

EN-CAPE 12.149 C – V1

**Caractérisation du système de récupération
d'énergie des eaux usées de SOLENOVE**

Rapport complémentaire

Xavier FAURE et Marie-Cécile TROUILHÉ

Département Climatologie – Aérodynamique – Pollution – Epuration

Caractérisation du système de récupération d'énergie des eaux usées de SOLENOVE

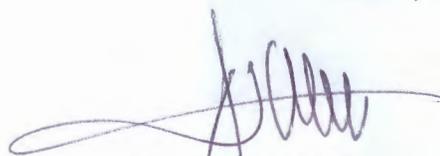
Rapport complémentaire

Xavier FAURE et Marie-Cécile TROUILHÉ

Département Climatologie – Aérodynamique
Pollution – Epurat

*Cette étude a été réalisée
à la demande de SOLENOVE Energie Canada Inc
suivant le retour du devis signé
en date du 04/05/2011
Offre n° 3599*

Nantes, le 10 août 2012



Xavier FAURE
Ingénieur
Climatologie-Aérodynamique-
Pollution-Epurat



Philippe HUMEAU
Pilote de Département
Climatologie-Aérodynamique-
Pollution-Epurat
Responsable domaine thématique
Eau - Assainissement

Mots clés : Etude expérimentale, thermique, transfert chaleur

Nbre de pages : 29

Version n° : 1



TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	1
2. ANALYSE ENERGETIQUE	1
2.1 TEMPERATURE EN SORTIE DE MITIGEUR DE 40°C.....	2
2.1.1 CONNECTION AU BALLON.....	2
2.1.2 CONFIGURATION CONNECTEE AU MITIGEUR.....	4
2.1.3 CONFIGURATION CONNECTEE AU BALLON ET AU MITIGEUR.....	7
3. SYNTHESSES DES RESULTATS	9
4. ANALYSE BIOLOGIQUE	11
4.1 NOTIONS D'ECOLOGIE DES LEGIONELLES ET CONTEXTE DE L'ETUDE.....	11
4.2 LEGIONELLES CULTIVABLES DANS L'EAU DES DOUCHES « TEMOIN » ET « TEST »	12
4.3 ETUDE BACTERIOLOGIQUE DU BIOFILM DES DOUCHES « TEMOIN » ET « TEST »	13
4.3.1 LEGIONELLES CULTIVABLES DANS LE BIOFILM DES DOUCHES « TEMOIN » ET « TEST »	13
5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	14
6. ANNEXE	15
6.1 TEMPERATURE EN SORTIE DE MITIGEUR DE 37°C (CONNECTEE AU BALLON UNIQUEMENT) .	15
6.1.1 CONNECTION AU BALLON.....	15
6.2 TEMPERATURE EN SORTIE DE MITIGEUR DE 43°C.....	18
6.2.1 CONNECTION AU BALLON.....	18
6.2.2 CONFIGURATION CONNECTEE AU MITIGEUR	21
6.3 TEMPERATURE EN SORTIE DE MITIGEUR DE 45°C.....	23
6.3.1 CONNECTION AU BALLON.....	23
6.3.2 CONFIGURATION CONNECTEE AU MITIGEUR	26
6.4 SYNTHESSES DES RESULTATS.....	28

1. INTRODUCTION

Ce document présente les résultats des analyses énergétiques et biologiques de l'ensemble des configurations testées dans le cadre de l'offre 3599.

La description des bancs d'essais, de l'instrumentation ainsi que des expressions analytiques de traitement des données, dans le cadre de l'analyse énergétique, sont présentés dans le rapport EN CAPE 11.218 C - V1. Les résultats sont ici complétés des phases de calibration des thermocouples et débitmètres.

Dans une première partie une introduction des résultats et une présentation des configurations est reprise. Dans une deuxième partie, les analyses biologiques sont présentées.

2. ANALYSE ENERGETIQUE

Le rapport EN CAPE 11.218 CV1 présente l'ensemble du protocole de traitement utilisé pour les configurations testées. Le Tableau 1 présente les configurations testées sur l'ensemble de la campagne. Pour chaque type de connection (ballon, mitigeur ou les deux) et pour différentes températures de douche (température en sortie du mitigeur), les températures froides testées y sont indiquées.

