


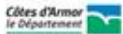
LES RENDEZ-VOUS DU POLE CRISTAL

04 Octobre 2018



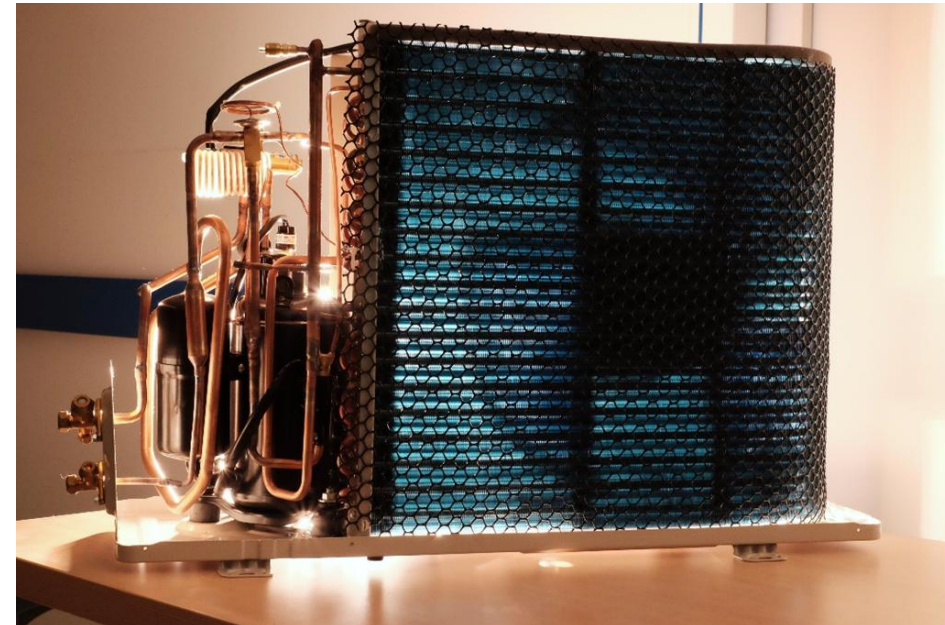
**Méthode d'évaluation in-situ des performances
des pompes à chaleur :**
**Validation expérimentale et évaluation de sa robustesse
en cas de défauts**

Derek Noël
Cédric Teuillères
Philippe Rivière
Odile Cauret
Dominique Marchio



Introduction et contexte

- 1. Méthode de mesure in-situ des performances des pompes à chaleur**
- 2. Description du banc d'essais et du programme d'essais**
- 3. Validation en régime stationnaire**
- 4. Intégration des phases dynamiques**
- 5. Validation en conditions de défauts**



Conclusion



- **Contexte**

- Les **pompes à chaleur** participent à la réduction des consommations et des émissions de GES du bâtiment résidentiel.
- Les performances réelles des pompes à chaleur sont mal évaluées
- Écart entre performances théoriques et réelles des pompes à chaleur qui dépendent :
 - Du climat et ses variations
 - Du bon dimensionnement
 - De la qualité de l'installation
 - Du paramétrage et de la régulation
 - D'éventuels défauts de fonctionnement...

→ **Diagnostic de performance des pompes à chaleur :**

- **Mesure de performance**
- Calcul de performances hors défauts
- Détection et diagnostic de défauts



- **Méthode de mesure des performances des pompes à chaleur**
 - Identification et amélioration d'une méthode de mesure in-situ des performances (Tran, 2013 & Niznik, 2017) :
 - Adaptée à tous types de PAC, en particulier air/air
 - Intégrable chez le client ou dans la machine neuve
 - Fiable
 - Simple
 - Sans effet sur le fonctionnement normal de la PAC
- **Objectif : Validation de cette méthode de mesure**
 - Pour une large gamme de conditions de fonctionnement
 - En régime stationnaire
 - En intégrant des phases dynamiques
 - Dans certaines conditions de défauts



