul : 10,5 jours.

> Pas de modèle de combustion

> Source : injection d'air chaud

- surface (18x18 cm) : 324 cm²;
- vitesse d'injection : 2,2636 m/s;
- température d'injection : 1000°C.



Configuration de la simulation

> Plafond situé à 2 m

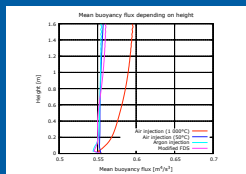
PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Influence de la chaleur spécifique (c_p)

> Le flux de flottabilité n'est pas constant avec la hauteur si :

- la température d'injection du gaz est très différente de la température ambiante;
- la chaleur spécifique du gaz est dépendante de la température.

| n° | Couleur | Gaz | Température | FDS |
|----|------------|-------|-------------|-----------|
| 1 | rouge | Air | 1000°C | Classique |
| 2 | bleu foncé | Air | 50°C | Classique |
| 3 | bleu clair | Argon | 1000°C | Classique |
| 4 | violet | Air | 1000°C | Modifié |



2. Influence de la troncature de l'intégrale

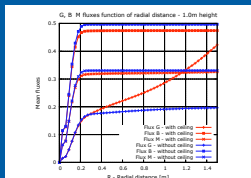
> Détermination des flux G, B et M

- Hauteur = 1 m
- Calcul des flux en fonction de la distance radiale

$$G(R) = 2\pi \int_0^R \rho \, w \, r \, dr$$

$$B(R) = 2\pi \int_0^R g \frac{\rho_a - \rho}{\rho_a} w \, r \, dr$$

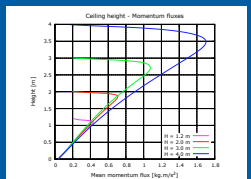
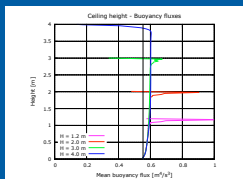
$$M(R) = 2\pi \int_0^R \rho w^2 \, r \, dr$$



> Le flux G(R) de la simulation avec plafond ne se stabilise pas

3. Influence de la hauteur du plafond

> 4 hauteurs de plafond : 1, 2, 3 et 4 mètres



PERSPECTIVES

1. Poursuite de l'étude sur l'influence du maillage

2. Utiliser des versions parallèles du code FDS

- > Gains de temps lors des simulations
- > Réduction de la taille des mailles afin de capter des phénomènes physiques plus petits

3. Étudier la sensibilité à différents paramètres

- > Modèle de combustion, modèle de turbulence, maillage, conditions aux limites, forme et type de la source chaude...

4. Confronter les résultats à la littérature

5. Étudier d'autres cas

- > Tunnels, grands volumes, pièces avec différents isolants

Remerciements - Directeur de thèse : Richard Perkins ;
Codirecteur : Pietro Salizzoni ; Encadrant CSTB : Pierre Carlotti
Contact - damien.lamalle@cstb.fr



Modélisation au feu de panneaux de compartimentage en béton, type bandeaux horizontaux

Pham Duc Toan

Fin de thèse prévue en septembre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Évolution de 6 m à 12 m de la trame des ossatures de bâtiments industriels.

- > **Panneaux de compartimentage en béton armé de plus grandes dimensions.**

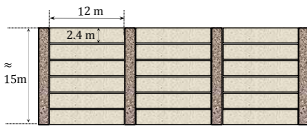


Figure 1 : Panneau de compartimentage de grande hauteur en bandes horizontales.

> Spécificités pour l'évaluation au feu

- Compression due au poids propre.
- Précontrainte.
- Flexion et torsion induites par le feu (effets du second ordre non négligeables).

Objectifs

- > **Méthode d'évaluation du comportement au feu de ce type de panneaux en tenant compte des spécificités et des modes de ruine correspondants.**

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Critère de rupture d'une plaque en béton armé soumise à une flexion composée uni-axiale au feu

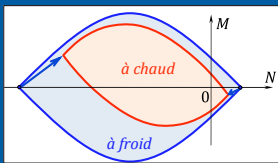


Figure 2 : Critère de rupture d'une plaque en béton seul à froid et à chaud.

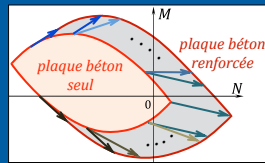


Figure 3 : Participation des armatures dans le critère de rupture d'une plaque béton renforcée au feu.

> Originalités de la modélisation développée

- Formulation analytique générale (éviter les difficultés liées aux calculs numériques).
- Généralisation du critère pour plusieurs lits d'armatures.

> Moyens de validation

- Calculs numériques (SAFIR, CIMFeuEC2).
- Comparaison avec les essais (essais de CROZIER 2000, essais du CSTB 1975).

2. Critère de rupture d'une plaque en béton armé soumise à une flexion composée bi-axiale à température ambiante

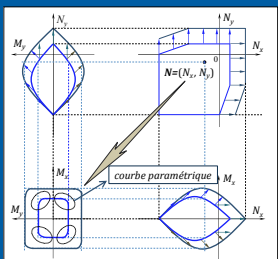


Figure 4 : Critère de rupture exprimé en fonction de 4 paramètres de chargement : bi-flexion+bi-traction/bi-compression.

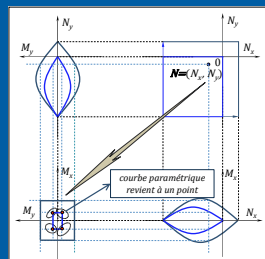


Figure 5 : Critère de rupture exprimé en fonction de 4 paramètres de chargement : bi-flexion+bi-traction/bi-compression dans le cas la résistance du béton est négligée.

> Originalités de la modélisation développée

- Formulation analytique générale.
- Représentation par des couplages du critère à 4 dimensions.

> Moyens de validation

- Comparaison avec les essais (Polak et Vecchio 1994, Pascu 1995).

ÉTAT D'AVANCEMENT

Étude bibliographique

- > **Méthodes usuelles de calcul des structures béton armé au feu et outils de dimensionnement.**
- > **Modélisation par calcul à la rupture.**
- > **Essais existants sur poutres ou dalles en béton armé, à froid et à chaud.**

Modélisation

> Critère de rupture

- Plaque en flexion composée uni-axiale

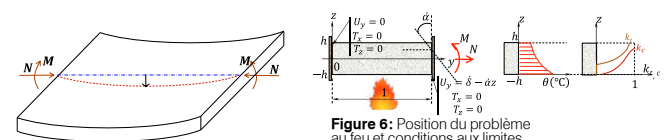


Figure 6 : Position du problème au feu et conditions aux limites.

$$\underline{\underline{\sigma}}_c = \sigma_c(z) \underline{e}_y \otimes \underline{e}_y$$

$$p_{ext}(\underline{U}) = \int_{\Omega} (\underline{\sigma} : \underline{\underline{d}}) d\Omega$$

$$\sigma_{s,i=1,n} = \begin{cases} k_s(\theta_{s,i=1,n}) f_y & \text{si } \delta - \alpha \xi_{i=1,n} \geq 0 \\ 0 & \text{si } \delta - \alpha \xi_{i=1,n} < 0 \end{cases} \quad N\delta + M\alpha = \min_{\underline{U}} \left\{ \int_{\Omega} \pi_c(\underline{d}) d\Omega + \int_{\Omega_s} \pi_s(d_s) d\Omega_s \right\}$$

Rédaction en cours d'un article sur le diagramme d'interaction (M,N) pour une plaque en béton armé soumise à une flexion composée en condition d'incendie.

- Plaque en flexion composée bi-axiale

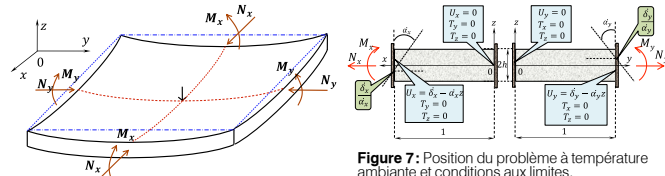


Figure 7 : Position du problème à température ambiante et conditions aux limites.

$$(N_x, M_x, N_y, M_y) \in K \Leftrightarrow \begin{cases} \exists \underline{\underline{\sigma}} \text{ S.A. avec } (N_x, M_x, N_y, M_y) \\ f(\underline{\underline{\sigma}}(x, y, z)) \leq 0 \forall (x, y, z) \in \Omega \end{cases}$$

- Influence de l'orientation des armatures sur le critère de rupture.