Tableau 1 : Configurations testées

Température de sortie de mitigeur	Configuration de connection		
	Ballon	Mitigeur	Ballon+Mitigeur
37°C	9-13-17-21-25	/	/
40°C	5-9-13-17-21-25	5-9-13-17-21-25	9-13-17
43°C	9-13-17-21-25	9-13-17-21-25	/
45°C	9-13-17-21-25	9-13-17-21-25	/

L'ensemble des résultats est présenté sous forme de synthèse pour chaque configuration. Les figures et analyses pour chaque série de douches, tel que présenté dans le rapport EN CAPE 11.218 C - V1, ne sont pas présentées dans ce document mais ont été fournis à SOLENOVE.

Les coefficients de montage, présentant le rapport de l'efficacité globale moyenne des essais dans une configuration connectée au deux éléments et de l'efficacité globale des configurations connectée soit au ballon, soit au mitigeur, ne sont pas présentés. En effet, seule la configuration avec une température de douche de 40°C a été testée dans la configuration connectée aux deux éléments et des efficacités globales stables de 0.6 sont obtenues (cf. Figure 13). Les coefficients de montage, pour une température de douche de 40°C, sont donc équivalents aux efficacités globales augmentées de 67 % ($1/0.6 = 1.67$). Ces valeurs sont calculés dans le tableau de synthèse (cf. Tableau 2).

Dans la suite, seule la configuration avec une température en sortie de mitigeur de 40°C est présentée. Les autres configurations sont présentées en annexe.

2.1 Température en sortie de mitigeur de 40°C

2.1.1 Connection au ballon

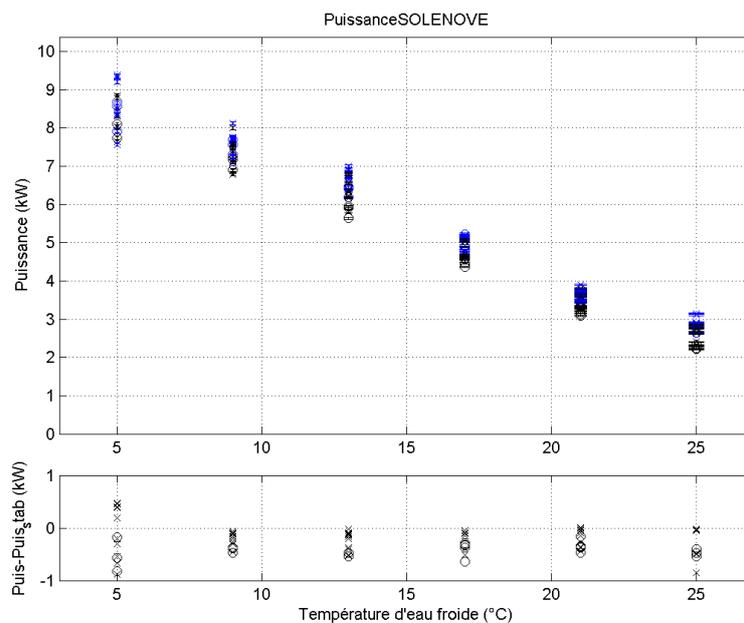


Figure 1 : Puissance (kW) moyenne sur la durée des douches (en noir) et stabilisées (en bleu) de l'échangeur Solenove et écart entre les deux puissances (en bas) Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