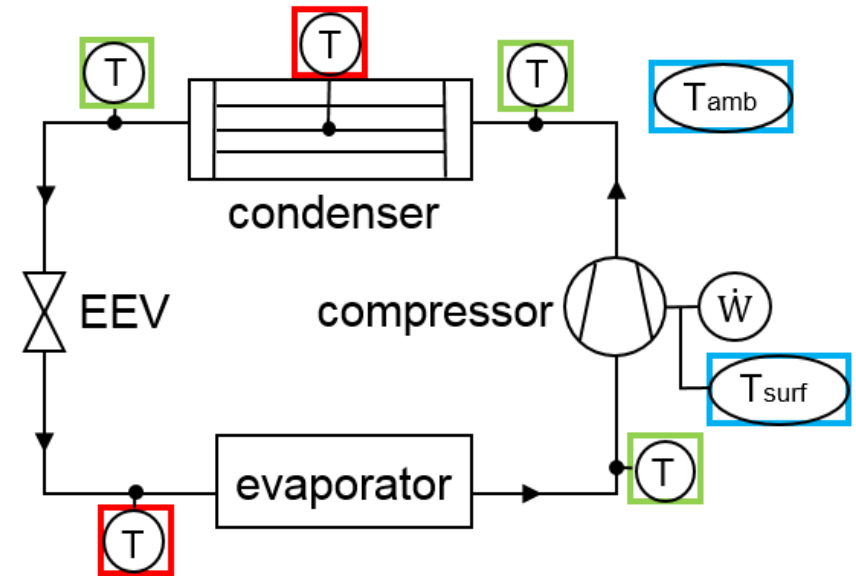
→ Méthode sur le fluide frigorigène reposant sur un bilan d'énergie au compresseur

$$COP_{HP} = \frac{\dot{Q}_{cond}}{\dot{W}_{HP}}$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}\Delta h_{cond,in\rightarrow out}$$

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}(h_{comp,in} - h_{comp,out}) + \dot{Q}_{amb}$$

$$\dot{Q}_{amb} = A_{conv}(T_{surf} - T_{amb}) + \sigma S_{tot}(T_{surf}^4 - T_{amb}^4)$$

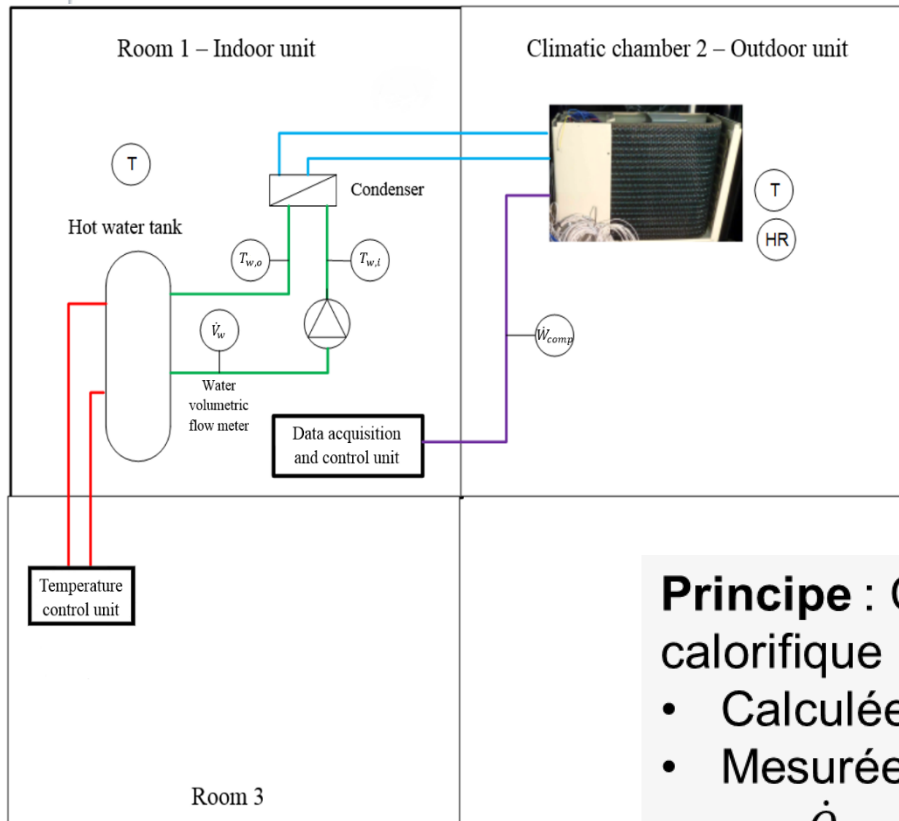


Instrumentation nécessaire à la méthode
(Tran, 2013 & Niznik, 2017)

Mesure indirecte de pression

Mesures d'enthalpies

Estimation des pertes thermiques Q_{amb}
du compresseur



Validation sur une PAC air/eau

- Compresseur rotary
- Condenseur à plaques
- Changement des conditions de fonctionnement automatisé
- Contrôle du climat extérieur, température de condensation et fréquence du compresseur

