



7^e Congrès Français des Pompes à Chaleur

mardi 17 septembre 2019
9h30 – 17h
Paris

Centre d'affaires Paris Trocadéro - 112 avenue Kléber - 75016

Organisé par **l'Institut National des Pompes à Chaleur**

Une occasion unique de partage d'informations et d'échanges sur les travaux de recherche menés en France dans le but d'améliorer les performances des pompes à chaleur, pour des applications dans le bâtiment ou dans l'industrie



L'Institut National des Pompes à Chaleur (INPAC) est un réseau d'acteurs français de la recherche sur les pompes à chaleur mis en place en 2010. Il regroupe : BRGM, CEA, CETIAT, COSTIC, CSTB, EDF, ENGIE, MINES ParisTech.

INPAC permet à ses membres des échanges d'informations, une concertation sur leurs programmes de recherche, des contacts avec d'autres partenaires au niveau français ou international, des activités de diffusion d'informations scientifiques et techniques sur les pompes à chaleur vers la filière professionnelle.

INPAC organise le **Congrès Français des Pompes à Chaleur**, permettant de mieux diffuser des résultats de projets de recherche et de développement technologiques, ainsi que des résultats issus des travaux de veille technologique des membres de l'INPAC et de leurs partenaires.

Ce congrès est l'occasion d'aborder des thèmes essentiels pour l'amélioration de la performance des pompes à chaleur, leur couplage avec d'autres systèmes ou d'autres sources d'énergie, leur utilisation optimisée dans le bâtiment ou dans l'industrie.

Accès : Centre d'affaires Paris Trocadéro - 112 avenue Kléber - 75016 PARIS
 Ligne 6 ou ligne 9 : Trocadéro

Inscription :

252 € TTC dont TVA 20% : accès au Congrès, pauses, cocktail déjeunatoire, copie des diapositives présentées.

L'inscription se fait exclusivement en ligne par Billetweb, avec un règlement par carte bancaire. Date limite le vendredi 6 septembre. Le nombre de places est limité à 150 participants.

<https://www.billetweb.fr/7e-congres-francais-des-pompes-a-chaleur>

Comité d'organisation :

François DURIER, Michèle MONDOT (CETIAT), Cédric BEAUMONT (COSTIC), Odile CAURET (EDF), David DUPUIS (ENGIE), Charles PELE (CSTB), Mikael PHILIPPE (BRGM), Philippe RIVIERE, Assaad ZOUGHAIB (MINES ParisTech), Joël WYTTEBACH (CEA)

Organisation pratique du congrès : CETIAT - 25 avenue des Arts - BP 52042 - 69603 Villeurbanne Cedex

Secrétariat du congrès : kareen.chabard@cetiat.fr

Programme du 7^{ème} Congrès Français des Pompes à Chaleur

Mardi 17 septembre 2019 – Centre d'affaires Paris Trocadéro

Accueil des participants à partir de 8h30

9h30 : **Ouverture du Congrès**

9h45 : **Marché : état des lieux et perspectives**

Présentation invitée

Eric BATAILLE - AFPAC

Jean-Marc PERCEBOIS - AFPG

10h30 : **Performances en exploitation**

- Impact des défauts de mise en œuvre et d'usage des pompes à chaleur sur la consommation et le confort

Toan VO MINH - CSTB

- Diagnostic de performance des pompes à chaleur en temps réel

Derek NOËL - EDF, MINES ParisTech

11h20 : Pause

11h50 : **Conception et dimensionnement des installations**

- Révision des méthodes de dimensionnement des installations de production d'ECS collective par pompe à chaleur

Cédric BEAUMONT - COSTIC

- Influence des paramètres géométriques et thermiques sur les performances de pieux géothermiques

Charles MARAGNA – BRGM

12h40 : Déjeuner

Programme (suite)

14h00 : **Systemes avancés**

- Panorama et innovations des pompes à chaleur gaz, dans les secteurs du résidentiel, tertiaire et industrie
David DUPUIS - ENGIE
- Pompe à chaleur et photovoltaïque en autoconsommation : étude technico-économique
Michèle MONDOT - CETIAT
- Pompe à chaleur industrielle transcritique aux HFO en récupération de chaleur sur des buées
Assaad ZOUGHAIB - MINES ParisTech
- Pompe à chaleur à absorption H₂O/LiBr pour traitement de l'air d'une piscine et préchauffage des bassins
François BOUDEHENN - CEA

