

1. EFFICACITE ENERGETIQUE

Posters Efficacité énergétique

Recommandations et aide à la décision multicritère pour l'efficacité énergétique	Mines Alès
Intensification des transferts dans les échangeurs thermiques et multifonctionnels : techniques, outils d'analyse et optimisation	Mines Douai
Accroissement des performances de transfert et de mélange dans un écoulement par contrôle passif dynamique	Mines Douai
Identification de systèmes hybrides appliquée à l'optimisation énergétique des bâtiments	Mines Douai
Optimisation topologique de composants thermiques	Mines ParisTech
Polymères biosourcés pour la nouvelle génération de super isolants thermiques	Mines ParisTech
Super isolants thermiques nanostructurés	Mines ParisTech
Stratégies de gestion énergétique des bâtiments basées sur la simulation et l'optimisation	Mines ParisTech
Maitrise de la demande d'énergie : quelques travaux	Mines ParisTech
Récupération d'énergie dans les procédés industriels	Mines ParisTech
Captage du CO ₂ par oxy-combustion : Méthodologie d'optimisation par minimisation des pertes exergetiques	Mines ParisTech
CERES : plateforme logicielle pour l'intégration énergétique et l'optimisation des procédés industriels	Mines ParisTech
Développement de capteurs/analyseurs miniaturisés pour l'intensification des procédés	Mines Saint-Etienne
Pile SOFC mono-chambre pour la récupération d'énergie à partir d'imbrûlés	Mines Saint-Etienne
Bâtiments & facteur 4 : Analyse des problématiques de rénovation dans le secteur résidentiel à caractère social	Mines Saint-Etienne
Stockage de thermies dans les matériaux à changement de phase pour un lissage de la consommation électrique : application à la climatisation industrielle	Mines Saint-Etienne
L'évaluation environnementale au service de l'efficacité énergétique	Mines Saint-Etienne
Dynamic Virtual Machine scheduling for energy efficient cloud data centers	Télécom SudParis
Récupération de chaleur fatale. Approche intégrée du système	Mines Nantes
Energy efficiency and cloud radio network	EURECOM

CONTEXTE : RIDER (FUI)

■ **RIDER** vise à développer un **système d'information innovant**, permettant d'optimiser l'**efficacité énergétique** d'un bâtiment. Ce système fournit les fonctions nécessaires à l'obtention d'un **niveau d'optimisation intermédiaire** (entre les dispositifs existants au niveau d'un bâtiment simple et ceux du gestionnaire du réseau de distribution électrique globale).

Parties prenantes



Auteurs

Afef Denguir

afef.denguir@mines-ales.fr

Ph.D au LGI2P-EMA et LIRMM-UM2

François Trouset

francois.trouset@mines-ales.fr

Enseignant chercheur de l'EMA

Jacky Montmain

jacky.montmain@mines-ales.fr

Professeur de l'EMA

Partenaires

■ **Objectifs:** élaborer une **solution générique** pour assurer sa **réutilisabilité** et **minimiser les coûts** de sa mise en production

→ **Solution la moins dépendante possible des caractéristiques du bâtiment.**

■ L'amélioration du rendement énergétique du bâtiment est illustrée par la figure 1.

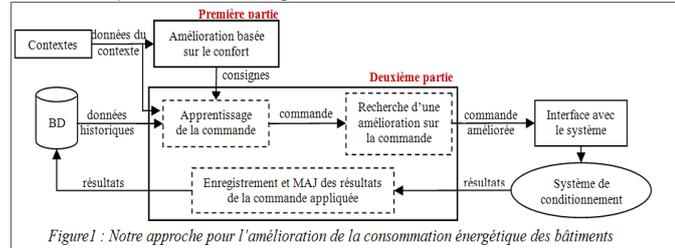


Figure 1 : Notre approche pour l'amélioration de la consommation énergétique des bâtiments

1) REGULATION BASEE SUR LE CONFORT THERMIQUE

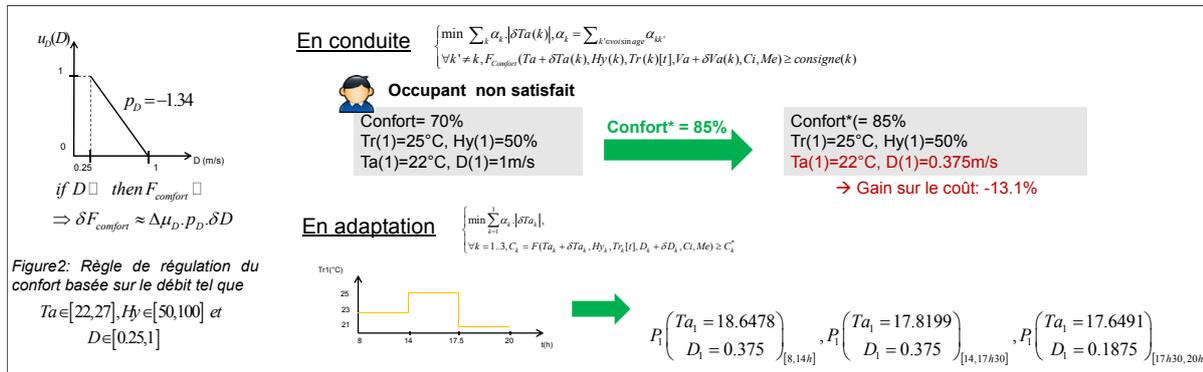
Raisonnement fondé sur une performance agrégée et un modèle de préférence

■ Identification du modèle de préférence (théorie des utilités, intégrale de Choquet) décrivant le confort thermique à partir de la norme ISO 7730. $F_{comfort} = g(u_{Ta}(Ta), \dots, u_{Ci}(Ci)) \approx 100 - PPD(Ta, D, Hy, Tr, Me, Ci)$

- défini par zone du domaine de définition du **PPD**.
- taux d'erreur inférieur à 8.6%.

■ Utilisation du modèle:

- Génération de règles de régulation simples du confort thermique (figure 2).
- Optimisation du confort des occupants et des consignes à appliquer au bâtiment à moindre coût.



2) CONDUITE RESPECTANT LES CONSIGNES DU CONFORT

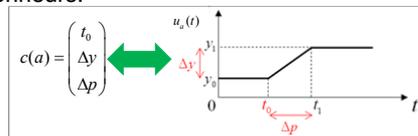
Modèle basé sur l'apprentissage et la connaissance qualitative des actions sur les performances

■ Recherche des commandes permettant d'atteindre les **consignes du confort au bon moment** et au **moindre coût**.

■ Sélection de la commande de l'historique la plus proche en terme de contexte d'application et de performances.

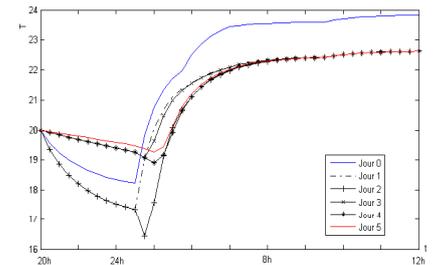
■ Amélioration qualitative de la commande basée sur l'estimation des signes des dérivées des performances sur chaque actionneur.

■ Pattern de commandes utilisé sur chacun des actionneurs:



■ Résultats théoriques: solution générique et réutilisable.

■ Résultats opérationnels: solution efficace en terme de coût, confort et rapidité de convergence.



	Jour 0	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5
Gain en coût		-14.53%	-2.51%	-4.81%	-3.72%	-0.59%
Δ Confort*	>5%			<0.5%		

* Δ Confort = écart entre le confort obtenu et la consigne de confort

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

Optimisation des performances thermo-aérauliques des systèmes industriels (échangeurs de chaleur)

- Nécessité industrielle d'une recherche constante de l'amélioration de l'efficacité énergétique des procédés.
 - Amélioration de l'**efficacité énergétique des composants** et des procédés industriels.
 - Recherche de configurations optimales permettant de **limiter les quantités de matière nécessaires à la fabrication** des organes de transfert de chaleur à efficacité équivalente

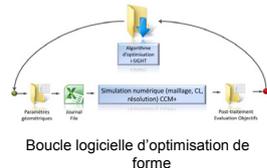
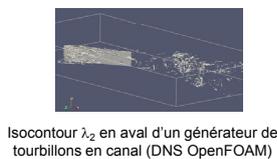
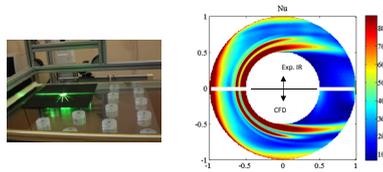


Parties prenantes



Auteurs

Daniel Bougeard
Serge Russeil
Jean-Luc Harion
Mines Douai
Département Energétique Industrielle



ETUDES ET DEVELOPPEMENTS EN COURS

Etude locale des mécanismes dynamiques et thermiques dans les échangeurs de chaleur

- Investigations expérimentales et numériques
- Simulations numériques : analyse locale du transfert thermique dans l'écoulement, couplage conducto-convectif
 - Simulations numériques RANS, URANS → Analyse de la synergie et du taux de production d'entropie
 - Simulations numériques LES, DNS (logiciel OpenFOAM)
- Validations expérimentales par mesure de champ : Mesures PIV et thermographie infrarouge
- Techniques d'intensification des échanges par génération de vorticité : Analyse et caractérisation des dynamiques tourbillonnaires
- Boucle logicielle d'optimisation de forme
- Tests sur des installations expérimentales reproduisant des configurations industrielles

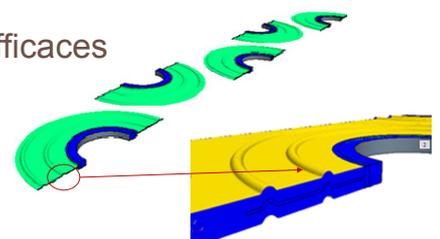
Partenaires



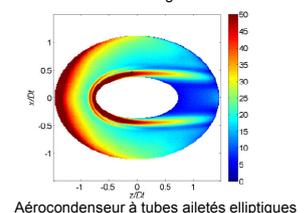
RESULTATS OBTENUS & ATTENDUS

Géométries et configurations d'échangeurs plus efficaces

- Optimisation de géométries d'ailettes d'aéro-réfrigérants industriels
 - *Projet ADEME – GEA BTT – Technip – Wieland*
 - Conception d'ailettes discontinues à hautes performances
 - *Brevet en cours de dépôt*
- Condenseur à haute efficacité énergétique (projet *FUI 2010 CAFEE*)
 - Accroissement de l'efficacité des a rocondenseurs sous vide : compétitivité des cycles de production d'électricité d'origine renouvelable
 - Diminution de la quantité de matière utilisée
 - Réduction de la puissance de ventilation : modification de l'architecture et de la géométrie des faisceaux
 - *Définition de géométries de faisceaux à tubes ailetés elliptiques*



Optimisation de géométries d'ailettes d'aéro-réfrigérants



Accroissement des performances de transfert de chaleur et de masse dans un écoulement par contrôle passif dynamique



Parties prenantes



Auteurs

Sébastien Menanteau
Jean-Luc Harion
Mines Douai
Département Energétique Industrielle

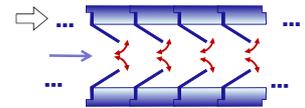
Partenaires



CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

Améliorer l'efficacité des technologies existantes d'échangeurs-réacteurs multifonctionnels