Principe : Comparaison des valeurs de puissance calorifique

- Calculée par la méthode
- Mesurée sur le circuit d'eau:

$$\dot{Q}_{cond,w} = \rho_w \cdot \dot{V}_w \cdot c_{p,w} \cdot (T_{w,out} - T_{w,in})$$

Banc d'essais dans les cellules climatiques d'EDF R&D



- Validation dans une large gamme de conditions de fonctionnement

	Min	Max	Pas
T_{out}	- 10 °C	15 °C	5 °C
T_{cond}	30 °C	60 °C	10 °C
Freq	30 Hz	90 Hz	30 Hz

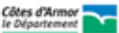
72 conditions de fonctionnement

- Validation en conditions de défaut sur le cycle

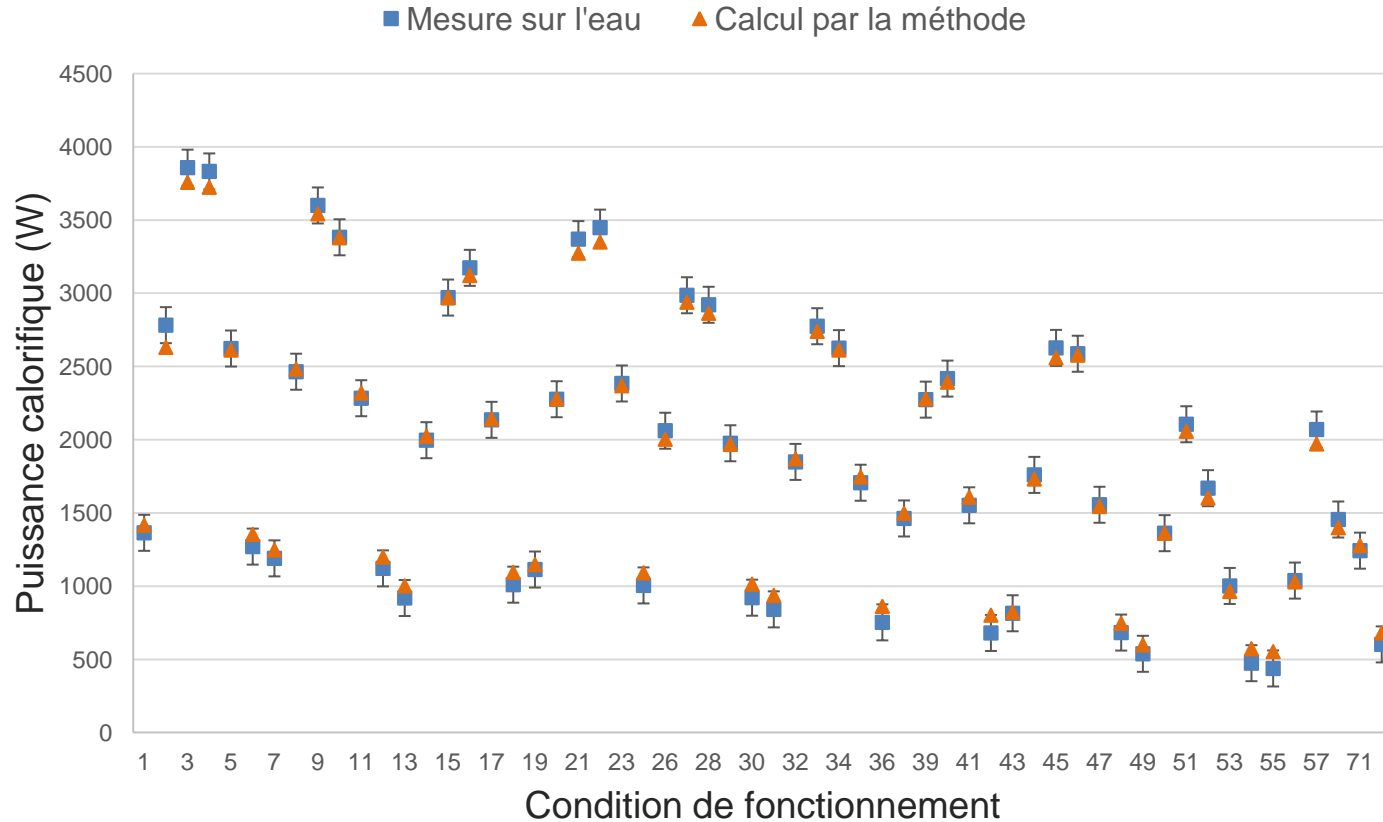
Type de défaut	Intensité de défaut (% des valeurs nominales)	Condition de fonctionnement	T_{ext}	T_{cond}	Freq
Débit d'air évaporateur	90	1	10 °C	40 °C	60 Hz
	70	2	10 °C	40 °C	45 Hz
	50	3	10 °C	40 °C	30 Hz
Charge en fluide	120	4	-5 °C	50 °C	90 Hz
	70	5	-5 °C	50 °C	75 Hz
	50	6	-5 °C	50 °C	60 Hz