15h40 : Pause

16h10 : **Table ronde : la PAC du futur**

- La PAC du futur : Comment sera-t-elle intégrée dans les systèmes, dans les *smart grids* ? Quels couplages ? Quelle sera son intelligence ? Quels nouveaux services offrira-t-elle ?
Avec la participation de l'AFPAC (Gérard CHARNEY), de l'AFPG (Jean-Marc PERCEBOIS), de membres de INPAC (David DUPUIS - ENGIE, Assaad ZOUGHAIB - MINES ParisTech) et discussion avec la salle

16h55 : **Conclusion**

17h00 : Clôture du Congrès

Résumés des interventions

Performances en exploitation

- **Impact des défauts de mise en œuvre et d'usage des pompes à chaleur sur la consommation et le confort**
(Toan VO MINH - CSTB)

Cette étude a pour objectif de développer une méthodologie de calcul de la consommation énergétique d'un bâtiment en y intégrant l'impact des défauts de fonctionnement des pompes à chaleur. Nous modélisons les défauts de fonctionnement de ces PAC et leurs impacts sur leurs performances au cours de leurs cycles de vie. Nous prendrons comme exemple, l'encrassement du filtre de l'évaporateur. La méthodologie est basée sur l'approche des réseaux de Pétri, qui nous permet d'étudier toutes les évolutions possibles de l'encrassement du filtre à chaque pas de temps, de l'état normal sans défaut à l'état de l'encrassement nécessitant une intervention. A chaque changement d'état du filtre, les performances de la pompe à chaleur sont réévaluées. Enfin, le modèle de simulation énergétique de bâtiment COMETH, intégrant l'impact des défauts de fonctionnement des systèmes, est utilisé pour simuler la consommation d'énergie annuelle. Le couplage de ces modèles permet de quantifier l'impact des défauts sur la performance d'une machine sur la consommation d'énergie d'un bâtiment et à terme de les prévenir.

- **Diagnostic de performance des pompes à chaleur en temps réel**
(Derek NOËL - EDF, MINES ParisTech)

Les performances in-situ des PAC sont encore aujourd'hui mal connues, et dépendent de nombreux facteurs comme leur dimensionnement, le climat ou la qualité de l'installation et du paramétrage. Elles peuvent en outre être affectées par certains défauts comme l'encrassement des échangeurs ou une mauvaise charge de fluide frigorigène. Cette étude se focalise sur la caractérisation de ces défauts pour une PAC résidentielle à vitesse variable, dans le but de les détecter prématurément et ainsi faciliter la maintenance. Une série d'expérimentations a été menée afin de montrer les liens entre les défauts et leurs impacts sur les principales variables de fonctionnement et de performances. Les résultats obtenus sont présentés et discutés. Les étapes supplémentaires qui seront nécessaires pour le développement d'un outil embarqué de détection de défauts opérationnel pour de telles PAC sont ensuite discutées, ainsi que la possibilité de l'associer à une méthode de mesure de performances qui a été précédemment développée et validée.

Conception et dimensionnement des installations

- **Révision des méthodes de dimensionnement des installations de production d'ECS collective par pompe à chaleur**
(Cédric BEAUMONT - COSTIC)

Dans la continuité de ses travaux menés ces dernières années portant sur la connaissance des besoins ECS, le COSTIC a travaillé à l'élaboration / la révision des méthodes de dimensionnement des installations de production d'ECS collective et, parmi elles, les solutions de pompes à chaleur. La méthode suivie a consisté tout d'abord en une analyse détaillée de l'offre des solutions (caractéristiques techniques des produits, modes de régulation). Puis l'impact de différents critères de dimensionnement sur la satisfaction des besoins a été étudié par simulation thermique dynamique (TRNSYS), afin d'aboutir à la formulation de règles relativement simples et génériques.

- **Influence des paramètres géométriques et thermiques sur les performances de pieux géothermiques**
(Charles MARAGNA - BRGM)

Les pieux géothermiques peuvent être une solution attractive car ils permettent de mutualiser les coûts d'installation des éléments structurels et des échangeurs géothermiques. Cependant, la géométrie des pieux diffère significativement de celles des sondes géothermiques verticales pour lesquelles on dispose de nombreux modèles numériques : profondeur limitée (10 à 20 m), diamètre et inertie significative (jusqu'à 1 m, voire plus), nombre important de tubes (8 ou plus). L'intervention porte sur le développement et la validation expérimentale d'un modèle rapide de pieux basé sur une approche semi-analytique. Le modèle est validé sur un test de réponse thermique de 14 jours. La prise en compte de l'inertie thermique du béton permet de reproduire fidèlement les variations de température observées sur les premières dizaines d'heure. Le modèle est ensuite intégré dans un environnement de simulation thermique dynamique, ce qui permet d'estimer l'influence de différents paramètres (diamètre des pieux et nombre de tubes, volume de terrain sollicité, type de besoin, etc.) sur les performances de la PAC.