Expérimentation

> Essais au feu à petite échelle

- Validation du critère de rupture d'une plaque béton renforcée par des armatures à orientation variable, en flexion composée à froid et au feu.

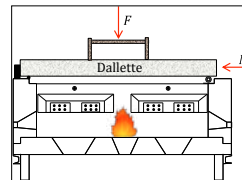


Figure 7 : Configuration des essais à petite échelle au four à maquette.

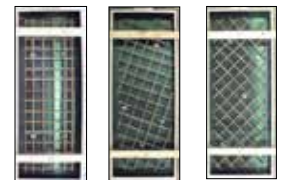


Figure 7 : Armatures orientées 0°, 20°, 45° par rapport à l'axe longitudinal.

PERSPECTIVES

1. Suite de la modélisation : modèle du panneau de compartimentage

- Application des critères de rupture sur la géométrie déformée.
- Étude du modèle complet.

2. Suite de l'expérimentation : essais au feu à grande échelle

- Validation du modèle de panneau par essais au four Vulcain.

Remerciements - Avec le soutien de P. De Buhan, C. Florence, H.H. Nguyen
Contact - ductoan.pham@cstb.fr



Vulnérabilité des ancrages chimiques d'armatures dans le béton en situation d'incendie

Nicolas Pinoteau

Fin de thèse prévue en janvier 2013

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

> Ancrage chimique:



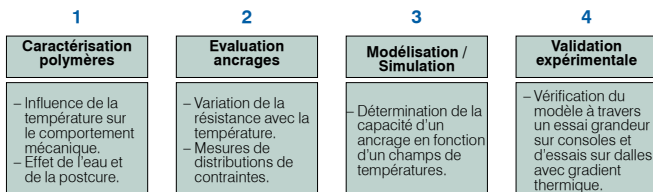
Fixation d'une armature en acier dans un élément en béton grâce à une résine polymère qui assure l'adhésion.

- Utilisation de matériaux polymères pour des applications structurales.
- Chute des propriétés mécaniques des polymères avec la température.

Besoin d'une méthode de dimensionnement pour faire face à une situation d'incendie.

Objectifs et démarche

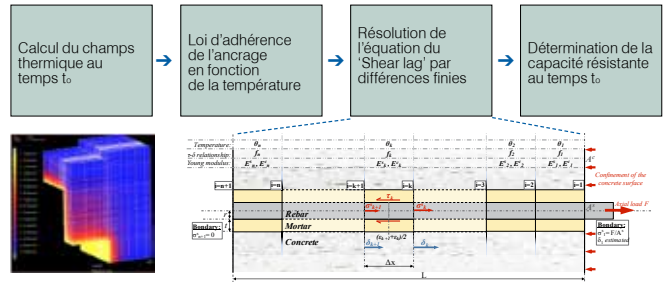
- Comprendre les mécanismes de rupture d'un scellement chimique à chaud.
- Proposer une modélisation permettant de dimensionner ces ancrages en situation d'incendie.



ÉTAT D'AVANCEMENT

3. Modélisation pour déterminer la capacité d'un ancrage

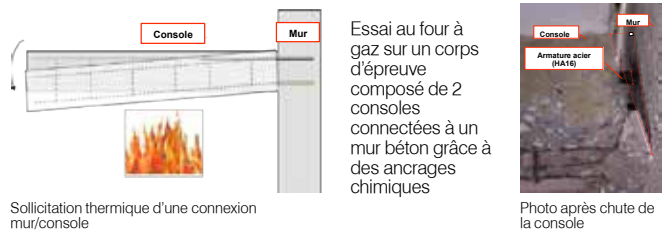
Cas d'une distribution thermique non uniforme le long de l'armature.



La loi d'adhérence = donnée d'entrée \Rightarrow Prise en compte générale du comportement d'un ancrage. La déformation du béton et de l'armature sont prédominantes sur celle de la résine à température ambiante.

4. Validation expérimentale

Essai grandeur sur consoles



Sollicitation thermique d'une connexion mur/console

Photo après chute de la console

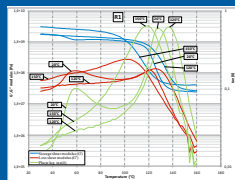
| Temps de ruine | |
|--|---------------------------|
| Prediction du modèle d'intégration simplifié | Observation expérimentale |
| Entre 150 min et 180 min | 178 min et 195min |

Ruine observée = glissement de l'armature dans la partie scellée chimiquement.
Grandes différences de températures le long de l'ancrage: entre 200°C et 50°C sur 250mm.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Caractérisation de polymères

Analyse thermomécanique dynamique (DMTA).



Variations des modules de cisaillement (G' , G'') pour différentes températures de posture.

Enceinte thermique

Sollicitation en déformation



Mesure de la réponse en contrainte
Éprouvette de résine (12x0,8x40mm)
Viscoanalyseur (en torsion).

Températures de transitions vitreuses (T_g): de 80°C à 130°C

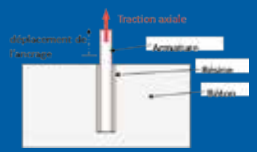
La posture \nearrow les modules de cisaillement et T_g

L'eau peut faire \searrow la résistance en traction

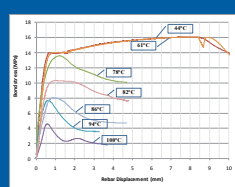
Le fluage à haute température est observable pour tous les produits

2. Évaluation d'un ancrage par essais d'arrachement

Essai d'arrachement



Principe d'un essai d'arrachement



Variation de la loi d'adhérence en fonction de la température

La résistance en adhérence \searrow avec la température.

Le fluage est observable à partir de 80°C

(pour l'une des résines époxy).

Le profil de contraintes d'adhérence est uniforme à la rupture à 80°C.



Photo après arrachement d'une armature

PERSPECTIVES

> Essais & données nécessaires à la modélisation
Complément pour la prise en compte de la déformation du béton.

> Modélisation
- Prise en compte du fluage.
- Prise en compte des différences de dilatation thermique entre matériaux.

> Validation
Essai structure avec le four modulaire de grande taille Vulcain.

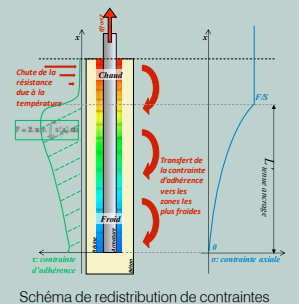


Schéma de redistribution de contraintes

Remerciements - Encadrement : Pierre Pimienta, Sébastien Rémond (EMDouai), Thierry Guillet - Soutien : Philippe Rivillon, Joannie Chin (NIST), Donald Hunston (NIST), Fahim Sadek (NIST).

Contact - nicolas.pinoteau@ctsb.fr



Modélisation numérique et expérimentale des phénomènes de givrage par accrétion de neige collante

Alessandro Vigano

Fin de thèse prévue en novembre 2012

OBJECTIFS

- Étude des paramètres physiques qui gouvernent l'accrétion de neige collante sur les structures de génie civil et aéronautiques.
- Modélisation numérique : modèle simulant l'accrétion de neige collante selon les caractéristiques des particules de neige.

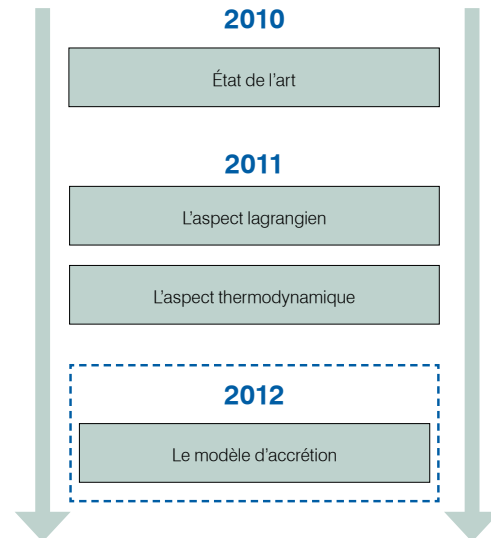
> Effets des accrétions de neige collante sur différentes structures :



Risques pour les personnes et les infrastructures

ÉTAT D'AVANCEMENT

- Analyse des processus liés au phénomène d'accrétion : processus de congélation d'une goutte, bilans massique et thermique.
- Étude des paramètres thermiques et aérodynamiques qui influencent l'accrétion.