- Besoin d'une recherche constante de l'amélioration de l'efficacité énergétique des procédés industriels.
- Application échangeurs-réacteurs multifonctionnels : amélioration des transferts de chaleur et/ou de l'homogénéisation des réactifs présents dans le fluide.
- **Objectif** : développement d'un nouveau procédé d'intensification des échangeurs-réacteurs multifonctionnels par contrôle passif dynamique de l'écoulement



Représentation d'une géométrie intérieure d'un mélangeur avec présence de générateurs de tourbillons pour l'intensification du mélange

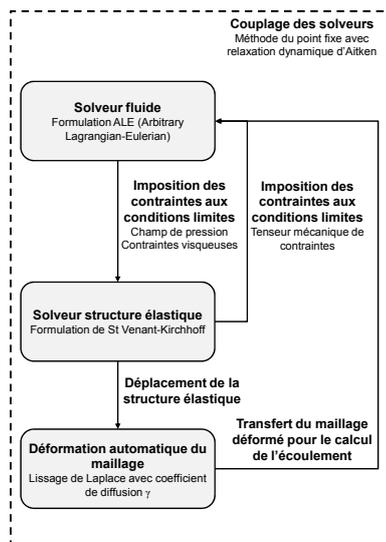
ETUDES ET DEVELOPPEMENTS EN COURS

Contrôle passif dynamique de l'écoulement par la mise en place de structures flexibles

- Procédés passifs classiques d'intensification des transferts : générateurs de tourbillons rigides
- Mise en place de structures flexibles :
 - Degrés de liberté supplémentaires permettant d'accroître les performances
 - Oscillations libres des générateurs de vorticités flexibles : génération de structures supplémentaires instationnaires

Modélisation de l'interaction fluide-structure

- Réalisation d'un outil de simulation numérique (OpenFOAM) : modélisation de l'interaction couplée entre le milieu fluide et les structures flexibles génératrices de tourbillons.
- Caractérisation fine des interactions tourbillonnaires et définition des configurations optimales : mouvements auto-entretenus et fortement chaotiques.

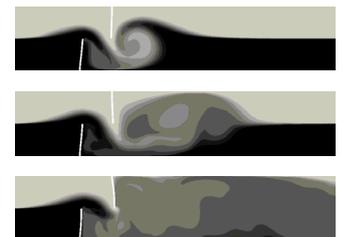


Algorithme de calcul de l'interaction couplée entre l'écoulement et les générateurs flexibles de tourbillons

RESULTATS OBTENUS & ATTENDUS

Echangeurs-réacteurs continus plus efficaces

- Solution technique passive (pas d'apport supplémentaire d'énergie au système) mais dynamique supplémentaire apportée à l'écoulement par rapport aux configurations classiques.
- Optimisation du procédé pour la génération d'un mouvement oscillant auto-entretenu des générateurs flexibles, conduisant à un mélange dynamique plus efficace.



Champs instantanés successifs du mélange d'un scalaire passif dans un écoulement 2D en présence de promoteurs flexibles [Habchi, Harion et al., 2013]

Parties prenantes



Informatic et Automatique



Auteurs

Lala RAJAOARISOA
Stéphane LECOEUICHE

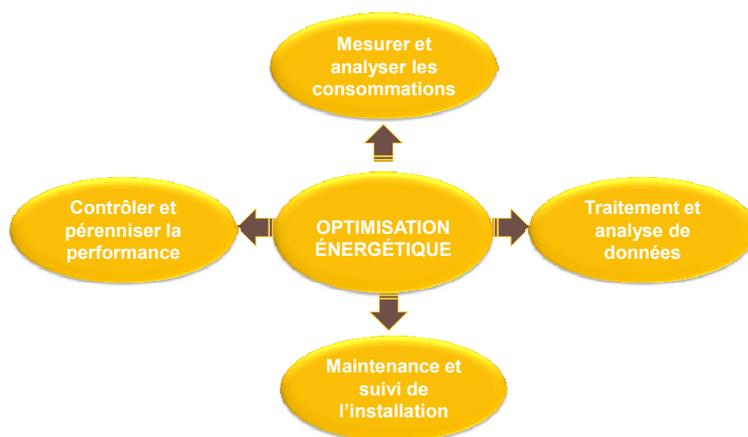
Partenaires



Cluster HBI
Pôle d'Excellence
BTP



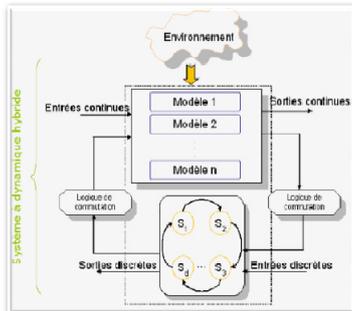
OPTIMISATION ENERGETIQUE et TECHNOLOGIES NUMERIQUES Appliquées aux Bâtiments et aux Habitats



MODELISATION A BASE DE DONNEES et IDENTIFICATION DE SYSTEMES

Approche hybride, boîte noire et boîte grise

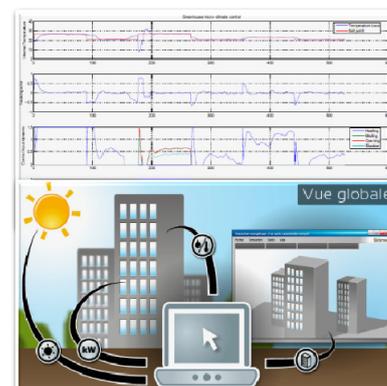
- Traitement et analyse des données (températures, humidités), des puissances entrantes (chauffage, climatisation, ventilation) et des mesures des consommations
- Identification paramétrique des modèles comportementaux
- Analyse, vérification et validation des modèles par simulation et par expérimentation
- Diagnostic thermique et extraction de caractéristiques invariantes du bâti et de l'environnement
- Etude comportementale multi-modèle du système habité.



OPTIMISATION PAR L'AUTOMATISATION ET LA REGULATION

Système numérique de régulation

- Affichage pour prise de décision en matière d'économie,
- Calculateur numérique et logiciel dédié à l'amélioration de l'efficacité énergétique,
- Optimisation des consommations et du couple consommation / confort,
- Contrôle et pérennisation des niveaux de performances,
- Architecture de gestion et de supervision centralisée et décentralisée.



Problématiques

Parties prenantes



Auteurs

Gilles MARCK^{a,b}
Maroun NEMER^a
Jean-Luc HARION^b

^aMines ParisTech
^bMines Douai

Partenaires

Conduction

■ Minimiser:

$$\bar{T} = \frac{1}{|\Omega|} \int_{\Omega} T d\Omega$$

ou

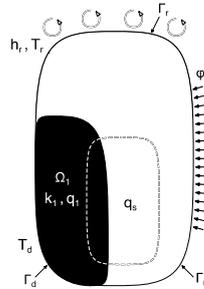
$$\text{var}(T) = \frac{1}{|\Omega|} \int_{\Omega} (T - \bar{T})^2 d\Omega$$

■ Sous contrainte:

$$-\nabla \cdot (k(\eta) \nabla T) = q(\eta) + q_s$$

■ Avec:

$$\eta(\mathbf{x}) = \begin{cases} 0 & \text{si } \mathbf{x} \in \Omega_0 \\ 1 & \text{si } \mathbf{x} \in \Omega_1 \end{cases}$$



Conducto-convection

■ Minimiser:

$$f_d(\mathbf{u}, P) = \int_{\Gamma_i \cup \Gamma_o} -\mathbf{n} \cdot \mathbf{u} \left(P + \frac{1}{2} \rho |\mathbf{u}|^2 \right) d\Gamma$$

■ Maximiser:

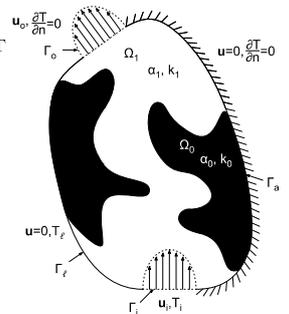
$$f_r(\mathbf{u}, T) = \int_{\Gamma_i \cup \Gamma_o} \mathbf{n} \cdot \mathbf{u} \cdot (\rho C_p T) d\Gamma$$

■ Sous contraintes:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + \alpha(\eta) \mathbf{u} = -\nabla P + \mu \nabla^2 \mathbf{u}$$

$$\rho C_p (\mathbf{u} \cdot \nabla) T = \nabla \cdot (k(\eta) \nabla T)$$



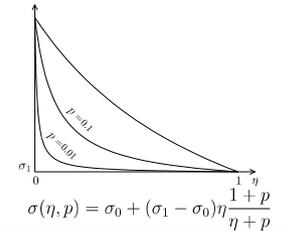
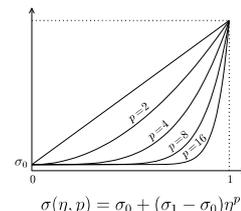
Problème: Quelle est la topologie optimale du domaine Ω_1 qui satisfait une ou plusieurs fonctions objectifs, sous la contrainte des EDP et $|\Omega_1| \leq \varphi$, c'est-à-dire que :

$$\frac{1}{|\Omega|} \int_{\Omega} \eta d\Omega \leq \varphi$$

Méthodologie

Relaxation et pénalisation

■ Variation continue de la pénalisation



Dérivée de forme

■ Reformulation de f en intégrant les résidus $R(\mathbf{X}, \eta)$:

$$L(\mathbf{X}, \eta) = f(\mathbf{X}) + \underbrace{\lambda^t \cdot \mathbf{R}(\mathbf{X}, \eta)}_{=0}$$

■ Formulation du problème adjoint discret après dérivation de L :

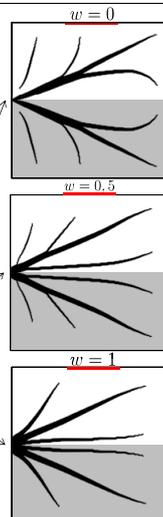
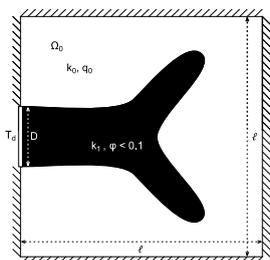
$$\frac{dL}{d\eta_i} = \lambda^t \frac{\partial \mathbf{R}}{\partial \eta_i} + \underbrace{\left[\frac{\partial f}{\partial \mathbf{X}} + \lambda^t \frac{\partial \mathbf{R}}{\partial \mathbf{X}} \right]}_{=0} \frac{\partial \mathbf{X}}{\partial \eta_i}$$

Résultats

Problème Volume-to-Point

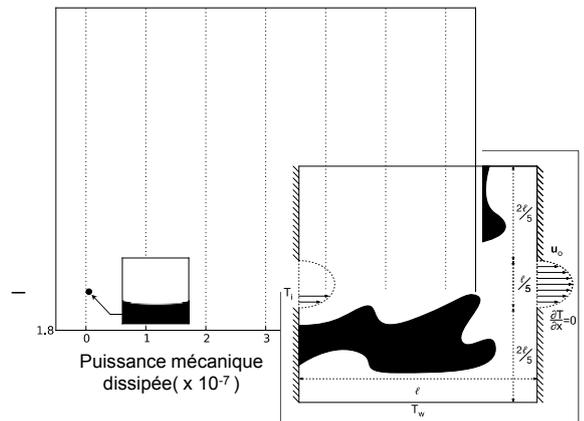
■ Recherche d'un compromis, problème bi-objectif : Configuration purement conductive

$$f(T) = w \bar{T} + (1 - w) \text{var}(T)$$



Canal plan

■ Puissance mécanique dissipée vs. puissance thermique récupérée : Configuration conducto-convective