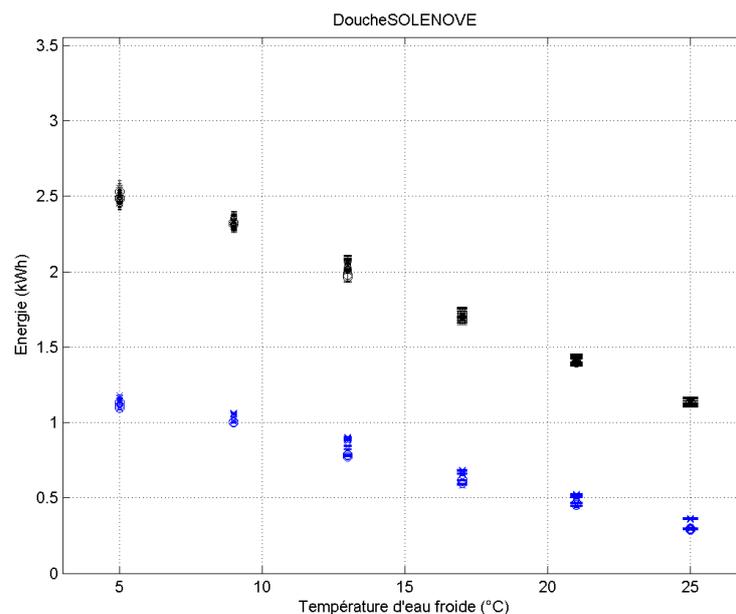


Figure 2 : Energies (kWh) moyennes consommées (en noir) et récupérées (en bleu). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

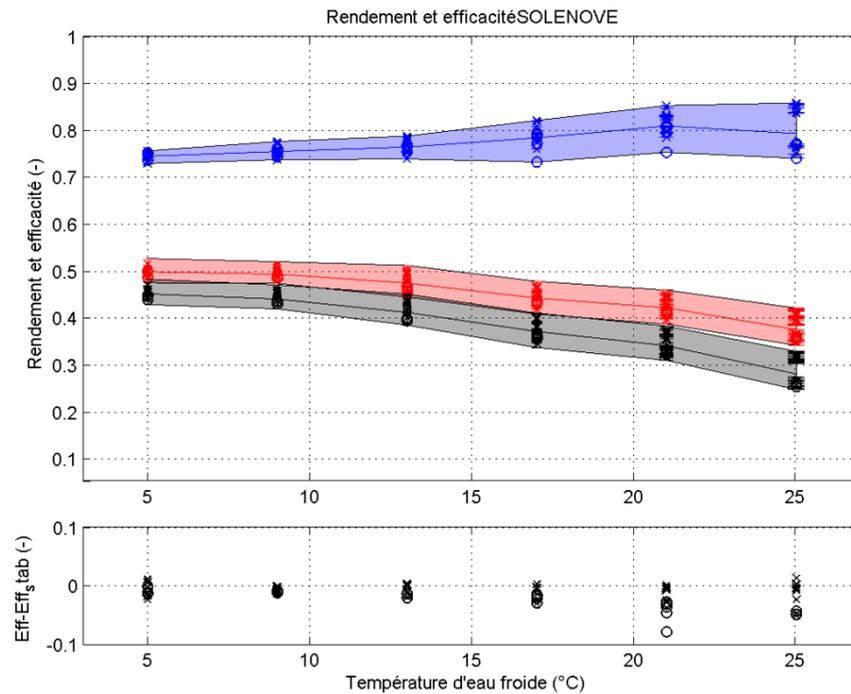


Figure 3 : Rendements (en noir), efficacités moyennes (en bleu) et globales (en rouge). Les écarts entre les efficacités globales et globales stabilisées sont présentés dans le graphique du bas. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