> Partie numérique :

- modélisation du processus de congélation d'une goutte d'eau pour différentes tailles de gouttes, vitesse d'air, température ambiante,
- modélisation des aspects dynamiques des particules givrantes,
- modélisation avec le code numérique OpenFOAM du dépôt et accrochage des particules sur des formes simples.

> Partie expérimentale :

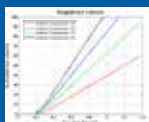
- mise en œuvre d'une méthode expérimentale pour étudier les phénomènes d'accrétion,
- tests en soufflerie pour évaluer l'influence de la température ambiante sur la TEL,
- étude des aspects thermiques et aérodynamiques du phénomène d'accrétion en proposant un coefficient empirique β .

PRINCIPAUX RÉSULTATS

> Partie numérique

Exemple de la congélation d'une goutte d'eau et d'une simulation de transport des particules :

TEL particule



Simulation OpenFOAM des collisions des particules sur un obstacle cylindrique



Simulation OpenFOAM des accrétions sur un obstacle cylindrique

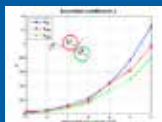


> Partie expérimentale

Coefficient normalisé β de quantification de l'accrétion sur la structure de test :

ψ_a = masse d'accrétion sur les cylindres par unité de surface et par unité de temps

φ_n = flux de neige incident



PERSPECTIVES

> Partie numérique :

couplage des modèles thermique et aérodynamique pour évaluer l'accrétion, simulation des accrétions de neige collante sur des formes simples simulant l'enveloppe d'un bâtiment ou d'une structure urbaine.

> Partie expérimentale :

tests des méthodes de détermination de la TEL des particules : sonde à fil chaud (développement interne sur la base des sondes King et Nevzorov); mesures optiques (campagne d'essai en partenariat avec le laboratoire LAMP de Clermont-Ferrand).

Remerciements – Directeur de thèse : Jacques Borée (Institut P'-ENSMA);
Avec le soutien de : Didier Guffond (ONERA), Philippe Delpech, Sylvain Aguinaga
Contact – alessandro.vigano@cstb.fr



Analyse des réserves de sécurité à partir de méthodes de fiabilité: application à un panneau en bois massif contrecollé (PBC)

Van Huyen Vu

Fin de thèse prévue en décembre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

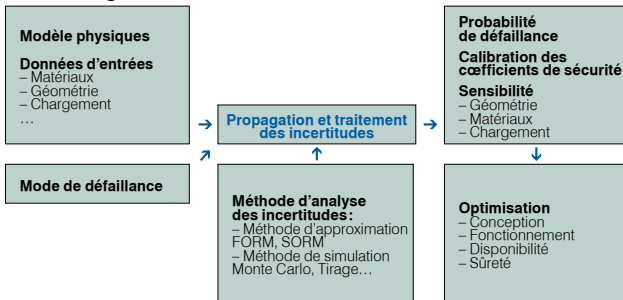
L'objectif principal de cette thèse vise à développer la mise en application des méthodes probabilistes au lieu de l'approche semi-probabiliste courante, pour dimensionner des bâtiments et des structures de génie civil notamment par la calibration des coefficients partiels de sécurité. Le dimensionnement des structures par la méthode probabiliste permet une optimisation technico-économique. Cette « nouvelle » méthode, appelée performance structurale, est destinée aux concepteurs et aux évaluateurs qui devront s'appuyer sur des méthodes et des outils d'ingénierie de la sécurité adaptés et opérationnels. Les effets de performance structurale seront plus judicieux pour des ouvrages grands ou exceptionnels ainsi que la redondance de structures censées disposer de réserve de sécurité.

Objectifs

- > Calibration des coefficients partiels de sécurité (cas plancher, cas murs).
- > Analyse des redondances.
- > Optimisation des assemblages.
- > Analyse multirisque (dont durabilité des assemblages).

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Méthodologie



2. Justification d'un plancher en PBC selon la méthode Gamma (méthode EC)



Figure 1: Poutres simple.



Figure 2: Coupes transversales d'un PBC.

| Paramètres | Valeur | Coefficient de sécurité |
|--|--------------------------|-------------------------|
| Longueur L | 6000 mm | - |
| Largeur b | 5000 mm | - |
| Épaisseur longitudinale L1, L2 | 54 mm | - |
| Épaisseur longitudinale T1 | 11 mm | - |
| Épaisseur transversale b | 27 mm | - |
| Module d'élasticité axiale E _{axial} | 11000 N/mm ² | - |
| Module d'élasticité transversaire E _{trans} | 500 N/mm ² | - |
| Module de cisaillement G _{axial} | 400 N/mm ² | - |
| Module de cisaillement constant G _{const} | 50 N/mm ² | - |
| Résistance à traction f _{t,k} | 24 N/mm ² | γ _t = 1,3 |
| Résistance à compression f _{c,k} | 0,7 N/mm ² | γ _c = 1,5 |
| Module volumique ρ _k | 1500 N/mm ³ | γ _m = 1,05 |
| Charge permanente G | 0,8150 N/mm ² | γ _G = 1,35 |
| Charge d'exploitation Q | 1,5 N/mm ² | γ _Q = 1,5 |

Figure 3: Modèle déterministe.

| Risq limite + état | Combinaison d'actions | Sélect des coefficients |
|--------------------|----------------------------|-------------------------|
| ELU final | S _{Ed} = G + Q | 1,35G |
| ELU instat | S _{Ed} = G + 0,9Q | 1,35G + 1,5Q |
| ELS instat | G + 0,9Q | G |
| ELS (DVI) | G + 0,9Q | G + 0,9Q |

Figure 4: Combinaison d'action.

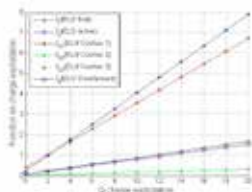


Figure 5: Courbe des critères.

3. Évaluation de PBC par approche probabiliste

| Variable | Statistique | Unité | Valeur N | Minimum | ET | Quantile |
|---|---|--------|----------|---------|--------|----------|
| Charge permanente | G (N/mm ²) | 0,8150 | 10000 | 0,8150 | 0,8150 | 0,8150 |
| Charge d'exploitation | Q (N/mm ²) | 1,5 | 10000 | 0,8150 | 1,5 | 1,5 |
| Module d'élasticité axiale | E _{axial} (N/mm ²) | 11000 | 10000 | 11000 | 11000 | 11000 |
| Module d'élasticité transversaire | E _{trans} (N/mm ²) | 500 | 10000 | 500 | 500 | 500 |
| Module de cisaillement constant | G _{const} (N/mm ²) | 50 | 10000 | 50 | 50 | 50 |
| Module de cisaillement axiale | G _{axial} (N/mm ²) | 400 | 10000 | 400 | 400 | 400 |
| Module de cisaillement transversaire | G _{trans} (N/mm ²) | 400 | 10000 | 400 | 400 | 400 |
| Épaisseur longitudinale L1 | L1 (mm) | 54 | 10000 | 54 | 54 | 54 |
| Épaisseur longitudinale L2 | L2 (mm) | 54 | 10000 | 54 | 54 | 54 |
| Épaisseur transversale b | b (mm) | 27 | 10000 | 27 | 27 | 27 |
| Module volumique ρ _k | ρ _k (N/mm ³) | 1500 | 10000 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Longueur L | L (mm) | 6000 | 10000 | 6000 | 6000 | 6000 |
| Largeur b | b (mm) | 5000 | 10000 | 5000 | 5000 | 5000 |
| Épaisseur longitudinale T1 | T1 (mm) | 11 | 10000 | 11 | 11 | 11 |
| Épaisseur longitudinale T2 | T2 (mm) | 11 | 10000 | 11 | 11 | 11 |
| Épaisseur transversale b | b (mm) | 27 | 10000 | 27 | 27 | 27 |
| Module d'élasticité axiale | E _{axial} (N/mm ²) | 11000 | 10000 | 11000 | 11000 | 11000 |
| Module d'élasticité transversaire | E _{trans} (N/mm ²) | 500 | 10000 | 500 | 500 | 500 |
| Module de cisaillement constant | G _{const} (N/mm ²) | 50 | 10000 | 50 | 50 | 50 |
| Module de cisaillement axiale | G _{axial} (N/mm ²) | 400 | 10000 | 400 | 400 | 400 |
| Module de cisaillement transversaire | G _{trans} (N/mm ²) | 400 | 10000 | 400 | 400 | 400 |
| Résistance à traction f _{t,k} | f _{t,k} (N/mm ²) | 24 | 10000 | 24 | 24 | 24 |
| Résistance à compression f _{c,k} | f _{c,k} (N/mm ²) | 0,7 | 10000 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Module volumique ρ _k | ρ _k (N/mm ³) | 1500 | 10000 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Charge permanente G | G (N/mm ²) | 0,8150 | 10000 | 0,8150 | 0,8150 | 0,8150 |
| Charge d'exploitation Q | Q (N/mm ²) | 1,5 | 10000 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |

Figure 6: Modèle probabiliste.

| Fonction d'état limite | β _{fiabilité} | β _{conserv} |
|--|------------------------|----------------------|
| Résistance de flexion (ELU instantané) | 8,6302 | 3,8 |
| Résistance de cisaillement instantané (ELU instantané) | 8,6311 | 3,8 |
| Résistance de flexion (ELU final) | 13,4911 | 3,8 |
| Résistance de cisaillement instantané (ELU final) | 13,3012 | 3,8 |
| Fatigue retrait-dilatation (ELU final) | 1,8082 | 1,5 |
| Fatigue active (ELU instantané) | 2,0379 | 1,5 |

Figure 8: Analyse de fiabilité.

$$P_f = \mathbb{P}[g(X) \leq 0]$$

| Critères | |
|------------------|--|
| ELS final | $g(X) = \Delta_{admis} - \Delta_{act,fin}$ |
| ELS active | $g(X) = \Delta_{admis} - \Delta_{act,actif}$ |
| ELU flexion | $g(X) = f_{t,k} - \sigma_{max}$ |
| ELU Cisaillement | $g(X) = f_{t,k} - \tau_{max}$ |

Figure 7: Fonction d'état limite.

| Variable | ET | ET | Paramètre d'importance (γ) | Coefficient partiel |
|--------------------|--------|-------|----------------------------|---------------------|
| G | 0,8150 | 10000 | 1,35 | 1,35 |
| Q | 1,5 | 10000 | 1,5 | 1,5 |
| E _{axial} | 11000 | 10000 | 1,0 | 1,0 |
| E _{trans} | 500 | 10000 | 1,0 | 1,0 |
| G _{const} | 50 | 10000 | 1,0 | 1,0 |
| G _{axial} | 400 | 10000 | 1,0 | 1,0 |
| G _{trans} | 400 | 10000 | 1,0 | 1,0 |
| f _{t,k} | 24 | 10000 | 1,35 | 1,35 |
| f _{c,k} | 0,7 | 10000 | 1,5 | 1,5 |
| ρ _k | 1500 | 10000 | 1,05 | 1,05 |
| L | 6000 | 10000 | 1,0 | 1,0 |
| b | 5000 | 10000 | 1,0 | 1,0 |
| T1 | 11 | 10000 | 1,0 | 1,0 |
| T2 | 11 | 10000 | 1,0 | 1,0 |
| b | 27 | 10000 | 1,0 | 1,0 |

Figure 9: Analyse de fiabilité de la résistance de flexion d'ELU instantané.

4. Calibration de coefficients partiels de sécurité pour une seule situation de structure

$$g = zR - (G + Q) - \frac{L^2 E_t}{8 E_{ELU}} (\gamma_0 + 0,5\theta_1) \leq 0$$

| Variable | Statistique | Unité | Valeur N | Minimum | ET | Quantile |
|---|---|--------|----------|---------|--------|----------|
| Charge permanente | G (N/mm ²) | 0,8150 | 10000 | 0,8150 | 0,8150 | 0,8150 |
| Charge d'exploitation | Q (N/mm ²) | 1,5 | 10000 | 0,8150 | 1,5 | 1,5 |
| Module d'élasticité axiale | E _{axial} (N/mm ²) | 11000 | 10000 | 11000 | 11000 | 11000 |
| Module d'élasticité transversaire | E _{trans} (N/mm ²) | 500 | 10000 | 500 | 500 | 500 |
| Module de cisaillement constant | G _{const} (N/mm ²) | 50 | 10000 | 50 | 50 | 50 |
| Module de cisaillement axiale | G _{axial} (N/mm ²) | 400 | 10000 | 400 | 400 | 400 |
| Module de cisaillement transversaire | G _{trans} (N/mm ²) | 400 | 10000 | 400 | 400 | 400 |
| Épaisseur longitudinale L1 | L1 (mm) | 54 | 10000 | 54 | 54 | 54 |
| Épaisseur longitudinale L2 | L2 (mm) | 54 | 10000 | 54 | 54 | 54 |
| Épaisseur transversale b | b (mm) | 27 | 10000 | 27 | 27 | 27 |
| Module volumique ρ _k | ρ _k (N/mm ³) | 1500 | 10000 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Longueur L | L (mm) | 6000 | 10000 | 6000 | 6000 | 6000 |
| Largeur b | b (mm) | 5000 | 10000 | 5000 | 5000 | 5000 |
| Épaisseur longitudinale T1 | T1 (mm) | 11 | 10000 | 11 | 11 | 11 |
| Épaisseur longitudinale T2 | T2 (mm) | 11 | 10000 | 11 | 11 | 11 |
| Épaisseur transversale b | b (mm) | 27 | 10000 | 27 | 27 | 27 |
| Module d'élasticité axiale | E _{axial} (N/mm ²) | 11000 | 10000 | 11000 | 11000 | 11000 |
| Module d'élasticité transversaire | E _{trans} (N/mm ²) | 500 | 10000 | 500 | 500 | 500 |
| Module de cisaillement constant | G _{const} (N/mm ²) | 50 | 10000 | 50 | 50 | 50 |
| Module de cisaillement axiale | G _{axial} (N/mm ²) | 400 | 10000 | 400 | 400 | 400 |
| Module de cisaillement transversaire | G _{trans} (N/mm ²) | 400 | 10000 | 400 | 400 | 400 |
| Résistance à traction f _{t,k} | f _{t,k} (N/mm ²) | 24 | 10000 | 24 | 24 | 24 |
| Résistance à compression f _{c,k} | f _{c,k} (N/mm ²) | 0,7 | 10000 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Module volumique ρ _k | ρ _k (N/mm ³) | 1500 | 10000 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Charge permanente G | G (N/mm ²) | 0,8150 | 10000 | 0,8150 | 0,8150 | 0,8150 |
| Charge d'exploitation Q | Q (N/mm ²) | 1,5 | 10000 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |

Figure 10: Modèle probabiliste pour la calibration.

| Risq | ET | ET | γ | γ ² | γ ³ | γ ⁴ | γ ⁵ | γ ⁶ | γ ⁷ | γ ⁸ |
|------|-------|-------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 3,8 | 14,44 | 14,44 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |
| 4,5 | 20,25 | 20,25 | 1,5 | 2,25 | 3,38 | 5,06 | 7,59 | 11,18 | 16,09 | 22,84 |
| 3,8 | 14,44 | 14,44 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |
| 4,3 | 18,49 | 18,49 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |
| 3,8 | 14,44 | 14,44 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |
| 4,9 | 24,01 | 24,01 | 1,5 | 2,25 | 3,38 | 5,06 | 7,59 | 11,18 | 16,09 | 22,84 |

Figure 11: Coefficients partiels de sécurité obtenus par la calibration directe.

| Risq | ET | ET | γ | γ ² | γ ³ | γ ⁴ | γ ⁵ | γ ⁶ | γ ⁷ | γ ⁸ |
|------|-------|-------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 3,8 | 14,44 | 14,44 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |
| 4,3 | 18,49 | 18,49 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |
| 3,8 | 14,44 | 14,44 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |
| 4,3 | 18,49 | 18,49 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |
| 3,8 | 14,44 | 14,44 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |
| 4,3 | 18,49 | 18,49 | 1,35 | 1,82 | 2,44 | 3,25 | 4,28 | 5,64 | 7,38 | 9,56 |

Figure 12: Coefficients partiels de sécurité obtenus par la calibration proposée par Eurocodes.