Projet « Nanocel »

Parties prenantes

Objectifs du Cemef: préparation de matrices biosourcées super-isolantes thermiques

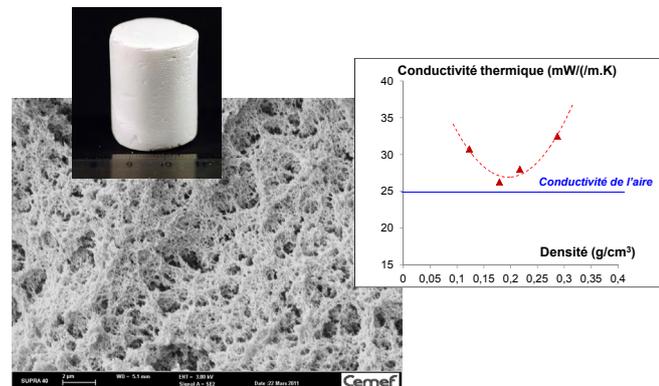


Deux polysaccharides sont utilisés:

- Cellulose
- Pectine

Aérocellulose

- Préparation de matrices à base de cellulose par dissolution, réticulation chimique, coagulation et séchage en conditions CO₂ supercritique
- Aérocellulose: matériau ultraléger et poreux
- Densité: 0.1 – 0.3 g/cm³
- Surface spécifique: 200 – 400 m²/g
- Module d'Young: 10 – 50 MPa
- Conductivité thermique: 25 – 35 mW/(m.K)



Auteurs

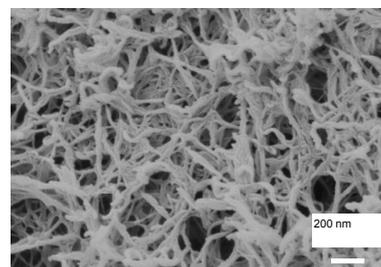
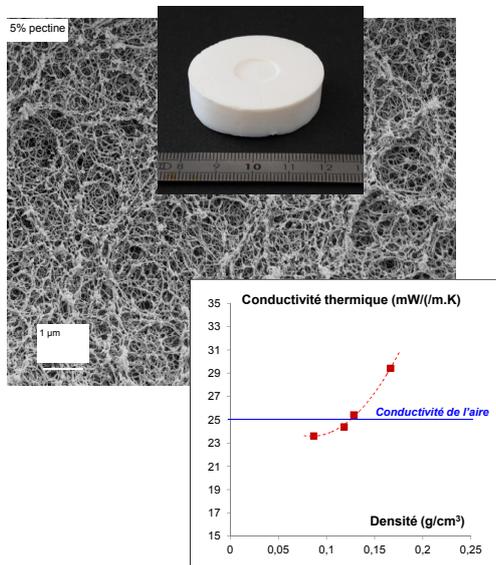
Cyrielle RUDAZ
Tatiana BUDTOVA

Partenaires



Aéropectine

- Matrice à base de pectine est préparée par dissolution, coagulation et séchage en condition CO₂ supercritique
- Densité: 0.08 – 0.2 g/cm³
- Porosité > 90%
- Surface spécifique: 200 – 300 m²/g
- Module d'Young: 5-10 MPa
- Conductivité thermique: 23 – 30 mW/(m.K)



Conclusion

- Aérocéllulose: cellulose nanostructurée synthétisée
- Aéropectine: pectine nanostructurée synthétisée
- Résultats très encourageants: propriétés thermiques très proche de l'aire immobile

Remerciements:

Nous remercions Arnaud Rigacci et Pierre Ilbizian (centre PERSEE de Mines ParisTech, Sophia-Antipolis) pour les séchages supercritiques et discussions très fructueuses.

Parties prenantes



Auteurs

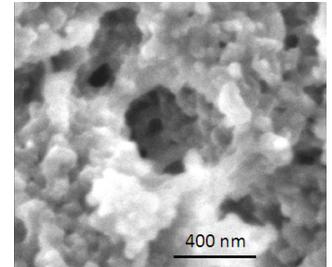
Arnaud RIGACCI
Patrick ACHARD
Christian BEAUGER

Partenaires



Contexte et objectif

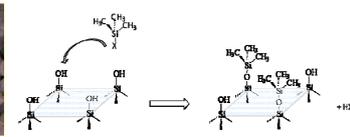
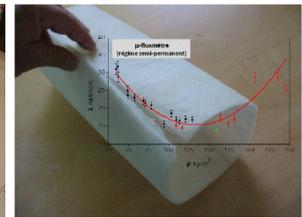
- Pour de nombreux secteurs, dont celui du bâtiment, il est nécessaire de développer des isolants thermiquement plus performants. C'est notamment le « sauf-conduit » vers l'isolation mince.
- L'objectif de ces recherches est d'élaborer - par *chimie douce* - des matériaux nanostructurés légers, présentant dans les conditions ambiantes des conductivités thermiques significativement inférieures à celle de l'air. Le champ applicatif visé en premier lieu est celui de l'enveloppe du bâtiment.



Cliché MEB illustrant la nanostructuration des phases poreuse et solide des superisolants de type aérogels

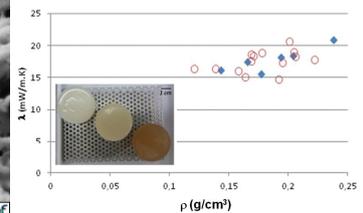
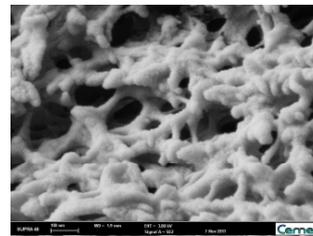
Silices superisolantes

- Les aérogels de silice sont aujourd'hui les plus aboutis d'entre ces nouveaux matériaux. Ils présentent notamment la caractéristique de pouvoir être élaborés sans passer par l'étape de séchage supercritique.
- Ils se déclinent sous diverses formes, du lit granulaire au monolithe transparent en passant par le composite flexible.
- Un simple traitement de surface permet de les rendre hydrophobes.
- Les travaux menés conjointement avec PCAS vont aujourd'hui aboutir à la première production française commercialisée.



Superisolants biosourcés

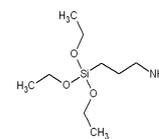
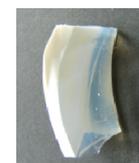
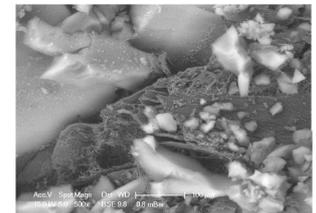
- Afin de réduire encore l'impact environnemental de ces matériaux, des superisolants à base d'acétate de cellulose ont été récemment développés.
- Ils sont obtenus par réticulation isocyanate et s'apparentent *in fine* à des « polyuréthanes verts ».



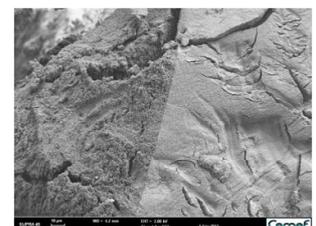
Composites et hybrides

- En vue de combiner les avantages des matrices minérales et organiques, élaborer des composites et des hybrides s'impose désormais.
- A titre d'illustration, les sols organiques peuvent être utilisés comme liants « superisolants » permettant de donner de la cohésion aux lits de silices granulaires.
- Des interfaces organo-minérales covalentes peuvent également être synthétisées afin de contribuer à améliorer encore les propriétés mécaniques.

Composites silice – polyuréthane sol-gel



Hybrides silice – polyuréthane sol-gel



Remerciements

Nous remercions vivement nos collègues du CEMEF/MINES ParisTech pour leur aide et leur soutien vis-à-vis de la caractérisation (notamment morphologique) de ces matériaux.

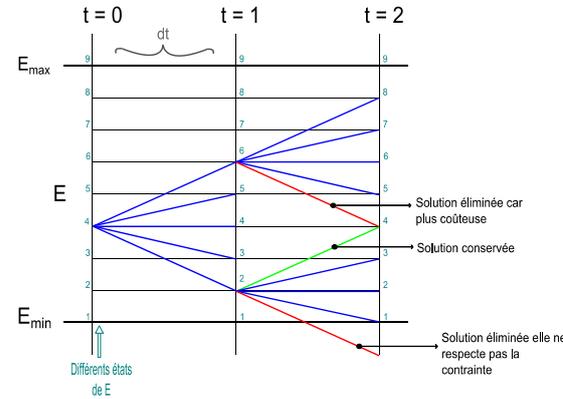
Enjeux : Réduire les pointes de consommation d'électricité (variation de la demande entre 40 GW l'été et 100 GW l'hiver).
Les bâtiments représentent 60% de la demande et le chauffage électrique est la principale cause de ces variations saisonnières.

Parties prenantes



1^{ère} étape : commande prédictive

- Objectifs :
 - effacement de la consommation pendant 5 h chaque jour
 - maintien du confort thermique
- Algorithme d'optimisation : la programmation dynamique
- Variable d'état : énergie totale stockée dans le bâtiment
- Bâtiment passif (Plateforme INCAS- Chambéry – CEA - INES)
- Semaine très froide



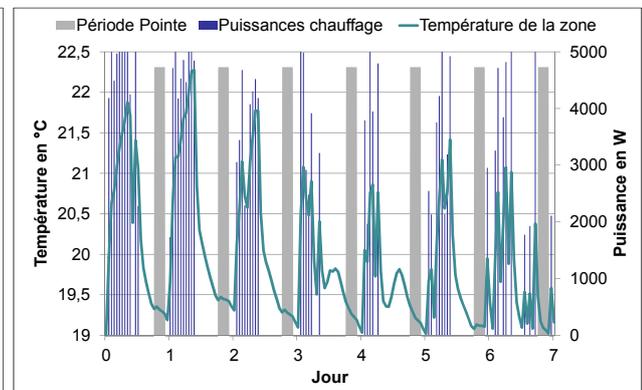
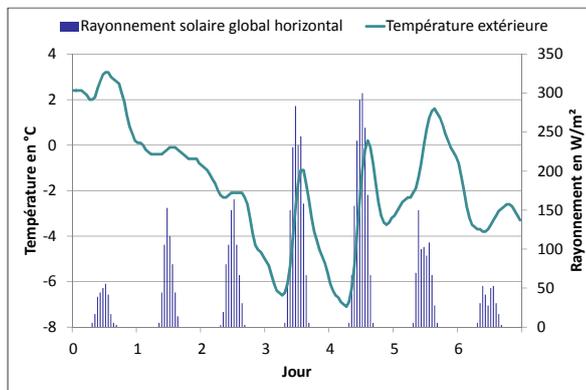
$$\begin{matrix} \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{?} & \text{?} \\ \text{?} & \text{?} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \end{matrix}$$

Auteurs

PEUPORTIER Bruno
FAVRE Bérenger
ROBILLART Maxime

Partenaires



2^{ème} étape : gestion temps réel

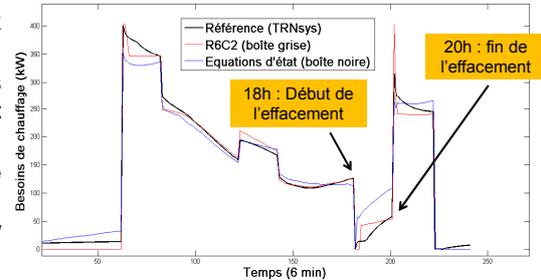
- Objectifs : développement d'outils et méthodes pour le pilotage optimal de bâtiment
- Bâtiment réhabilité avec mesures recueillies in situ
- Modélisation :
 - Bâtiment : algorithmes de calibrage en temps réel des modèles
 - Météo : Modèles ARMA de météorologie locale
- Optimisation : algorithmes de contrôle auto-adaptatif
- Application :
 - actionneurs pour les systèmes pilotés à distance
 - interface homme-machine pour le retour d'information à l'utilisateur

Deux projets ANR (SIMINTHEC et PRECISION), et développements dans le cadre de la chaire Éco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures, ParisTech en collaboration avec VINCI. Collaboration avec le Centre d'Automatique et des Systèmes.