Charge en fluide



Puissance calorifique moyenne pour chaque condition de fonctionnement

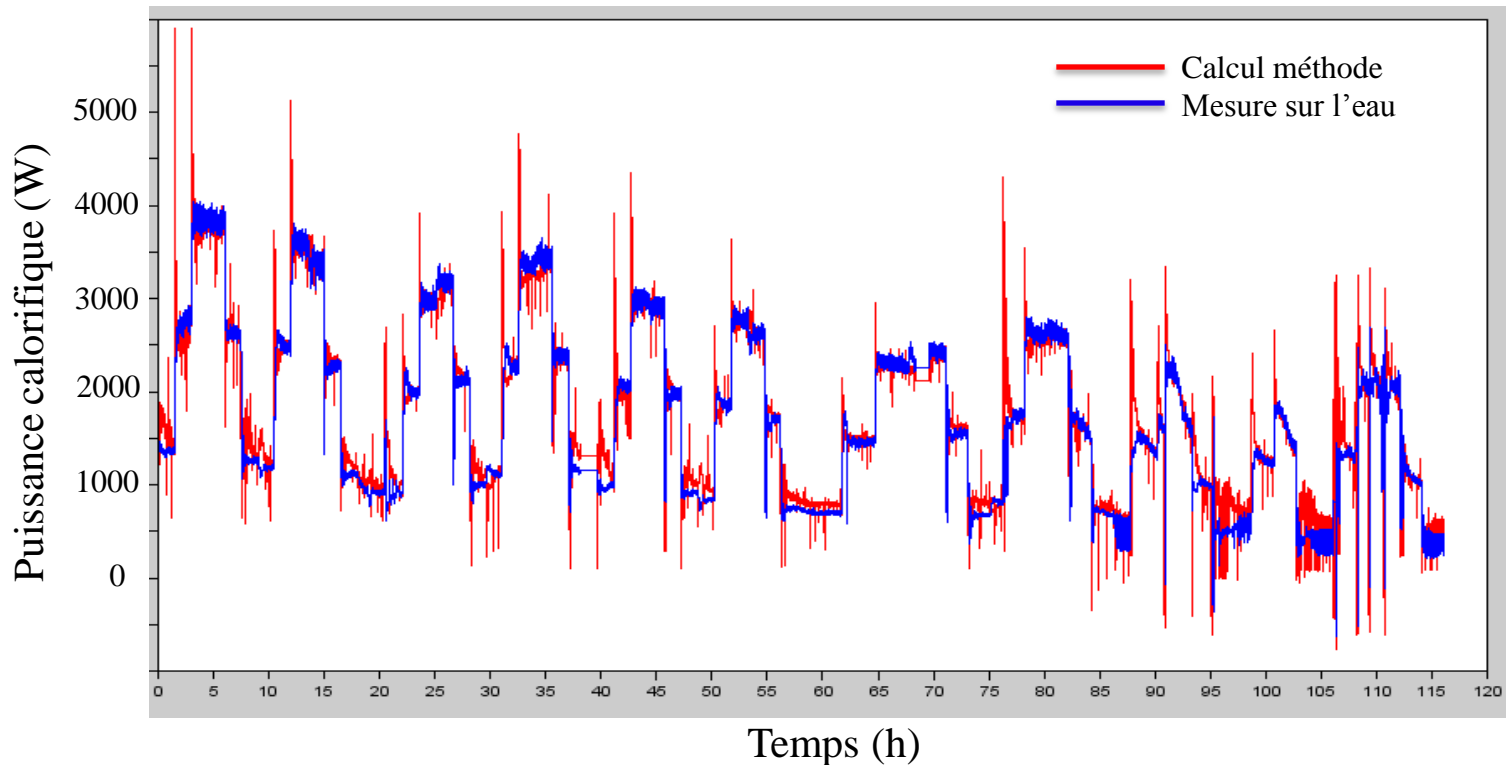


L'écart relatif est en moyenne de 4,5%

Validation en régime stationnaire : principaux résultats et constats

- Dans 86% des cas, l'écart est inférieur à 10%
- Dans 74% des cas, l'écart est inférieur à 5%
- Dans 98 % des cas, l'écart est inférieur à l'incertitude de mesure sur l'eau
- La méthode a tendance à surestimer la puissance calorifique à faible puissance et à la sous-estimer pour les hautes puissances.