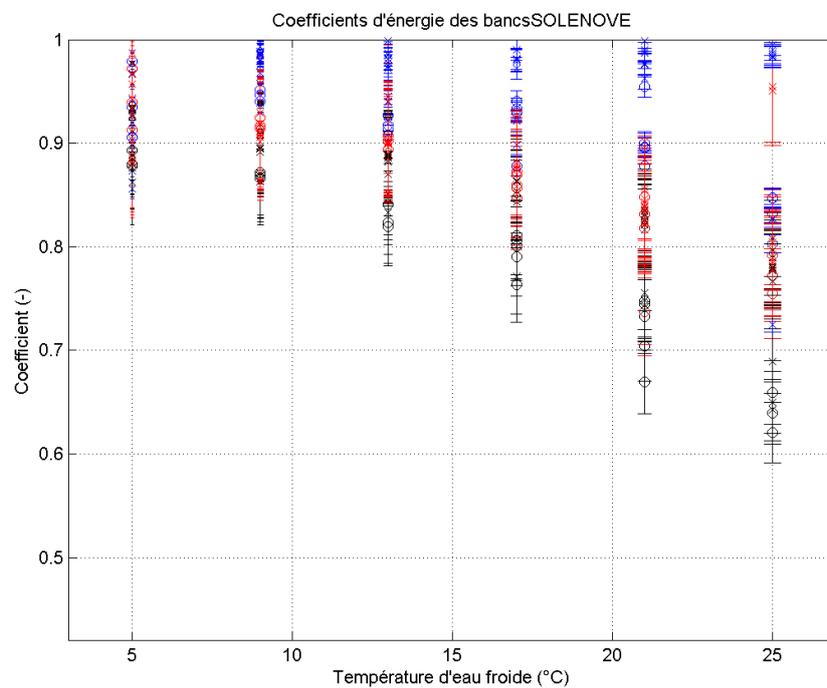


Figure 4 : Coefficient de gain total (en noir), transitoire (en bleu) et thermique (en rouge). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

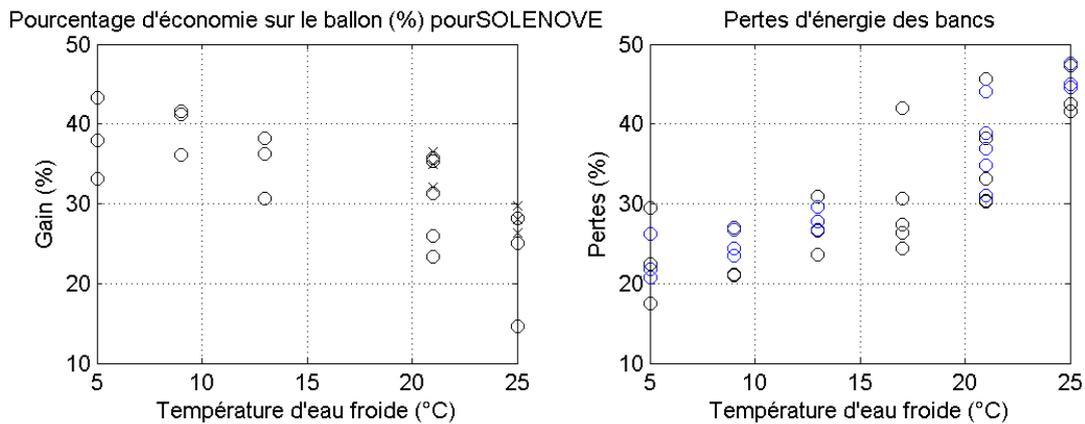


Figure 5 : Gains énergétiques par événement et pertes thermiques (en %) sur le banc témoin (en bleu) et sur le banc Solenove (en noir) en fonction de la température d'eau froide. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

2.1.2 Configuration connectée au mitigeur

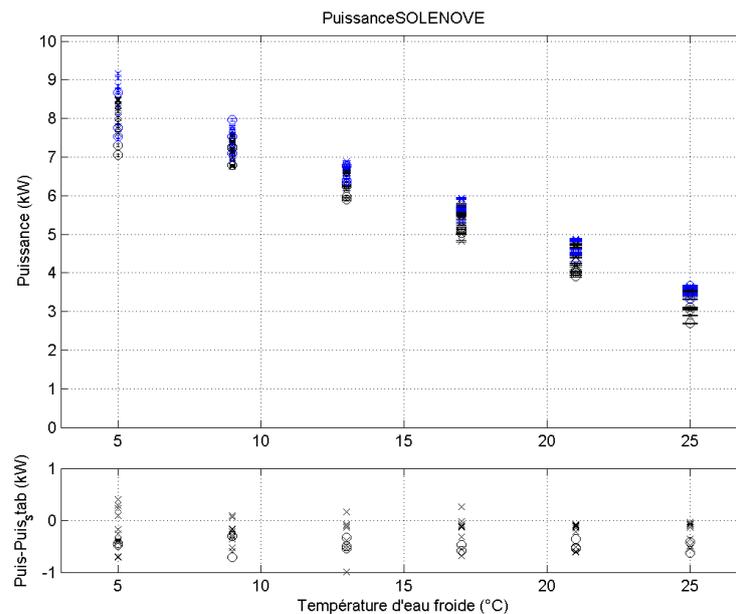


Figure 6 : Puissance (kW) moyenne sur la durée des douches (en noir) et stabilisées (en bleu) de l'échangeur Solenove et écart entre les deux puissances (en bas) Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