STRATEGIES D'EFFACEMENT ET DE PILOTAGE

Parties prenantes

- Développement de modèles inverses pour la mise en place de stratégies d'effacement dans les immeubles de bureaux (Expérimentations in-situ en cours)
- Etude de stratégies d'effacement court terme intégrant les problématiques de confort et les effets de recouvrement énergétique
- Développements méthodologiques pour la valorisation de stratégies de pilotages / effacements
- Mise en évidence des impacts des pilotages optimisés ENR / Stockage / Usages



Prévision à 24h de besoin de chauffage avec modification de la température de consigne de 18h à 20h

=> Dépôt de brevet en cours : Services innovants d'information aux consommateurs (« feedback ») sur l'usage du chauffage



CES

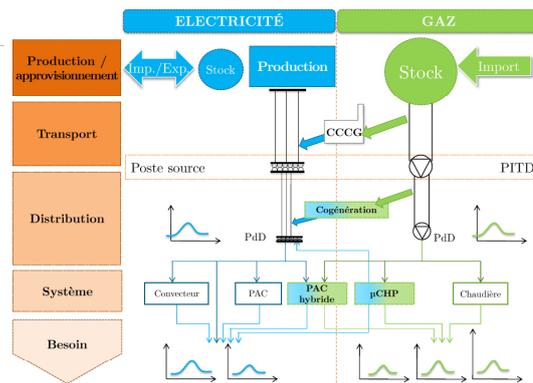
Centre Efficacité énergétique des Systèmes

Groupe MDE

IMPACT DES TECHNOLOGIES GAZ SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES

Auteurs

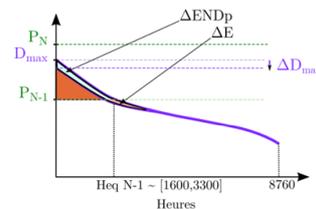
Bruno DUPLESSIS
Dominique MARCHIO
Philippe RIVIERE
Pascal STABAT



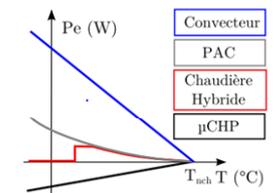
Interactions réseaux gaz/électricité

- Etude de solutions d'optimisation des facteurs de charge des réseaux gaz et électriques en jouant sur leurs interactions
- Evaluation du potentiel d'effacement des technologies gaz à l'échelle régionale par modélisation des systèmes et reconstruction bottom-up de la demande
- Evaluation du potentiel économique à partir de l'estimation de l'énergie potentielle non-distribuée et des coûts de la défaillance (26€/kWh)

=> Prix du meilleur jeune chercheur de l'industrie mondiale du gaz



Représentation de l'énergie non distribuée sur une monotone



Systèmes de chauffage et impact sur le réseau électrique

Partenaires

Grandes entreprises



PME



ECO-CONCEPTION DES SYSTEMES ÉNERGÉTIQUES DU BÂTIMENT

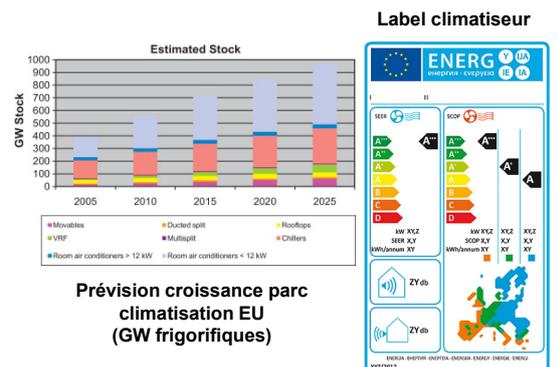
Systèmes de climatisation, de ventilation et de chauffage

- Etudes Ecodesign pour la Commission européenne : Propositions réglementaires faites à la CE pour les climatiseurs, la ventilation résidentielle, la ventilation tertiaire, la climatisation centralisée, les systèmes de contrôle des systèmes de chauffage

Méthodologie des études

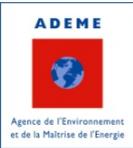
Définition fonctionnelle et technique, Analyse du marché européen, Conditions d'utilisation, potentiel d'amélioration de produits représentatifs, ACV et études technico-économique d'amélioration, proposition de mesures suivant plusieurs scénarios avec impacts consommateur, industrie et réseaux : Economie >15 Mtep / an en 2025 en Europe, ~1% cons. EU.

=> Règlement UE n° 206/2012 (seuils) et label déjà en place



Prévision croissance parc climatisation EU (GW frigorifiques)

Parties prenantes



Auteurs

Elias BOULAWZ KSAYER
Walid SAID
Maroun NEMER
Samer MAALOUF
Samer Maarauji

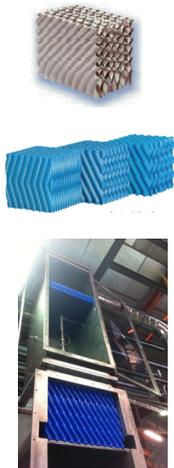
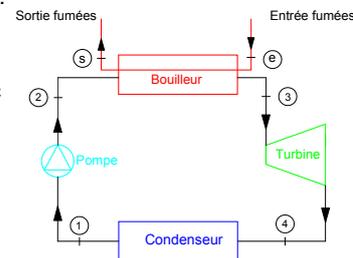
Partenaires



Revalorisation de l'énergie des gaz chauds en électricité

Projets ORACLE, ENERCO_LT & ORC-2-MECA

- Identification et caractérisation des sources de fumées et de gaz de procédés dans l'industrie: débit, température, composition.
- Conception et analyse des cycles de Rankine Organique (ORC) adaptés à chaque type et à chaque température de fumées
- Détermination des fluides de travail optimaux pour chaque niveau de température.
- Dimensionnement des systèmes ORC pour quatre niveaux de température: 400°C, 250°C, 180°C et 120°C.
- Modélisation des échangeurs de récupération de chaleur du type tube-ailette avec différents matériaux: tube cuivre, tube inox, ailette aluminium, ailette inox selon la pression du fluide de travail et la température des fumées.
- Caractérisation des échangeurs de chaleur de plusieurs types sur un banc d'essai.
- Validation du modèle de conception des échangeurs de récupération de chaleur tube-ailette pour une plage de température de 80 à 400°C.



Revalorisation de l'énergie des fumées humides en électricité dans les cimenteries

Projet LOVE

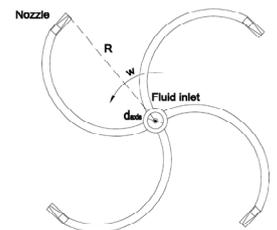
- Récupération de la chaleur latente de la vapeur d'eau des fumées
- Conception de systèmes de récupération de la chaleur latente par pulvérisation d'eau sur des garnissages
- Intégration d'un système de dépollution des fumées
- Modélisation des échangeurs ouverts à garnissage avec condensation de la vapeur d'eau
- Caractérisation de plusieurs types de garnissages: PVC et inox.
- Validation du modèle de conception des échangeurs ouverts à garnissage
- Réalisation d'un pilote produisant 100 kW_e à partir des fumées humides à 110°C avec une température de rosée de 62°C



Récupération de l'énergie de détente diphasique dans les systèmes frigorifiques

Projet TDD RAC

- Récupération de l'énergie de détente du liquide saturant dans les systèmes de réfrigération
- Conception des buses de détente diphasique avec des rendements de détente supérieur à 80%
- Modélisation des turbines diphasiques du type Hero
- Réalisation d'un banc d'essai de turbines de détente diphasique fournissant un débit de 4 kg/s
- Caractérisation expérimentale des buses de détente diphasique
- Réalisation d'une turbine diphasique de 5 kW_e pouvant être installée sur un groupe d'eau glacée de 600 kW_{th} au régime 12 - 7°C



Turbine Hero

Parties prenantes



Auteurs

H. Hagi
M. Nemer
Y. Le Moulec
C. Bouallou

Partenaires

Contexte et enjeux

Réchauffement climatique et captage du CO₂

- Environ 12 Gt de CO₂ sont émises annuellement par la production électrique, ce qui représente plus de **40 % des émissions mondiales de CO₂ d'origine anthropiques** (Fig. 1)
- **41 % de l'électricité mondiale produite à partir de charbon** (Fig. 1)
- La mise en place de la **chaîne de captage et stockage du CO₂** sur les centrales à charbon est donc primordiale pour assurer la transition énergétique et atteindre les objectifs de limitation de l'augmentation de température fixés par le GIEC

Le captage par oxy-combustion

- Alternative prometteuse au captage du CO₂ par absorption chimique
- L'**oxy-combustion** consiste à séparer l'oxygène de l'air en amont de la chaudière pour obtenir des fumées concentrées en CO₂ faciles à capter en aval
- La surconsommation liée à la séparation cryogénique de l'air (ASU) et la compression et purification du CO₂ (CPU) entraîne cependant une **pénalité énergétique élevée** pouvant représenter jusqu'à 20 % de la production

Objectifs

- Réduire la pénalité énergétique du procédé en adoptant une démarche d'**optimisation à l'échelle système** basée sur l'**analyse exergétique** et la **thermo-économie**

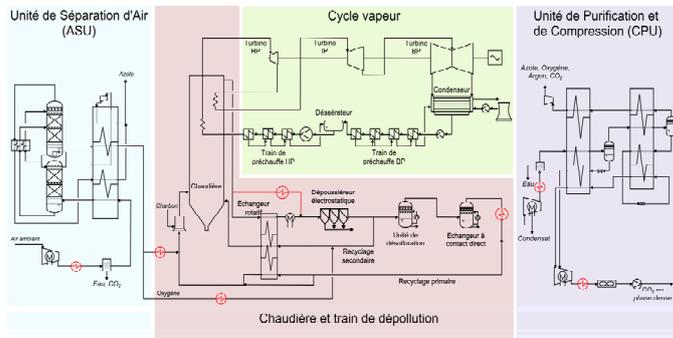
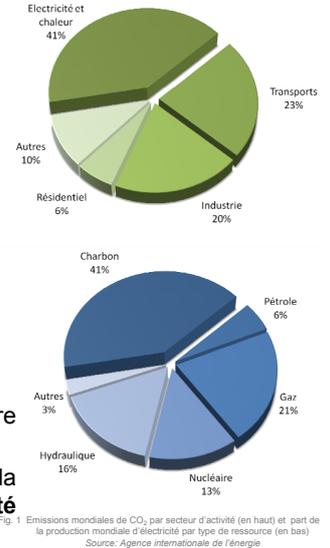


Fig. 2 Schéma simplifié d'une centrale à charbon pulvérisé fonctionnant en oxy-combustion avec captage du CO₂

Méthodologie

- **Modélisation et simulation** d'une centrale oxy-combustion de référence (Fig. 2)
- Analyse exergétique de la centrale de référence pour identifier la localisation et l'importance des irréversibilités intervenant au sein du système (Fig. 3)
- Mise en place d'une **stratégie d'intégration énergétique minimisant les pertes thermodynamiques** du procédé
 - Chaleurs de compression de l'ASU et du CPU
 - Préchauffage de l'oxygène
 - Intégration de la chaleur en surplus de l'échangeur rotatif
 - Réchauffage des fumées avec de l'eau du cycle vapeur

Résultats et perspectives

- L'analyse exergétique a permis la mise en place d'une stratégie d'intégration de chaleur raisonnée menant à une diminution de la pénalité énergétique de 19 %, soit 1,1 point sur base PCI.
- Les travaux futurs se focaliseront sur la prise en compte du critère économique dans la méthode d'intégration énergétique.