ÉTAT D'AVANCEMENT

1. Implémenter le modèle mécanique
Illustration des méthodes de conception proposées pour calculer les propriétés des panneaux en bois contrecollé (PBC) – méthode Gamma.
2. Évaluation de panneau en bois contrecollé par approche probabiliste
– Détermination de la charge limite (déterministe).
– Modèle probabiliste, analyse de fiabilité, facteurs importants, etc.
3. Calibration des coefficients partiels de sécurité
– Recherche des coefficients partiels qui permettront d'évaluer des ouvrages existants courants par approche semi-probabiliste.

PERSPECTIVES

- > Calibration des coefficients partiels pour un ensemble de structure; portage de la méthode à d'autres applications.
- > Analyse de risque d'un panneau en bois massif contrecollé (à développer...)

Simulation et outils numériques

Khalil BOUZIDI
Jan JAGLA
Mateusz KOZINSKI
David OK
Mahmoud OMIDVAR
Xavier VUYLSTEKE

Aide à la création de documents technico-réglementaires dans le domaine du bâtiment

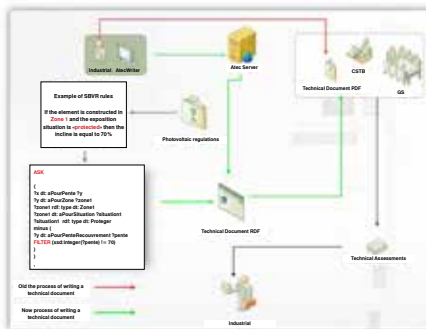
K.R. Bouzidi, B. Fies, C. Faron-Zucker, N. Le Thanh

OBJECTIFS

La problématique de la rédaction réglementaire nous pousse à chercher quelles sont les pistes actuelles pour faciliter la rédaction de réglementations en tenant compte des contraintes déjà exprimées dans le corpus réglementaire existant et de quelles façons une aide peut être apportée dans ce domaine grâce à la mise en œuvre de services sémantiques adaptés.

Nous nous intéressons plus particulièrement dans notre étude aux Avis Techniques. Il s'agit de préciser comment ils sont rédigés et comment standardiser leur structure grâce à la mise en œuvre de services sémantiques adaptés. Nous avons divisé la problématique de rédaction en deux parties :

- > **La constitution du dossier technique**
 - N-échanges entre l'industriel et les instructeurs du CSTB avant d'arriver à un dossier technique complet.
- > **La rédaction d'avis technique**
 - Processus de rédaction actuel trop long.



PUBLICATIONS

- Semantic Web Approach to Ease Regulation Compliance Checking in Construction Industry, Special Issue "Semantic Interoperability and Knowledge Building" of Future Internet journal (ISSN 1999-5903).
- Towards a Semantic-based Approach for Modeling Regulatory Documents in Building Industry, ECPPM 2012, 9th European Conference on Product & Process Modelling, Reykjavik, Iceland, 2012.
- Aide à la rédaction de documents réglementaires dans le domaine du bâtiment, Proc. 23es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances, IC 2012, Paris, France, 2012.
- An Ontological Approach For Modeling Technical Standards For Compliance Checking, The Fifth International Conference on Web Reasoning and Rule Systems, RR 2011, Galway, Ireland.
- An Ontology For Modelling And Supporting The Process Of Authoring Technical Assessments, Submitted to the International Council for Building Conference (CIB 2011), Sophia-Antipolis, France.
- Aide à la création de documents technico-réglementaires dans le domaine du bâtiment (poster) IC 2010, The 21st Francophone day of Knowledge engineering, Nîmes, France.
- Towards a Semantic-based Approach for the Creation of Technical Regulatory Documents in Building Industry, ECPPM 2010, 8th European Conference on Product & Process Modelling, Cork, Ireland.

ÉTAT D'AVANCEMENT

- > **Construction d'une ontologie du domaine**
 - À partir de l'état de l'art, nous avons adopté une approche proposée par « Hernandez, N » qui permet de réutiliser le thésaurus de domaine. Ce principe est intéressant dans la mesure où il évite la construction d'une nouvelle ontologie à partir de zéro. Dans notre cas, l'idée de réutiliser le thésaurus REEF (Recueil des éléments utiles à l'établissement et l'exécution des projets et marchés de bâtiments en France) qui a été établi au sein du CSTB afin d'avoir un vocabulaire contrôlé relatif au domaine du bâtiment.
- > **Modélisation du processus de rédaction des avis techniques**
 - Nous avons adopté une approche ontologique pour la modélisation du domaine concerné et la proposition d'un outil d'aide à la rédaction de dossiers techniques basé sur un enchaînement de formulaires.
 - Ces connaissances sont modélisées sous la forme de concepts représentant les différents éléments du dossier technique. Elles sont également exploitées à travers des requêtes pour établir l'enchaînement des formulaires. Le résultat de ces requêtes permet d'assurer que l'enchaînement des formulaires est cohérent avec les entrées des utilisateurs, qu'aucun composant du produit ne manque et que tous les éléments spécifiques à son produit sont renseignés.
- > **Modélisation des contraintes techniques sous forme de règles de production**
 - Utilisation des standards SBVR (Semantics of Business Vocabulary and Business Rules) et SPARQL pour reformuler d'une part dans un langage contrôlé et d'autre part dans un langage formel les contraintes réglementaires.
 - Organisation en différents processus des requêtes SPARQL représentant les contraintes réglementaires. À chaque composant intervenant dans un dossier technique correspond un processus de vérification de sa conformité à la réglementation en vigueur.
 - Un processus élémentaire contient la suite des requêtes SPARQL à exécuter pour vérifier la conformité d'un composant élémentaire.
 - Le processus complexe de vérification d'un dossier technique est défini récursivement et construit automatiquement comme une suite de processus relatifs aux composants qui entrent dans sa définition, au regard de l'ontologie que nous avons construite.
 - Représentation en RDF de l'association d'une règle SBVR et d'une requête SPARQL représentant une même contrainte.
 - Utilisation de ces annotations pour produire à l'utilisateur un rapport de conformité en langue naturelle pour l'assister dans la rédaction d'un avis technique.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

- Un prototype d'application Web sémantique d'aide à la rédaction de documents techniques destinés aux industriels.
- Une ontologie des documents techniques (OntoDT) qui dispose de 138 classes et 48 propriétés formalisées dans le langage OWL Lite. 35 % de ces classes sont créées à partir des termes REEF. Les 65 % restants sont des concepts plus spécifiques que ceux du thésaurus REEF qui contiennent des concepts généraux de l'industrie du bâtiment.
- 100 % des contraintes réglementaires issues des guides pratiques couverture et tuiles ont été modélisées en SBVR.
- 30 % des règles SBVR ont été formalisées en SPARQL (177 requêtes et 177 processus élémentaire).
- 70 % des règles SBVR portant sur la mise en œuvre des tuiles sont inexploitable en SPARQL.

Simulation auditive de trafic routier en milieu urbain

Jan Jagla

Fin de thèse prévue en janvier 2013

OBJECTIFS

Une des principales causes de gêne sonore en milieu urbain est le trafic routier. Ce bruit très faiblement stationnaire est difficilement quantifiable à l'aide d'indicateurs acoustiques classiques. Le développement d'un logiciel de simulation auditive a pour but d'apporter un outil d'analyse par l'écoute de la gêne occasionnée.