Systemes avances

- **Panorama et innovations des pompes à chaleur gaz, dans les secteurs du résidentiel, tertiaire et industrie**

(David DUPUIS - ENGIE)

Les différentes technologies actuelles de pompe à chaleur gaz (absorption, adsorption, moteur, compression thermique) permettent aujourd'hui de proposer des solutions performantes et fiables dans les secteurs résidentiel et tertiaire. Des développements sont en cours notamment pour des applications industrielles. Les évolutions à venir permettront de participer à la décarbonation du mix énergétique, d'augmenter encore la performance des produits et d'adresser un marché encore plus large.

- **Pompe à chaleur et photovoltaïque en autoconsommation : étude technico-économique**

(Michèle MONDOT - CETIAT)

La nécessité de réduire les consommations énergétiques des équipements de chauffage et les pics de consommation d'électricité (scénarios d'agrégation), ainsi que l'évolution de certains équipements de chauffage (adaptation de la régulation), conduisent à envisager l'autoconsommation de l'électricité photovoltaïque pour le fonctionnement d'une pompe à chaleur pour le chauffage d'une maison individuelle. L'étude a porté sur l'optimisation d'un système comprenant une pompe à chaleur pour le chauffage et des modules photovoltaïques associés à un stockage électrique ou thermique, et soumis à un scénario d'effacement électrique. Les résultats montrent l'intérêt de l'autoconsommation avec une réduction significative des consommations de chauffage, mais une optimisation limitée par le risque d'inconfort. Un bon compromis entre performance énergétique et autoconsommation a été obtenu pour une PAC de petite puissance avec un ballon de stockage et une régulation optimisée : des gains énergétiques jusqu'à 25% et une autoconsommation de 30% sont possibles.

- **Pompe à chaleur industrielle transcritique aux HFO en récupération de chaleur sur des buées**

(Assaad ZOUGHAIB - MINES ParisTech)

Les pompes à chaleur peuvent être utilisées dans les processus de séchage pour récupérer la chaleur contenue dans l'air humide extrait et alimenter le séchoir en air chaud. La conception de la pompe à chaleur est limitée techniquement par le niveau de température du procédé et son optimisation des performances dépend fortement de la différence entre les deux niveaux de température du besoin et les effluents disponibles. Lors de travaux précédents sur les intégrations de pompes à chaleur dans les procédés industriels, une pompe à chaleur transcritique à haute température utilisant le R-32 comme fluide de travail a été proposée et a démontré expérimentalement la production d'air chaud à 120 °C. Dans cette présentation, les HFO sont considérés comme candidats pour augmenter la température d'alimentation d'air et atteindre jusqu'à 150°C. Les options techniques d'architecture sont également étudiées afin d'améliorer le COP en fonction de la source de chaleur et des propriétés de l'air à chauffer. Le prototype développé pour le R-32 est adapté et utilisé pour valider les performances prévues. Sa performance, lors du chauffage de l'air de 90°C ou 100°C à 150°C, est présentée. Les effluents sont disponibles à 82°C avec des humidités absolues différentes. Le COP observé de la pompe à chaleur atteint jusqu'à 3,72.

- **Pompe à chaleur à absorption H₂O/LiBr pour traitement de l'air d'une piscine et préchauffage des bassins**

(François BOUDEHENN - CEA)

La piscine publique est un équipement largement plébiscité par la population mais son coût énergétique représente plus du tiers du coût global de fonctionnement : 60% de l'énergie sert à chauffer et déshumidifier l'air et 40% à chauffer les bassins et l'eau chaude sanitaire. Le parc de piscines publiques étant vieillissant, une nouvelle solution technique économe en énergie doit être envisagée pour remplacer les PAC à compression actuellement utilisées. Dans le cadre de l'appel à projet ADEME IPME-PEBI 2016, ETT et CEA Tech ont défini, développé et caractérisé un premier prototype de machine à absorption H₂O/LiBr à détente directe permettant la déshumidification et le préchauffage de l'air d'une piscine et également le préchauffage des bassins. A terme, cette machine frigorifique doit être pleinement intégrée dans une CTA couplée à une chaudière à condensation. La phase de mise en route suivie de celle de caractérisation et d'analyse des performances a permis de valider le modèle numérique et d'obtenir des résultats très encourageants : le coefficient de performance global atteint 200% et plusieurs pistes d'amélioration ont été identifiées.