	Avant intégration	Après intégration
Production électrique nette (MW)	760	805
Consommation ASU (MW)	123	140
Consommation CPU (MW)	77	87
Rendement net (% _{PCI})	36,2	38,1
Pénalité énergétique (%-pts)	9,9	8
Pénalité énergétique (kWh/t_{CO2})	274	257

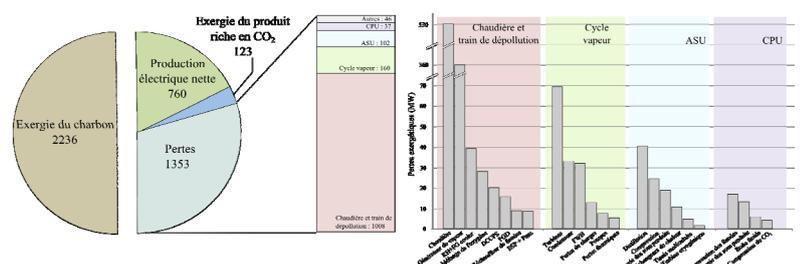


Fig. 3 Distribution de l'exergie dans le système en MW (à gauche) et répartition des pertes (à droite)

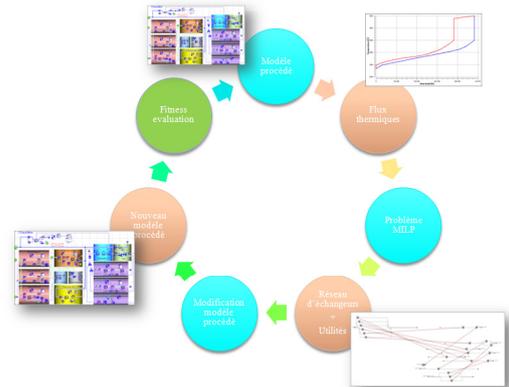
Parties prenantes



Objectif et méthodologie

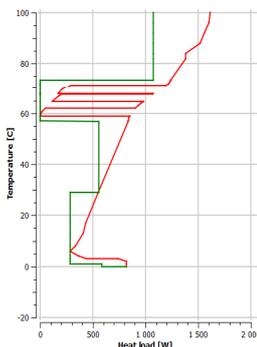
Réduire les besoins d'énergie des procédés industriels

- Identification des besoins énergétiques minimaux relatifs au procédé étudié ;
- Choix par optimisation multi objectifs (exergie, économie, environnement...) des moyens de production et de stockage des besoins énergétiques ;
- Conception thermodynamique optimisée du réseau d'échange de chaleur et des systèmes de production des besoins énergétiques;



Auteurs

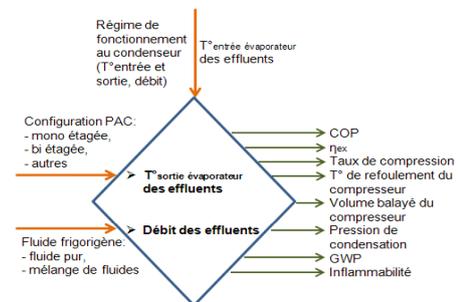
Assaad Zoughaib
Centre Efficacité
énergétique des Systèmes
Mines ParisTech



Intégration de PAC et des ORC

Identification de leur emplacement idéal dans le procédé

- Minimiser le besoin (destruction) d'exergie;
- Dans le cas de l'intégration de thermofrigopompe, la chaleur excédentaire de la zone en dessous du pincement est pompée vers la zone déficitaire;
- Conception optimisée des cycles thermodynamiques et choix des fluides de travail



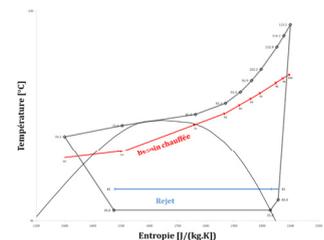
Partenaires



Identification de solutions de rupture

Définition d'une roadmap technologique

- Echangeurs solide-solide
- Pompe à chaleur transcritique à très haute température
- Cycles thermodynamiques complexes (contrôle de la composition circulante..)
- Production simultanée flexible de chaud et de froid par TFP
- Stockage d'énergie



Auteurs

Philippe BREUIL^a,
Jean-Paul VIRICELLE^a,
Christophe PIJOLAT^a
Axel BART^b,
Ronan COZIC^b
Nadine LOCOGE^c,
Nathalie REDON^c
Yves ANDRE^d

^aEMSE, ^bSRA Instruments
^cEMD, ^dEMN

OBJECTIFS

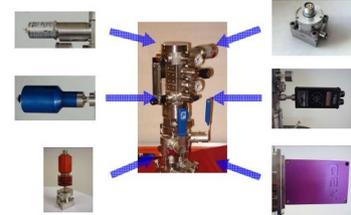
- Développer des capteurs ou analyseurs miniaturisés pour le contrôle en ligne de divers procédés :

- Analyseur de type μ GC avec préconcentrateur intégré pour analyse de traces dans des procédés industriels

Projet INNOVAL (AXELERA)

- Réseau de capteurs pour contrôle de traitement photocatalytique de l'air

Projet PHOTOC AIR (CARNOT M.I.N.E.S)

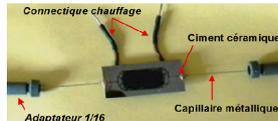


Capteurs miniaturisés au standard « NESSI » implantés sur colonne échantillonnage

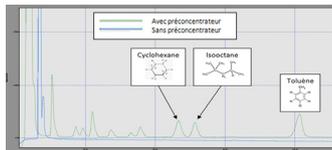
Partenaires



μ GC SRA au standard « NESSI »



Préconcentrateur sur silicium EMSE (coll. IMT-EPFL)



Chromatogramme avec/sans Préconcentrateur intégré sur μ GC SRA

Projet INNOVAL : l'instrumentation en ligne au cœur des procédés

L'analyse μ GC au standard « NESSI »

- Standard « Nessi » = concept de type « Plug and Play » pour l'instrumentation
- Développement d'un μ GC au standard NESSI (SRA)
- Evaluation des performances / dispositifs conventionnels sur gaz utilisés dans des procédés industriels (EMSE)

Développement de préconcentrateur pour analyse de traces

- Dispositif de préconcentration en amont du μ GC, à la place de l'injecteur
- Préconcentrateur : microréacteur en silicium rempli avec adsorbant et muni d'un système de chauffage pour désorption flash.

Projet PHOTOC AIR (2013 -2014)

Elaboration / Validation Réseau de capteurs (EMSE-EMD)

- Choix des capteurs constituant le système multicapteur en fonction des gaz cibles
- Tests des capteurs avec mélange synthétique de gaz

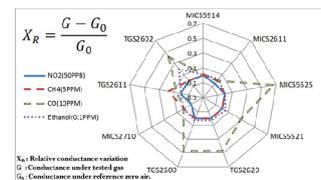
Etude des performances sur site (EMN-EMSE)

- Evaluation des capteurs en amont/aval de procédés de traitement photocatalytique
- Corrélation des paramètres du procédé / information système multicapteurs → optimisation de l'efficacité du traitement

→ Monitoring de la qualité de l'air intérieur pour aspect énergétique des bâtiments



Systèmes multicapteurs (9 gaz + humidité température)



Evaluation des performances des capteurs (analyse multivariées)

Parties prenantes

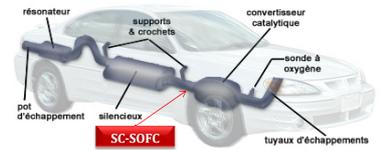


OBJECTIFS

- Développer un système capable de recycler l'énergie des gaz en sortie d'un moteur thermique
- Diminution des émissions d'imbrûlés dans l'atmosphère tout en améliorant l'efficacité énergétique des véhicules

Solution étudiée : Incorporation d'une pile à combustible de type SOFC monochambre en sortie de catalyseur

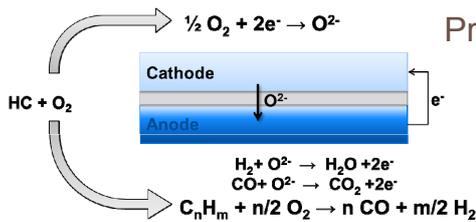
- Développer une cellule SOFC et définir les conditions de fonctionnement
- Evaluer les performances de la cellule dans des conditions représentatives des gaz d'échappement
- Réaliser un démonstrateur intégrant plusieurs cellules (stack)



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT / ETAT DE L'ART

Auteurs

Pauline BRIAULT^a
Mathilde RIEU^a
Jean-Paul VIRICELLE^a
Christophe PIJOLAT^a
Richard LAUCOURNET^b
Bertrand MOREL^b
^aEMSE, ^bCEA-LITEN



Principe de fonctionnement SOFC monochambre

- Alimentation par un mélange air/hydrocarbure (HC)
- Pas de séparation physique anode/cathode comme dans une pile conventionnelle
- Nouvelles géométries de piles possibles, empilement facilité
- Matériaux d'électrodes avec activité catalytique sélective

Etat de l'art

- Procédé de récupération d'énergie assez peu étudié
- 1 seul exemple : Hibino et al. (2008, Japon)
Test d'un stack de 12 cellules électrolyte support Ni-SDC/YSZ/LSM dans le pot d'échappement d'un scooter
1,2 W délivrés : Puissance faible mais valide le procédé!



• Hibino et al. (2008) « A Single-Chamber SOFC Stack : Energy recovery from Engine Exhaust »

Partenaires



RESULTATS EN COURS sur monocellule

Elaboration cellule, conditions de tests

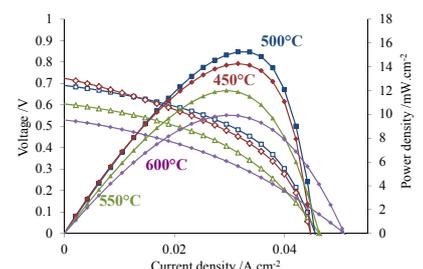
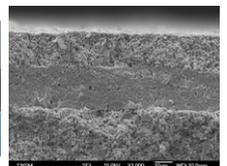
- Cellule anode support réalisée : coulage en bande + sérigraphie
- Banc de test réalisé, gaz échappement synthétique : HC (propane/propène) + O₂ + N₂ + CO + H₂ + CO₂ + H₂O
- Etude des activités catalytiques des matériaux d'électrodes

Etude des performances électrochimiques

- Etude des paramètres : température, rapport HC/O₂
- Densité de puissance de l'ordre de 16mW/cm² à 500°C avec 1000ppm HC (HC/O₂=0,21)

Passage au « stack » en cours...