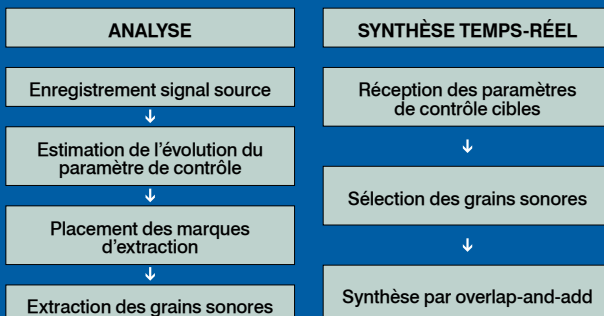
> Axes de recherche :

- Développement de méthodes de synthèse en temps réel de sources sonores : bruits de moteur et roulement de véhicules légers (VL), poids lourds (PL) et motos.
- Intégration des algorithmes de synthèse dans la suite logicielle d'auralisation en milieu urbain terraAudio.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

> Une méthode d'analyse-synthèse de signaux de bruit moteur et de roulement basée sur des techniques d'overlap-and-add issues du domaine du traitement de la parole a été développée. Elle vise à extraire d'un signal de bruit de moteur ou de roulement enregistré un ensemble de signaux élémentaires (grains) contenant les signatures sonores du bruit émis pour chaque régime dans le cas d'un bruit moteur et pour chaque vitesse de véhicule dans le cas d'un bruit de roulement.

Synthèse granulaire de bruit de véhicule



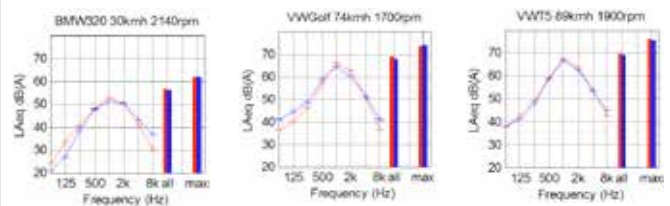
- Lors de la création de la base de données de grains, les instants d'extraction des grains à partir du signal original sont choisis de manière à minimiser les artefacts dus à la transition entre les grains lors la synthèse.

- Lors de la synthèse temps réel, les grains sont sélectionnés et concaténés (overlap-and-add) pour obtenir le signal source correspondant à l'évolution de régime/vitesse souhaitée. La méthode de sélection et de placement des grains dans le signal synthétisé diffère légèrement selon que l'on synthétise un bruit de moteur ou roulement pour garantir un rendu optimal dans les deux cas. Par ailleurs, la méthode utilisée s'intègre parfaitement à la suite logicielle de simulation auditive de trafic routier temps-réel.

- Le procédé d'analyse et de synthèse de bruit moteur a fait l'objet d'un dépôt de brevet.

ÉTAT D'AVANCEMENT

- Des tests préliminaires ont été menés pour simuler le bruit au passage d'un véhicule dans un cas simple (vitesse constante, champ libre). L'écoute a révélé une grande similarité entre les signaux enregistrés sur site et les signaux simulés dans les conditions correspondantes.



- La simulation auditive d'un cas plus complexe a aussi été menée dans le cadre du projet européen HOSANNA. Il s'agit de la simulation du bruit de trafic sur le quai Fulchiron à Lyon. La géométrie se compose de deux voies de circulation en sens unique longées par des immeubles d'un côté et la Saône de l'autre. La vitesse est limitée à 50km/h et deux feux tricolores régulant la circulation sont placés de chaque côté du point d'écoute. Les premiers tests d'écoute ont montré que le champ sonore restitué au point d'écoute est réaliste.



PERSPECTIVES

> Une validation psychoacoustique de la méthode de synthèse proposée pour les bruits moteur et roulement doit être menée:

- sélection d'un panel d'individus;
- définition d'une procédure de test;
- déroulement de la campagne de tests;
- analyse des résultats.

> Des optimisations doivent encore être apportées au logiciel d'auralisation :

- amélioration de la synthèse de signaux de bruit moteur en prenant en compte l'effet de charge appliquée au moteur sur le bruit émis;
- prise en compte de la directivité des sources.

Remerciements - Directrice : Nadine Martin, nadine.martin@gipsa-lab.grenoble-inp.fr ; Encadrant CSTB : Julien Maillard, julien.maillard@cstb.fr

Contact - jan.jagla@cstb.fr

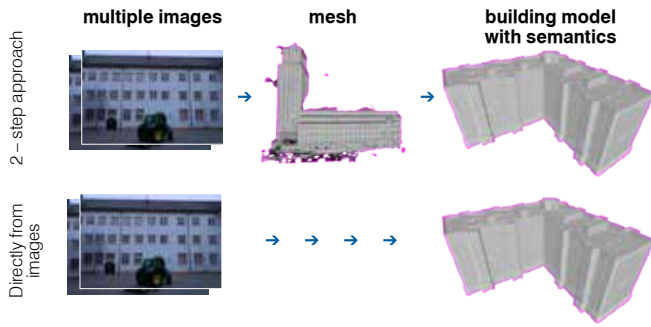


Missing data consolidation for automatic reconstruction of building models from multiple images

Mateusz Koziński

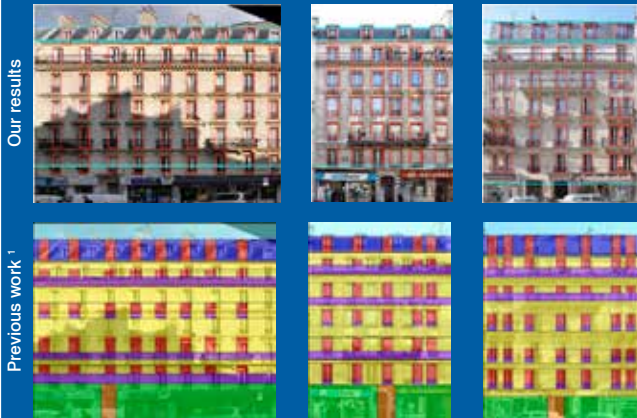
The end of the thesis foreseen for November 2014

CONTEXT AND OBJECTIVES



- > **Currently, building models can be produced from laser scans or by the structure from motion methods:**
 - Enormous number of vertices.
 - Noise.
 - Lack of semantic information.
- > **We aim at robustly generating 'idealized', semantized building models.**
- > **Two categories of applications:**
 - Building Information Modelling.
 - Computer graphics.

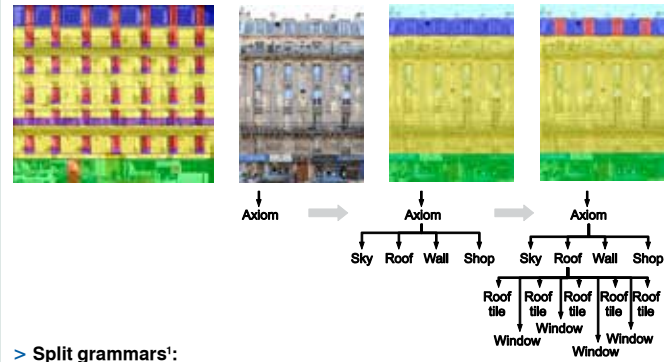
INITIAL RESULTS & PERSPECTIVES



- > **Future work**
 - Further development of the optimization algorithm – randomized exploration of the problem space driven by bottom-up cues.
 - Validation on various data sets and development of a general framework for a priori knowledge representation.
 - Building models based on the 3D geometry: detectors based on the 3D information, acquisition of a new data set, interactive software for labeling the data set.

ADVANCEMENT OF WORK

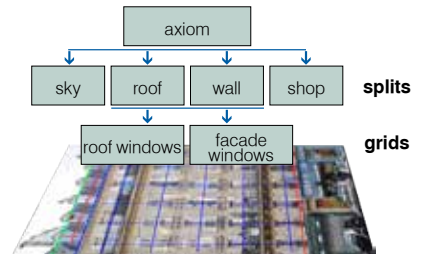
STATE OF THE ART



- > **Split grammars':**
 - Encode the prior knowledge in the form of a 'split grammar'.
 - The symbols are represented as rectangular image regions.
 - Allowed operations are splitting the rectangles along one of the coordinate axes.
 - Grammar rules and derivation like in Formal/Natural Language Processing.
 - Symbols are given semantic labels.
 - The constraints on relations of elements of the model are 'expressed' in the grammar.
 - The search for optimal model is performed by (randomized) exploration of the space of possible parse trees.

PROGRESS BEYOND THE STATE OF THE ART

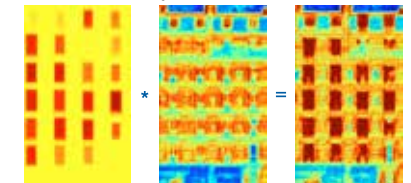
- > **Grammars with grids**
 - We introduce the grids into the building model.
 - Benefit from the regular structure of building facades.
 - Make encoding the prior knowledge more intuitive for humans.
 - The model is no longer split-based: some constraints need to be expressed in an explicit way.