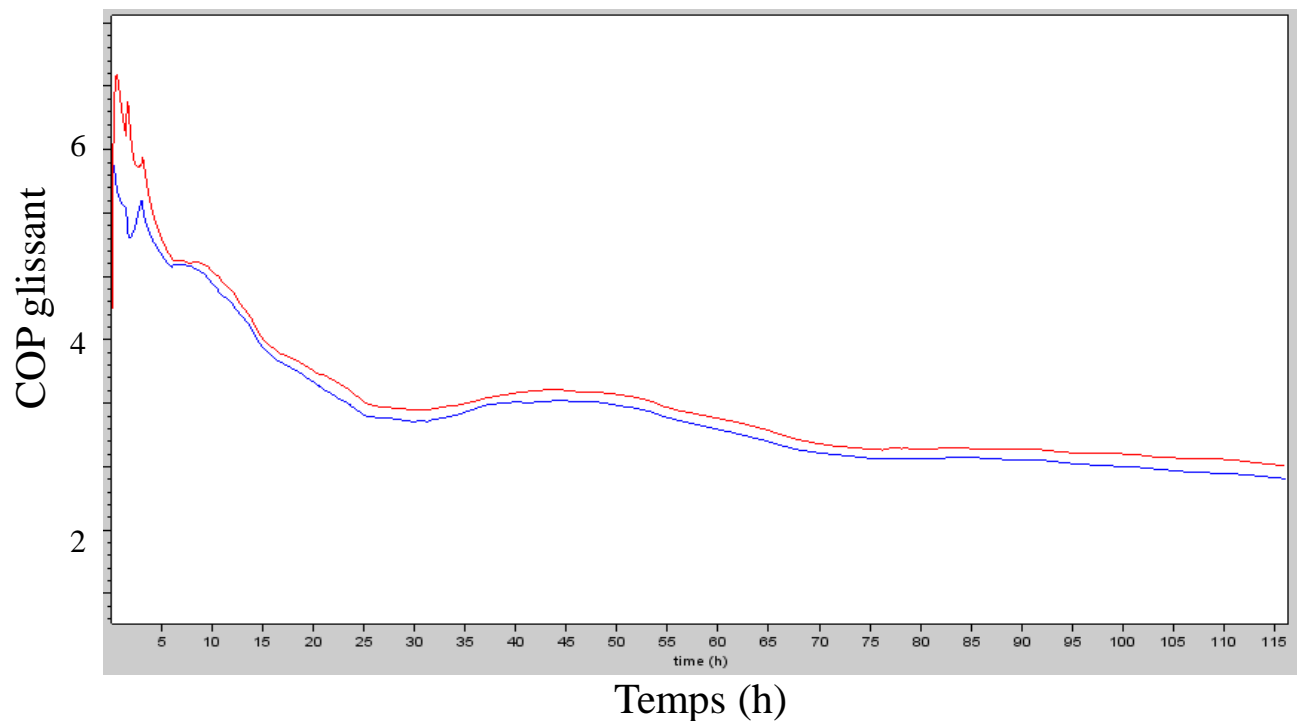
Validation avec intégration des phases dynamiques



La méthode n'est rigoureusement valable qu'en régime stationnaire,
il peut y avoir d'importants écarts instantanés