4 matériaux de cathode testés* (épaisseur ~40µm)
Electrolyte : CGO(Ce_{0,9}Gd_{0,1}O_{1,95}) (épaisseur~10-20µm)
Anode support : Cermet Ni-CGO (épaisseur~400µm)



Courbes de polarisation d'une monocellule sous rapport HC/O₂ = 0,21



Question de recherche : Quels sont les éléments humains et/ou techniques favorisant (leviers) ou entravant (freins) la réduction des consommations d'énergie d'un facteur 4 dans le secteur du bâtiment ?

Démarche de recherche basée sur une approche interdisciplinaire couplant :

- ❖ Une recherche action (Etudes thermiques + simulations) au sein de 3 ensembles de bâtiments sociaux regroupant **205 logements**
- ❖ Les retours d'expériences de **249 acteurs** professionnels du bâtiment via des entretiens semi-directifs et des questionnaires internet

Parties prenantes

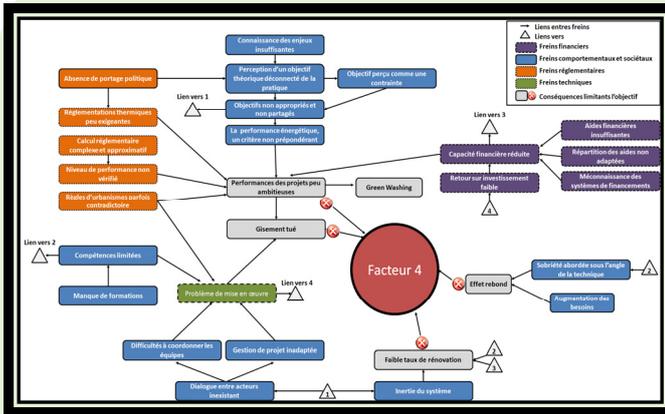


Auteurs

Jonathan VILLOT
Valérie LAFOREST
Natacha GONDRAN

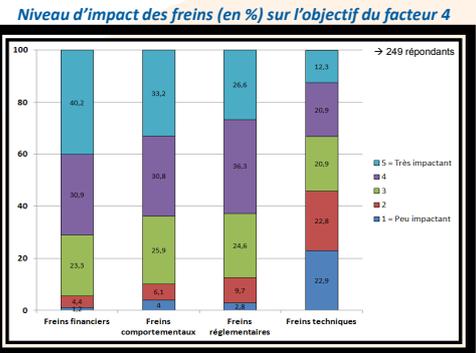
Equipe PIESO
Institut Henri Fayol
ENSM-SE

Cartographie des limites au facteur 4



- ❑ 24 types de freins identifiables présentant des interrelations fortes
- ❑ 4 catégories de freins : Financiers, comportementaux, réglementaires, techniques
- ❑ 5 conséquences majeures entravant l'objectif du facteur 4 :
 - Faible taux de rénovation
 - Effet rebond
 - Niveau de performance peu ambitieux
 - Gisement potentiel d'économie altéré
 - Green Washing

Des freins certains mais ...



- ✓ Les freins financiers, comportementaux et réglementaires sont perçus comme les plus impactants.
- ✓ Les freins techniques sont considérés comme les moins problématiques
- ✓ L'impact et l'ampleur des différentes catégories de freins restent variables selon les acteurs, leur profil, leurs expériences, et leurs projets.

... des acteurs perçus comme moteurs

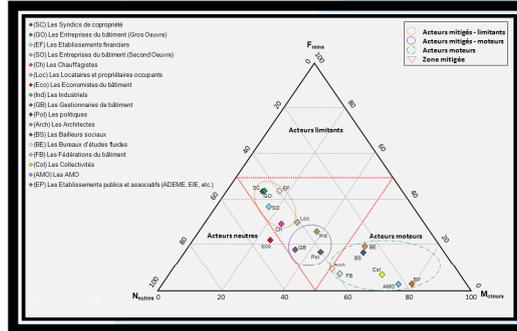
La cartographie des acteurs par l'intermédiaire d'un diagramme ternaire permet de classer ces derniers selon trois grands pôles : **moteurs, neutres, limitants**. (Le pourcentage de réponses cumulées des 249 répondants pour chaque qualificatif constitue les coordonnées des acteurs dans le diagramme).

Les intervenants de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre sont majoritairement considérés comme moteurs

Les industriels et entreprises du gros œuvre de même que les politiques sont perçus comme neutres à moteurs

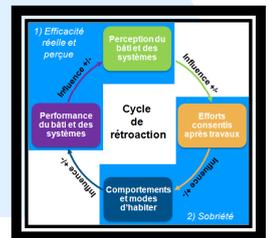
Les établissements financiers et les entreprises du second œuvre sont cités comme potentiellement limitants.

Diagramme ternaire des acteurs du bâtiment



Discours : « Dans le bâtiment, on parle de maîtrise d'ouvrage, d'AMO, de maîtrise d'œuvre, d'architecte, de bureau d'étude, tous ces gens, ça en fait du monde. Et encore si c'était que ça ! On va souvent de l'artisan travaillant seul, jusqu'aux multinationales » (E-SYND-1).1

Les habitants, acteurs clés, ont un rôle encore incertain; les efforts vers plus de sobriété étant conditionnés par l'efficacité réelle et perçue du bâti.



Vers un changement de paradigme ?



Des dissensus importants entre groupes d'acteurs (Acteurs professionnels Vs utilisateurs) se démarquent sur les notions de performance et de confort. Ainsi, le système bâtiment, apparaît encore assez loin d'une dynamique permettant un changement vers une diminution réelle et globale de ses consommations énergétiques.

Le bâtiment, face aux contraintes du facteur 4 nécessite non pas une adaptation ou une évolution, mais une rupture forte des modes de penser et d'agir traditionnels. En ce sens, aucun frein ne peut être écarté ni aucun acteur considéré comme variable d'ajustement.



Le choix d'un « sorbet »

Problématique :

Contrainte : la température du fluide frigoroporteur doit se situer entre 6 et 12°C

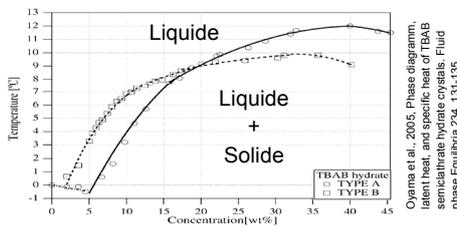
Réduire l'utilisation des fluides frigorigènes « classiques » en climatisation (CFC, HCFC, HFC)

Utiliser un fluide frigoroporteur diphasique (solide / liquide) « sorbet »

Solution de TBAB
(Bromure de Tetra-ButylAmmonium)

- Exploitation de la chaleur latente de fusion
- Possibilité de stockage et de lissage de la production frigorifique
- Sorbet concentré à 30% maximum de solide

Le sorbet diphasique d'hydrates de TBAB :



	Eau glacée initialement entre 4 et 8°C		Sorbet d'hydrates de TBAB		
	ΔT de 4 K	ΔT de 6 K	10% massique d'hydrates	20% massique d'hydrates	30% massique d'hydrates
Variation d'énergie pour 1 kg	17 kJ	25 kJ	20 kJ	40 kJ	60 kJ

Diagramme d'équilibre des hydrates de TBAB

Parties prenantes



Auteurs

- Jérôme Douzet ^{a,b}
Jean-Michel Herri ^{a,b}
Fabien Chauvy ^{a,b}
Alain Lallemand ^{a,b}
Denis Flick ^c

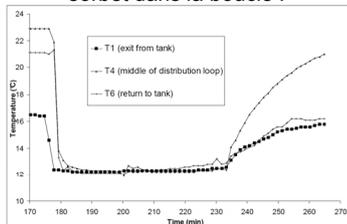
Partenaires



Transfert de technologie

De la réfrigération à la climatisation :

Températures de distribution du sorbet dans la boucle :



La température reste constante si tous les hydrates ne sont pas fondus

Ventilo-convecteurs standards Lennox

Cuve de stockage 2m³ solution de TBAB

Générateur de sorbet de glace HeatCraft (Alimenté par boucle primaire Lennox)



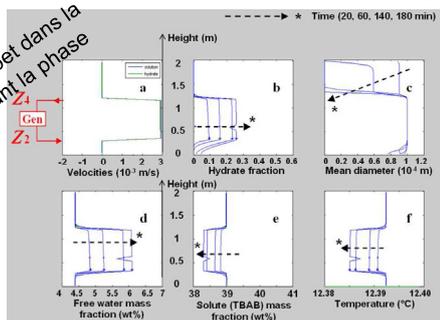
Modélisation du stockage

Buts :

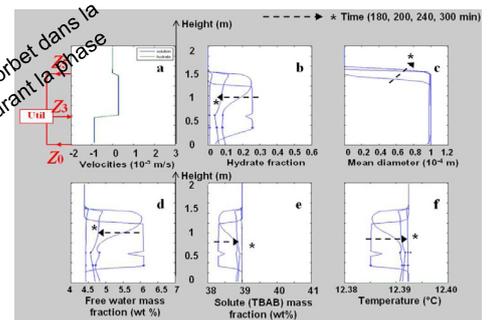
- Disposer d'un outil de simulation des caractéristiques du sorbet (température, fraction d'hydrates, taille des cristaux, composition de la phase liquide).
- Disposer d'un outil de dimensionnement de cuves de stockage de sorbets.

Exemples :

Evolution des caractéristiques du sorbet dans la cuve en fonction de la hauteur, durant la phase de génération (stockage)



Evolution des caractéristiques du sorbet dans la cuve en fonction de la hauteur, durant la phase de distribution (climatisation)



CONTEXTE

- **TIC** : « [...] branche d'activité [...] conçue pour assurer ou permettre les fonctions de traitement et de communication de l'information par des moyens électroniques, dont notamment sa transmission et son affichage » [FIUPO, 2007]
- Omniprésents (travail, loisir, santé, ...)
- Consommation de ressources
⇒ Impacts à l'échelle planétaire

- Consommation électrique des TIC
⇒ 7,3% de l'électricité française [Idate 2010]
- Apparition des labels:
↳ Consommation électrique par équipement
⇒ Energy star (1992)



Malgré ces labels, augmentation globale des consommations électriques du fait de la croissance des usages

OBJECTIFS: Représenter les impacts environnementaux d'un parc informatique sur la base d'un inventaire des équipements présents et de leur utilisation (consommations énergétiques).