- > **The merit function**

We fuse the results of window detection with the likelihoods generated by a texture model to obtain a 'merit function'.

$$P(p \in c | t, d) = \frac{1}{z} * P(d | p \in c) * P(p \in c | t)$$



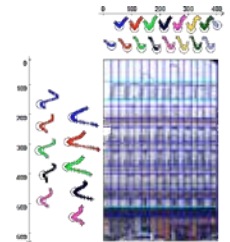
p: image pixel
 c: classes (window, wall, etc)
 P(p|t): probability that pixel p belongs to class c given the texture around p
 P(d|pc): probability of pixel p belonging to class c if the pixel is covered with detections of total confidence d

- > **Energy minimization scheme**
 - The problem is formulated as energy minimization. The energy is the integral of the log-likelihood function over the area of each building element.

$$E(p, c) = -\log(P(p \in c | t, d))$$

$$E_{total} = \sum_{p \in I} E(p, \tilde{c})$$

- The currently used minimization scheme: greedy algorithm iteratively modifying to the current building model.
- The figure presents the change of the energy in response to perturbing the snapline positions.



1) Teboul, O., Kokkinos, I., Simon, L., Koutsourakis, P., and Paragios, N., *Shape Grammar Parsing via Reinforcement Learning*, CVPR 2011, Colorado Spring, USA
 2) Ok, D., Marlet, R., Koziński, M., *Bottom-Up Cues for Top-Down Parsing of Facade Images*, 3DIMPVT2012, Zurich, Switzerland

Thesis under the supervision of Renaud Marlet et Olivier Tournaire
 Contact - kozinskrm@imagine.enpc.fr



Analyse robuste de façades dans des bases de photographies urbaines par grammaire de forme

Segmentation et représentation hiérarchique de façades

David Ok

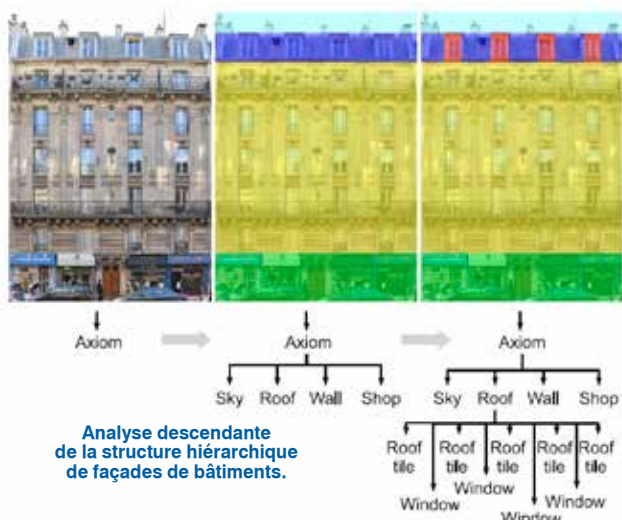
Fin de thèse prévue fin octobre 2012

OBJECTIFS

- > Obtenir des indicateurs clés pour l'étude de performances énergétiques de bâtiments à partir d'une base de photographies urbaines nécessitant peu d'intervention humaine. Pourcentage de surface vitrée.
- > Analyser l'architecture de façades présentes dans les photographies. Représentation hiérarchique de façades.

ANALYSE DE FAÇADES PAR GRAMMAIRE DE FORMES

- > Principe de l'analyse de façades par grammaire de forme



- > Précision et robustesse de l'analyse améliorée par une détection de fenêtres au préalable

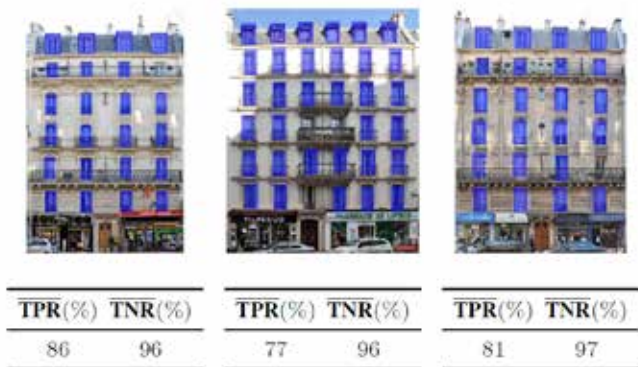
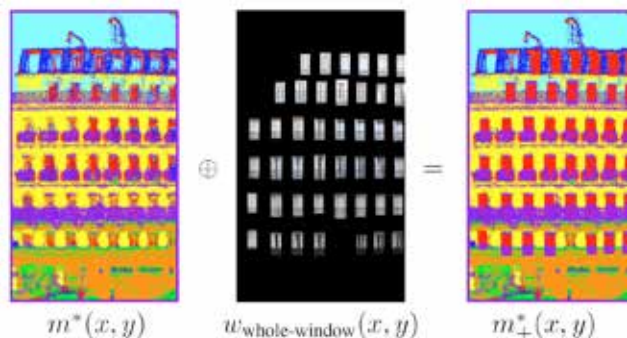


Figure 4 : Three window detection results (best viewed using magnification). Top row: results of our pattern search. Bottom row: corresponding detection rates.

MÉTHODOLOGIE

- > Combiner les détections de fenêtres et la classification sémantique des pixels d'images.

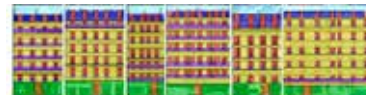


- > Analyse par grammaire de formes améliorée par la détection de fenêtres.

Image de façades



Sans détection de fenêtres



Avec détection de fenêtres

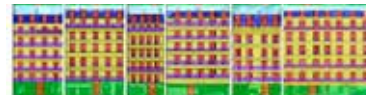
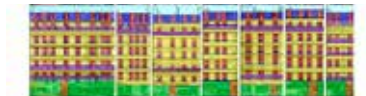


Image de façades



Sans détection de fenêtres



Avec détection de fenêtres



Remerciements – Avec la collaboration de Mateusz Kozinski et Renaud Marlet
 Contact – david.ok@imagine.enpc.fr



Restitution réaliste de simulation d'éclairage dans un outil de navigation interactif

Mahmoud Omidvar, Samuel Carré, Kadi Bouatouch

Fin de thèse prévue en septembre 2013

OBJECTIFS

Dans le cadre du projet FUI CALLISTO (réalisation d'une salle de réalité immersive à la Cité des Sciences), développer un outil de visualisation interactif et réaliste dans des environnements complexes.

> Public visé

- Maîtres d'ouvrage.
- Architectes et bureaux d'études.

> Les contraintes principales:

- Illumination globale: éclairage naturel et/ou artificiel, part importante de l'éclairage indirect, représentation spectrale de la lumière.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Simulation d'éclairage



Export du cache d'éclairage (les points rouges) dans des textures. Organisation à l'aide d'un kd-tree.

2944 enregistrements

2. Navigation interactive

- Restitution du cache d'éclairage par le GPU :
- projection des objets dans le plan image;
 - détermination du cache utile;
 - exploitation du cache d'éclairage.



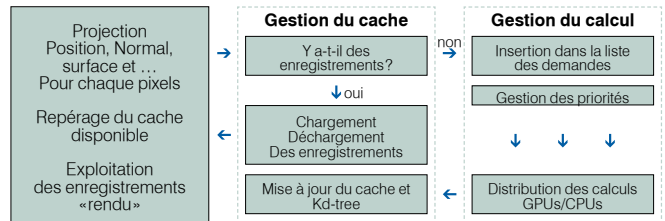
3. Raffinement de l'enregistrement

- Diminution de l'erreur selon nombre des SSE.
- Calculer avec Erreur quadratique Moyenne.



ÉTAT D'AVANCEMENT

> Définition d'un mode de fonctionnement client (visualisation) – serveur (simulation).