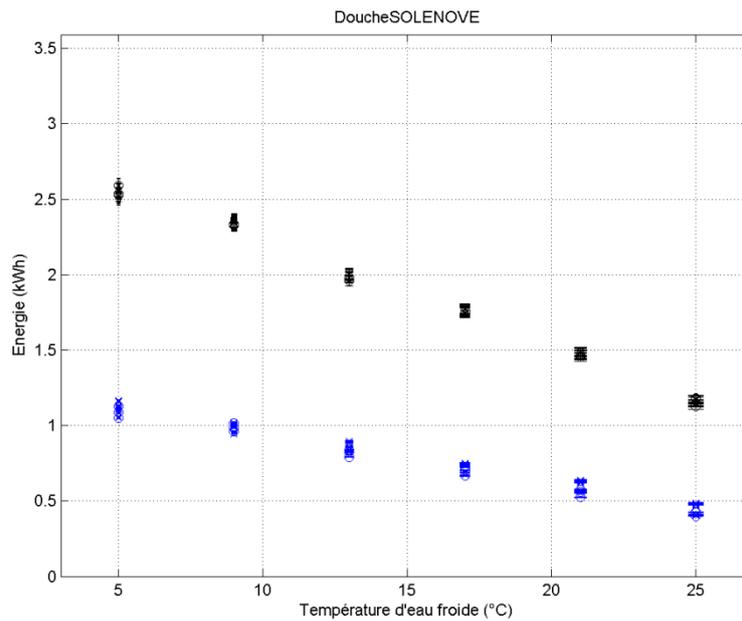


Figure 7 : Energies (kWh) moyennes consommées (en noir) et récupérées (en bleu). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

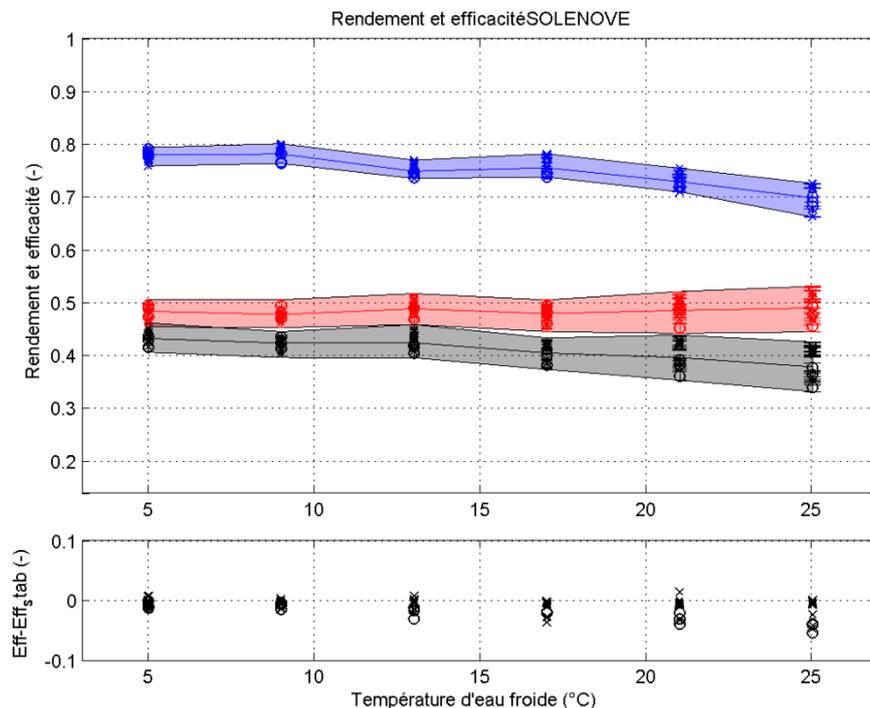


Figure 8 : Rendements (en noir), efficacités moyennes (en bleu) et globales (en rouge). Les écarts entre les efficacités globales et globales stabilisées sont présentés dans le graphique du bas. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