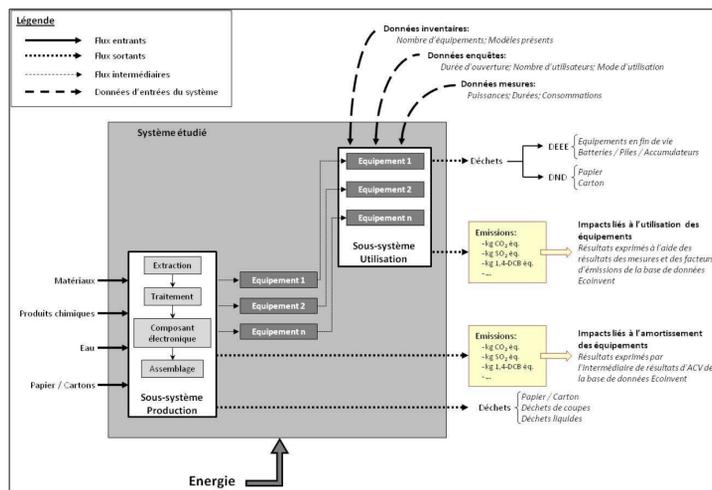
Parties prenantes



Département PIESO
Performance Industrielle et
Environnementale des Systèmes
et des Organisations

SYSTEME ETUDIÉ

Systeme informatique d'une organisation



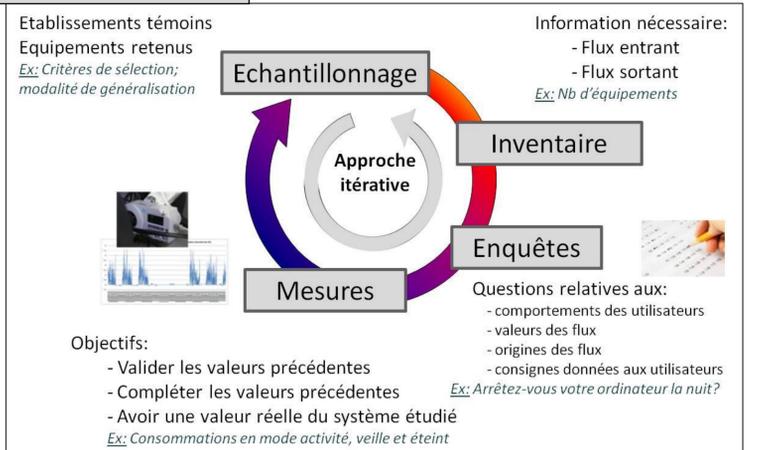
Auteurs

Valentine MOREAU
Natacha GONDRAN
Valérie LAFOREST

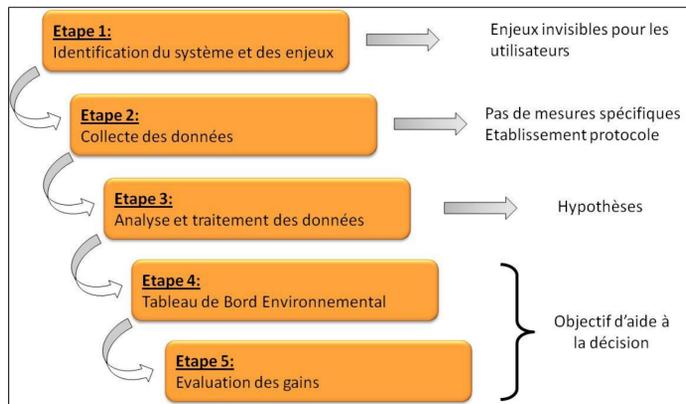
ETUDE DE CAS

Réalisée au sein de Casino IT

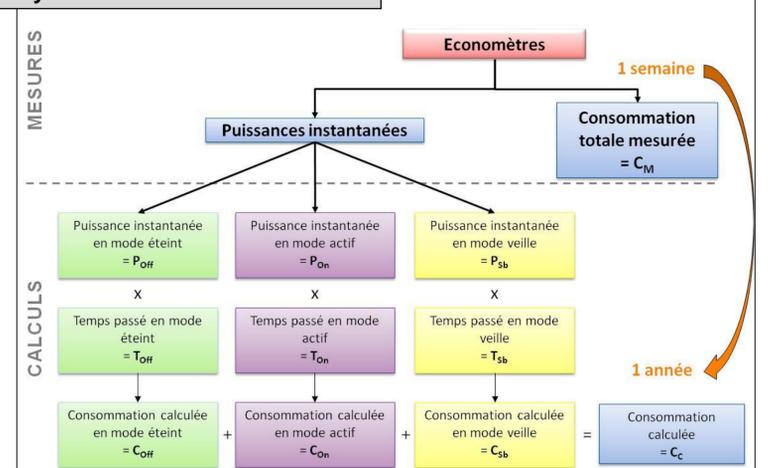
Collecte des données



DÉMARCHE METHODOLOGIQUE



Analyse et traitement des données



Partenaires



CONCLUSIONS

Evaluation des gains

Les résultats obtenus permettent d'identifier des pistes d'optimisation :

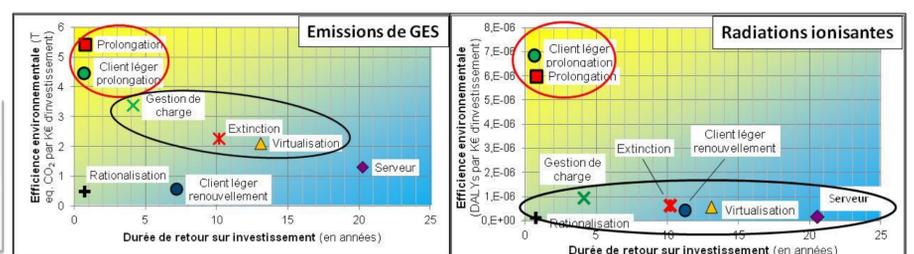
- Réduction des consommations électriques
- Gestion du parc informatique
- Diminution des impacts environnementaux



PERSPECTIVES

- **Généralisation temporelle** = Passage de résultats d'une semaine à un an
 ✓ Campagnes de mesures sur un mois
 ✓ Variations 3 à 15%
 ✓ Campagnes plus longues
- **Généralisation spatiale** = Passage de résultats d'un établissement à l'ensemble des établissements

- **Concept de "système-produit-service"**
 ➢ Raisonne en termes de service et non en termes de produit
 ➢ Approche par les usages et non par les produits



Résultats et conclusions différentes selon les indicateurs environnementaux choisis (CO₂ versus DALYs)



Stakeholders



UMR CNRS 5157 Samovar



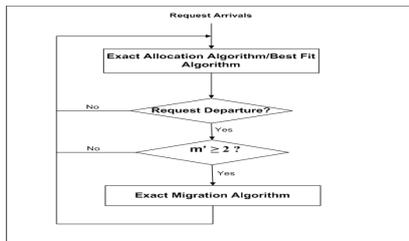
Dynamic VM scheduling

Objectives

- Proposing an energy aware VM scheduling Framework based on dynamic placement of VMs in cloud data centers.
- Proposing optimal algorithms for VM allocation and migration to reduce power consumption in cloud data centers.

Contributions

- Exact VM Allocation algorithm
- Exact VM Migration algorithm
- Adapted energy aware best fit algorithm



Mathematical Models

Exact VM Allocation

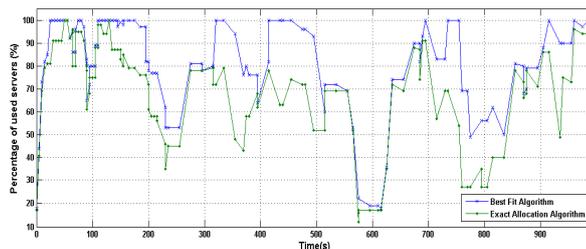
- Objective:** Initial VM placement with reducing the number of used servers.

Mathematical Programming Formulation:

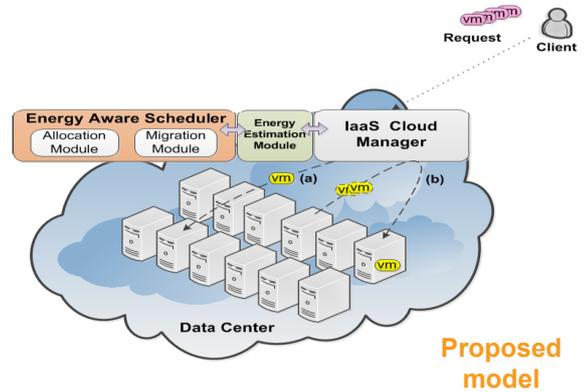
- Modelled as a bin packing problem with a minimum power consumption objective.

$$\begin{cases} \min Z = \sum_{j=1}^m e_j \\ \sum_{i=1}^n p_i x_{ij} \leq P_{j,Max} e_j - P_{j,Current} \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1; \quad i \in \{1..n\}; \quad j \in \{1..m\} \\ \sum_{j=1}^m e_j \geq \left\lceil \frac{\sum_{j=1}^m P_{j,Current}}{P_{j,Max}} \right\rceil \\ e_j \in \{0, 1\}; \quad x_{ij} \in \{0, 1\} \end{cases}$$

Performance Results



- Performance comparison between the exact allocation and the best fit algorithms



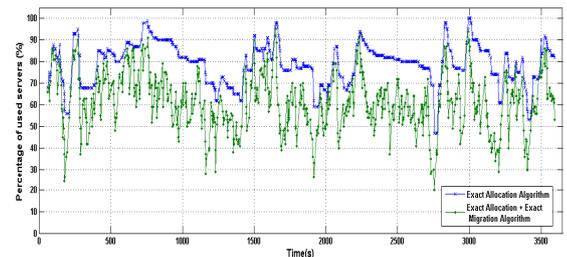
Exact VM Migration

- Objective:** Optimize constantly the number of used servers via dynamic VM consolidation.

Mathematical Programming Formulation:

- Based on a mathematical model for VM consolidation via migration that relies on a linear integer programming formulation.

$$\begin{cases} \max M = \sum_{i=1}^{m'} P_{i,Idle} y_i - \sum_{i=1}^{m'} \sum_{j=1}^{m'} \sum_{k=1}^{q_i} p'_k z_{ijk} \\ z_{ijk} + z_{jlk} \leq 1 \quad j \neq i; \quad l \neq j; \quad k \neq k' \\ \sum_{j=1}^{m'} \sum_{j \neq i} z_{ijk} \leq 1 \quad i \in \{1..m'\}; \quad j \in \{1..m'\}; \quad l \in \{1..m'\} \\ k \in \{1..q_i\}; \quad k' \in \{1..q_j\} \\ \sum_{i=1}^{m'} \sum_{k=1}^{q_i} p_k z_{ijk} \leq (P_{j,Max} - P_{j,Current}) (1 - y_j) \\ \sum_{j=1}^{m'} \sum_{k=1}^{q_i} z_{ijk} = q_i y_i; \quad z_{ijk} \in \{0, 1\}; \quad y_i \in \{0, 1\} \\ \sum_{i=1}^{m'} y_i \leq m' - \left\lceil \frac{\sum_{j=1}^{m'} P_{j,Current}}{P_{j,Max}} \right\rceil \\ z_{ijk} \Delta t_k \geq T_0 \end{cases}$$



- Performance comparison of the exact allocation algorithm with and without migration

Parties prenantes



Auteurs

Dincer Ibrahim, Pr,
UIOT, Canada

Rozen Marc, Pr,
UIOT, Canada

Bianchi Daniel, DE,
IRCELYON

Gaillard François, DE,
IRCELYON
Cazagliu Bogdan, HDR,
IFSTAR, Nantes

Florian Huchet, Dr,
IFSTAR, Nantes

Piton Maxime
Doctorant, Ecole SPIGA

Le Corre Olivier, Mines Nantes

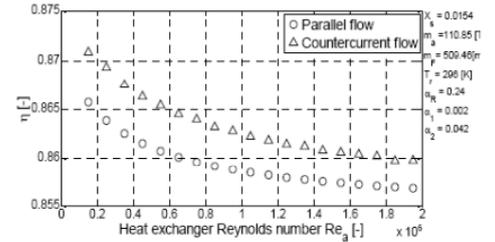
Partenaires



Procédé continu de centrale d'enrobage

Transferts thermo-convectifs avec une condition limite tournante

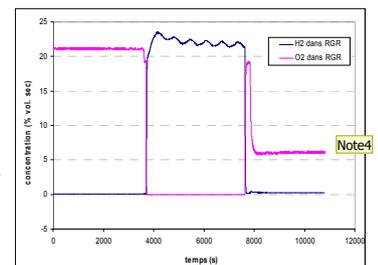
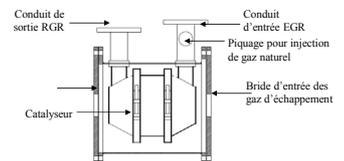
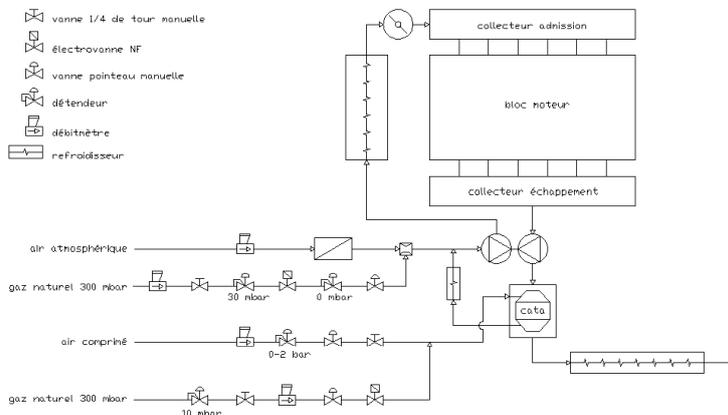
- **Objectif:** Réduire la consommation de combustible.
- **Moyen:** Définir un échangeur à ailettes droites ou hélicoïdales.
- **Méthode:** Approches numérique et expérimentale.
 - Caractérisation moyennée selon l'écoulement longitudinal (bilan masse et énergie) et confrontation avec les mesures.
 - Etude locale des champs de vitesse dans l'échangeur et confrontation aux mesures.
- **Résultat attendu:** Enveloppe soleau / Brevet sur le design de l'échangeur, valorisation scientifique.