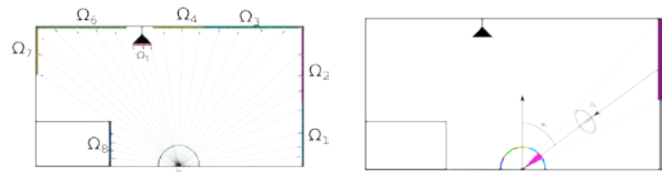


- Simulation d'éclairage exploitant la méthode du suivi de chemins avec cache d'éclairage.

> Extension du cache d'éclairage pour les matériaux brillants.

Equation de luminance

$$L_r(\vec{\omega}_r, \lambda) = \int_{\Omega} L(\vec{\omega}_i, \lambda) f_r(\vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r, \lambda) \cos(\theta_i) d(\omega_i)$$



Division de l'hémisphère en N zones « Ω_i » pour lesquelles l'équation de luminance peut-être simplifiée.

$$L_r(\vec{\omega}_r, \lambda) = \sum_{i=1}^n \int_{\Omega_i} L_i(\vec{\omega}_{in}, \lambda) f_r(\vec{\omega}_{in}, \vec{\omega}_r, \lambda) \cos(\theta_{in}) d(\omega_{in})$$

$$L_r(\vec{\omega}_r, \lambda) \approx L_i(\lambda) \int_{\Omega_i} f_r(\vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r, \lambda) \cos(\theta_i) d(\omega_i)$$

$$L_r(\vec{\omega}_r, \lambda) \approx E_i(\lambda) * \frac{\int_{\Omega_i} f_r(\vec{\omega}_{in}, \vec{\omega}_r, \lambda) \cos(\theta_{in}) d(\omega_{in})}{\int_{\Omega_i} \cos(\theta_{in}) d(\omega_{in})}$$

$$Mat.Brdf(\Omega_i, \omega_i) = \frac{\int_{\Omega_i} f_r(x, \vec{\omega}_i, \lambda) \cos(\theta) d(\omega)}{\int_{\Omega_i} \cos(\theta) d(\omega)}$$

On pré-calculer la fonction de distribution de la réflexion bidirectionnelle «BRDF» moyennée sur Ω , en recherchant des paramètres d'un modèle pour le stockage. La définition de sources surfaciques équivalente «SSE», caractérisées par $Ecl(\lambda)$ et Ω_i , permet de retrouver le terme $L_i(\omega_r, \lambda)$ en minimisant le stockage.

> Rendu :

- Exploitation des données par le GPU pour un rendu en temps réel du cache d'éclairage: affichage multipasse.

PERSPECTIVES

> Représentation des objets très brillants.

- Gestion mémoire.
- Gestion du cache d'éclairage.
- Mise à jour interactive.

Développement d'un outil de référence basé sur la méthode multipolaire rapide des éléments de frontières pour la propagation acoustique en milieu urbain

Xavier Vuylsteke

Fin de thèse prévue en octobre 2014

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Les nuisances sonores représentent un fort désagrément en milieu urbain. Il devient donc important de pouvoir prévenir les zones de forte exposition au bruit. Les principaux facteurs responsables de l'accroissement du bruit en milieu urbain sont :

- l'accroissement du parc automobile ;
- une augmentation du service de transport en commun ;
- une densité d'infrastructure importante en centre-ville.

Les méthodes de discrétisation numérique sont déjà couramment utilisées dans le domaine de la prévision acoustique. Depuis le début des années 80, la méthode des éléments de frontières (BEM) est en plein essor dans le monde de l'ingénierie. Celle-ci présente cependant de nombreux désavantages concernant les ressources informatiques nécessaires lors de calculs couvrant plusieurs bâtiments (quelques dizaines de mètres soit quelques dizaines de milliers de points) :

- temps de calcul pouvant atteindre plusieurs heures ;
- plusieurs dizaines de Go de Ram.

Exemple : pour 30 000 éléments

- Environ 4 heures de calcul ;
- Environ 20 Go de Ram.

Objectif

- > Optimiser la méthode des éléments de frontières (BEM) par la méthode multipolaire rapide en vue de diminuer les ressources informatiques nécessaires (temps de calcul et mémoire vive).



La mise en place d'un algorithme de calcul basé sur la méthode multipolaire rapide des éléments de frontières pour le calcul de cartes de bruit en milieu urbain.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Suppression des fréquences de résonances fictives par la méthode de Burton-Miller

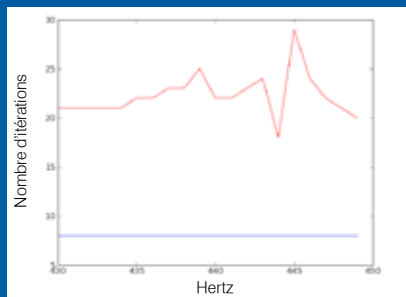
Niveau sonore en décibel à l'intérieur d'une sphère à la fréquence de résonance de 445 Hz avec la formulation classique de méthode des éléments de frontières.



Niveau sonore en décibel à l'intérieur d'une sphère à la fréquence de résonance de 445 Hz avec la formulation de Burton-Miller.

- > On observe une suppression du comportement modal à l'intérieur de la sphère nous permettant de travailler sur toute la gamme de fréquences utile sans se soucier des problèmes de résonances internes.

2. Stabilisation du système matriciel : meilleure convergence



Nombre d'itérations nécessaires à la convergence de la solution en fonction de la fréquence.

- Formulation initiale en rouge.
- Formulation Burton-Miller en bleu.

- > Meilleure convergence du système sur toute la gamme fréquentielle.
- > Stabilisation du système.

ÉTAT DE L'ART

Principe général

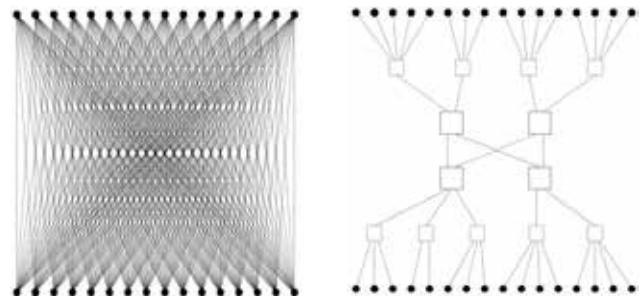
> Formulation intégrale de frontières

La méthode des éléments de frontières permet de calculer le champ acoustique en tout point de l'espace à l'aide de la formulation intégrale de frontières :

$$C(x) \varphi(x) = \int_S \left[\frac{\partial G_k(x, y)}{\partial n_y} \varphi(y) - G_k(x, y) q(y) \right] dS_y + \varphi_m(x)$$

Lorsque le champ est connu tout au long de la surface de frontières, il est alors possible de calculer la pression en tous points de l'espace. Le problème revient donc à résoudre le problème en tous points de la surface de frontières. Cette étape primordiale est au cœur de la problématique de la thèse.

> Méthode multipolaire rapide



(a) straightforward method $O(N^2)$

(c) MLFMM $O(a(N+N))$

Nombre de calculs à effectuer. Les points correspondent aux éléments de discrétisation, les lignes aux calculs nécessaires.

À gauche : méthode des éléments de frontières.

À droite : méthode multipolaire rapide.

- La méthode multipolaire rapide (ou fast multipole method : FMM) permet une réduction du nombre de calculs à effectuer en regroupant en « paquets » l'influence des sources considérées comme lointaines. Il s'en suit une réduction considérable du temps de résolution du système matriciel : $O(N^2) \Rightarrow O(N)$.
- La réduction du temps de calcul permet une augmentation du nombre de points soit afin de traiter une zone plus vaste soit afin d'effectuer un calcul à fréquence plus élevée.

PERSPECTIVES

1. Poursuite de l'étude de la formulation Burton-Miller

Influence du coefficient de pondération sur des objets simples :

- sphère ;
- cube ;
- réseau d'objet.

2. Mise en place d'un baffle acoustique

Prise en compte d'un baffle acoustique simulant la réflexion au sol et permettant ainsi une réduction du nombre de points :

- implémentation du baffle rigide ;
- implémentation du baffle impédant.

3. Simulation sur des géométries plus complexes

Effectuer des simulations sur des zones plus vastes qu'avec la méthode des éléments de frontières ou sur des géométries nécessitant un plus grand nombre de points de discrétisation.

Le futur en construction

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de développement durable dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes. Avec ses 909 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

SIÈGE SOCIAL

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr

CSTB
le futur en construction