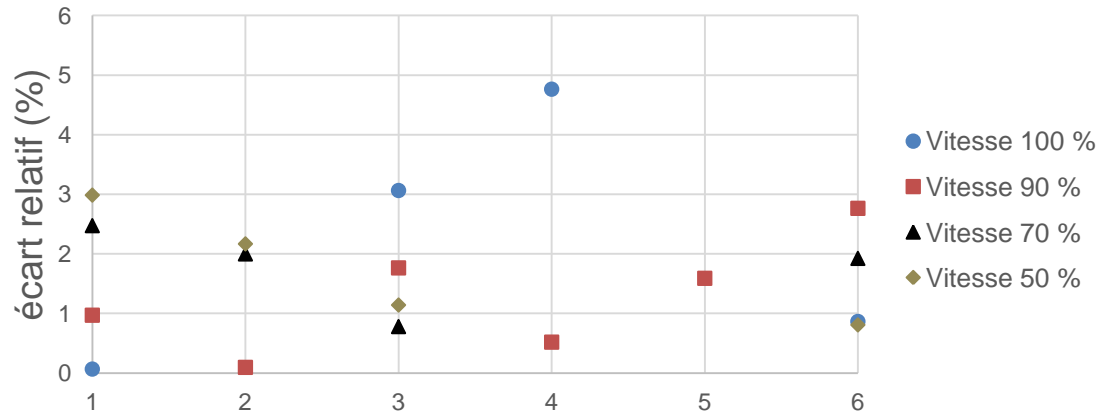
Validation avec intégration des phases dynamiques

- Convergence des deux méthodes de mesure
- Écart sur le COP intégré : **3,6 %**
- Effets de compensation
- L'impact des phases dynamiques est très limité sur le long terme

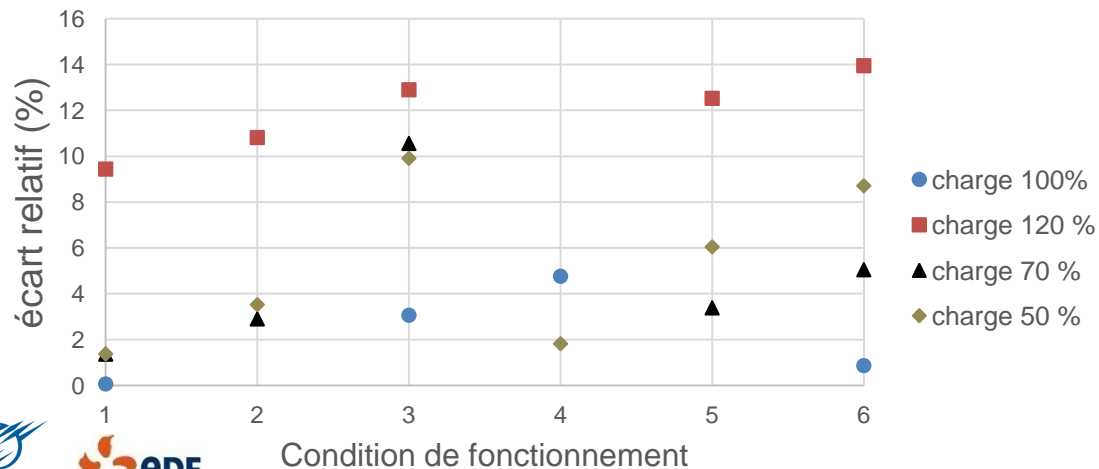


Validation en conditions de défauts

- Encrassement d'évaporateur simulé par réduction du débit d'air de 100% à 50%



- Charge en fluide frigorigène de 120 à 50%



Condition de fonctionnement	T _{ext}	T _{cond}	Freq
1	10 °C	40 °C	60 Hz
2	10 °C	40 °C	45 Hz
3	10 °C	40 °C	30 Hz
4	-5 °C	50 °C	90 Hz
5	-5 °C	50 °C	75 Hz
6	-5 °C	50 °C	60 Hz

- La méthode donne une bonne estimation des performances de la pompe à chaleur en régime stationnaire.
- Les phases dynamiques n'ont pas d'impact significatif sur le calcul du coefficient de performance moyen sur quelques heures.
- La réduction de débit d'air à l'évaporateur n'a pas d'impact sur l'estimation de la performance par la méthode.
- Une surcharge de fluide frigorigène accentue l'écart entre la méthode et la mesure sur l'eau.
- La méthode proposée est prometteuse pour l'estimation embarquée des performances des pompes à chaleur.

- **Implémentation sur sites de la méthode**
 - Adapter la métrologie et l'acquisition aux contraintes du terrain
 - Obtenir de premières données de suivi des performances
- **Impacts des défauts**
 - Étude expérimentale pour connaître et comprendre l'impact des défauts sur les variables de fonctionnement des pompes à chaleur avec inverter
- **Calcul des performances hors-défaut**
 - Modélisation physique ou statistique pour connaître les valeurs des performances et des variables de fonctionnement hors-défaut
- **Détection de défauts**
 - Comparer les mesures et les modèles
 - Détecter la présence d'un défaut
 - Identifier ce défaut
 - Permettre une maintenance rapide voire préventive



© A. Daste

Merci de votre attention