Production in-situ d'hydrogène à partir de fumées

Vapo-réformage ou Oxydation partielle du gaz naturel

- **Objectif:** Améliorer le rendement des installations de cogénération alimentées par du GN: application aux moteurs thermiques stationnaires.
- **Moyen:** Introduire un catalyseur dans les fumées et créer une boucle en amont du turbo soit en condition de vapo-réformage soit d'oxydation partielle.
- **Méthode:** test de différents catalyseurs sur de longues durées.
- **Résultat:**
 - Brevet : WO2011010069 (A1) — 2011-01-27
 - Article :
Le Corre, O., Rahmouni, C., Saikaly, K., Dincer, I. Effect of H₂ produced through steam methane reforming on CHP plant efficiency (2011) International Journal of Hydrogen Energy, 36 (17), pp. 11457-11466. doi: 10.1016/j.ijhydene.2010.11.126
Le Corre, O., Saikaly, K., Rosen, M.A. Effects on CHP plant efficiency of H₂ production through partial oxidation of natural gas over two group VIII metal catalysts (2012) International Journal of Hydrogen Energy, 37 (13), pp. 10380-10389. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.04.015



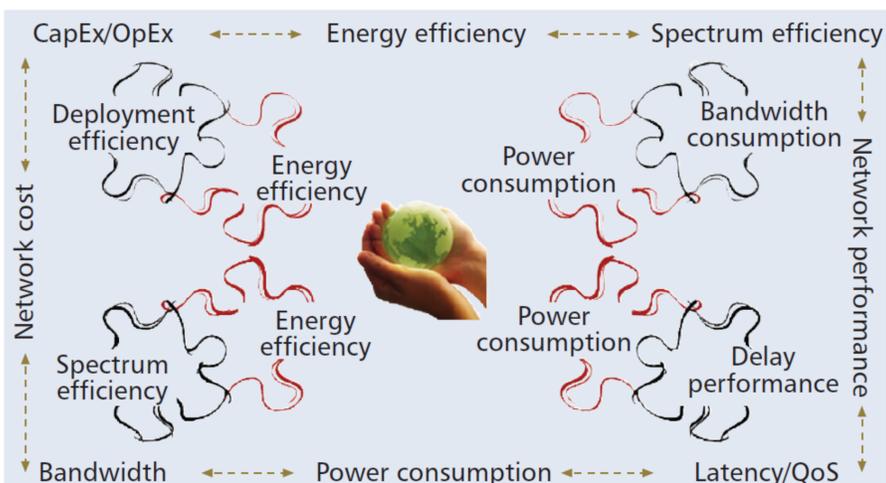
Energy Efficiency and Cloud Radio Network

Navid Nikaein, Christian Bonnet, Raymond Knopp, and Florian Kaltenberger
EURECOM, Mobile Communication Department
Email: firstname.name@eurecom.fr

I. Context and Motivations

- **Exponential growth of mobile Internet traffic volume**
 - ❖ Emergence of 4G/5G coupled with Internet-capable mobile devices
 - ❖ New applications and services : M2M, online gaming, interactive mobile video and mobile TV, context-aware and 3D applications
- **But, the revenues are not increasing with the traffic volume**
 - Per-bit energy consumption cannot follow traffic growth
 - Overall operating BS cell power cannot follow BS growth
- **Operators are seeking more cost-effective solutions to**
 - ❖ Introduce new applications and services, and enhance user QoE
 - ❖ Increase system capacity, 1000 times of today's throughput
 - ❖ Cope with the network traffic workload load demand and supply due to spatio-temporal traffic fluctuations
 - ❖ Reduce the total energy budget, and EMF emission
- **Green radio key enablers**
 - ❖ Small cell, HetNet, Relaying, Massive MIMO, and **Cloud-RAN**
 - ❖ Traffic management, offloading, content-optimized network
 - ❖ Virtualization, cloud computing, Software-defined network (SDN)
 - ❖ Network-wide coordination and orchestration

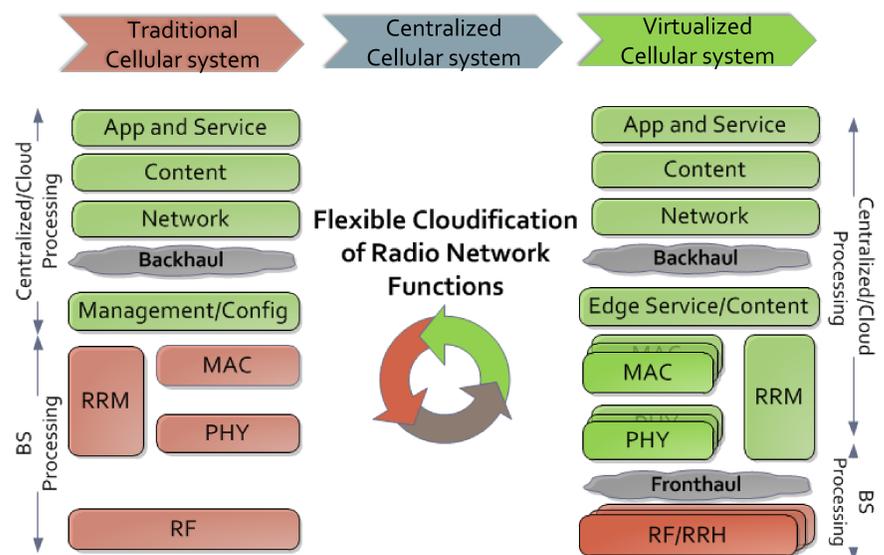
II. Fundamental Trade-offs on Green Radio



Source: Fundamental Trade-offs on Green Wireless Networks, IEEE Communication Magazine

- **Interplay between cost, latency, bandwidth, rate, and energy**
- **Trading for power**
 - ❖ Expanding the **bandwidth** for a given rate requirement ?
 - ❖ Reducing the **transmission rate** for a given bandwidth ?
 - ❖ **Delaying the service time** without deviating a given QoS ?
- **BS cell size and energy efficiency**
 - Reducing the cell size shorten distances between network and terminals → Lower the TX power up to 10dB and same SINR
- **Latency and energy efficiency**
 - ❖ Minimizing protocol latency minimizes energy consumption in DSP, embedded system, and processor on both network and terminal
- **BS availability and energy efficiency**
 - ❖ Only 20% of BS sites carry 80% of traffic
 - ❖ Turn BS on and off for dynamic load balancing and traffic flow offloading → adjust the network workload demand and supply
- **Content availability and energy efficiency**
 - ❖ The majority of mobile data is content-based services (video, web)
 - ❖ Place and store popular content at the network edge (prefetching/caching) → reduce the E2E latency/energy
- **Novel Radio transmission technologies and architectures**
 - ❖ Radio network cloudification and delivery as a service

III. Cloudification of Radio Network

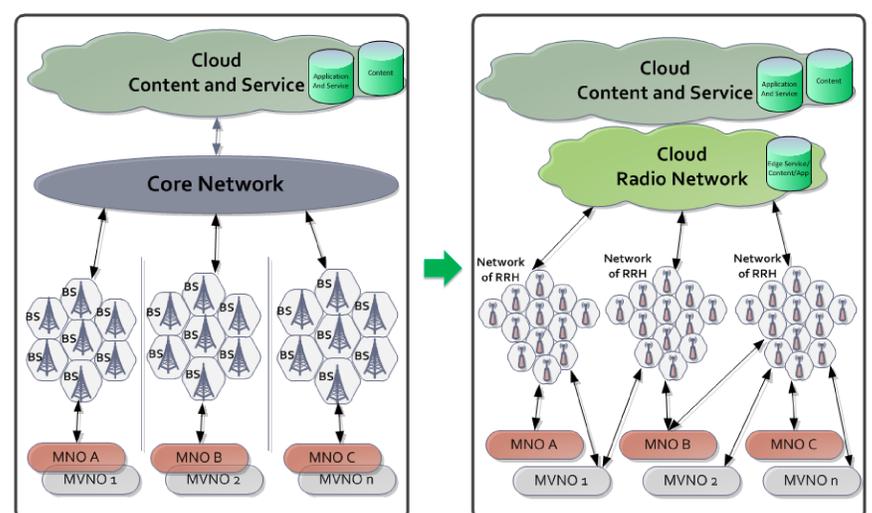


➤ Centralized/virtualized base station pool

- ❖ Migration from expensive specific hardware to GP platforms → **lower the cost of equipment**
- ❖ Load balancing and traffic offloading to meet traffic fluctuation → **energy saving by dynamically turning on and off the RAN**
- ❖ Rapid provisioning and new service adoption → **meet new traffic demands**
- ❖ Efficient coordination and interference management across cells → **increase the overall system capacity and radio collaboration**

➤ Scenarios

- ❖ **MVNOaaS**: value-added content and service bundle
- ❖ **PMRaaS**: dedicated and reliable content and service bundle

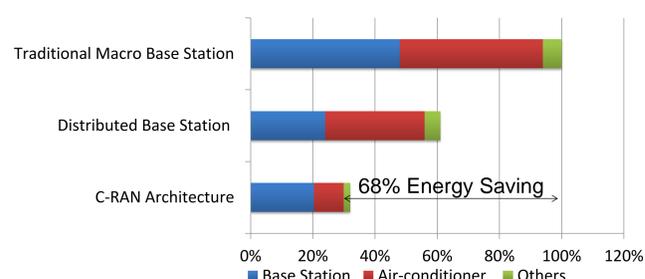


IV. Cloud-RAN Reduces 68% Power Consumption*

- **Majority of power consumption is from BS**
 - ❖ 50% by RAN
 - ❖ 50% by Air conditioning and other facility equipment

Scenario : China Mobile typical site model, total power consumption of traditional macro BS is 100%

RAN Energy Budget	Base Station	Air Conditioning	Other Major equipment	Total	Energy saving (%)
Traditional Macro Base Station	48%	46%	6%	100%	NA
Distributed Base Station	24%	32%	5%	61%	39%
C-RAN Architecture	20.4%	9.6%	2%	32%	68%



*Source: China Mobile and ZTE