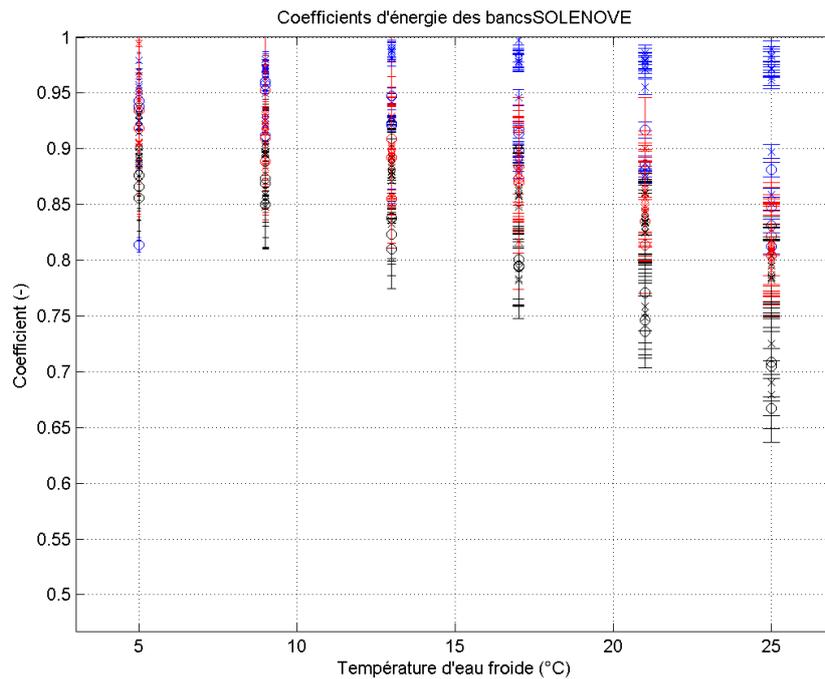


Figure 9 : Coefficient de gain total (en noir), transitoires (en bleu) et thermique (en rouge). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

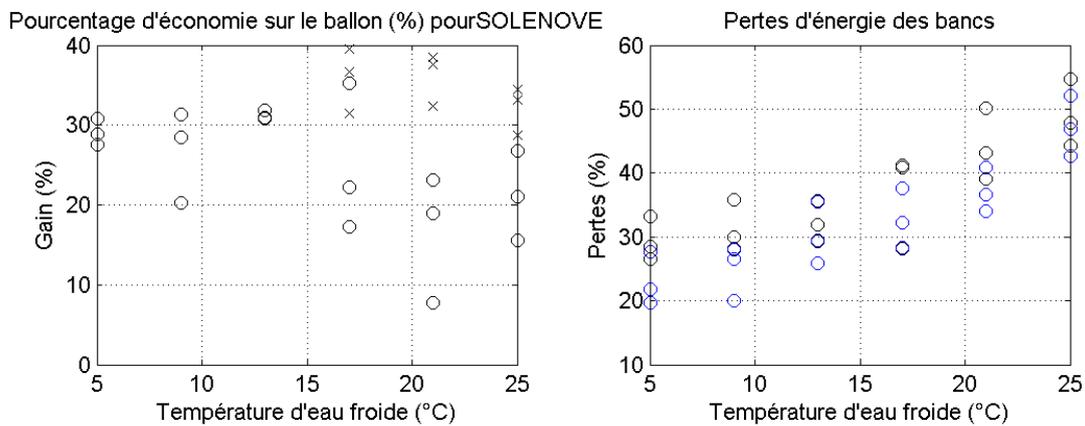


Figure 10 : Gains énergétiques par événement et pertes thermiques (en %) sur le banc témoin (en bleu) et sur le banc Solenove (en noir) en fonction de la température d'eau froide. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

2.1.3 Configuration connectée au ballon et au mitigeur

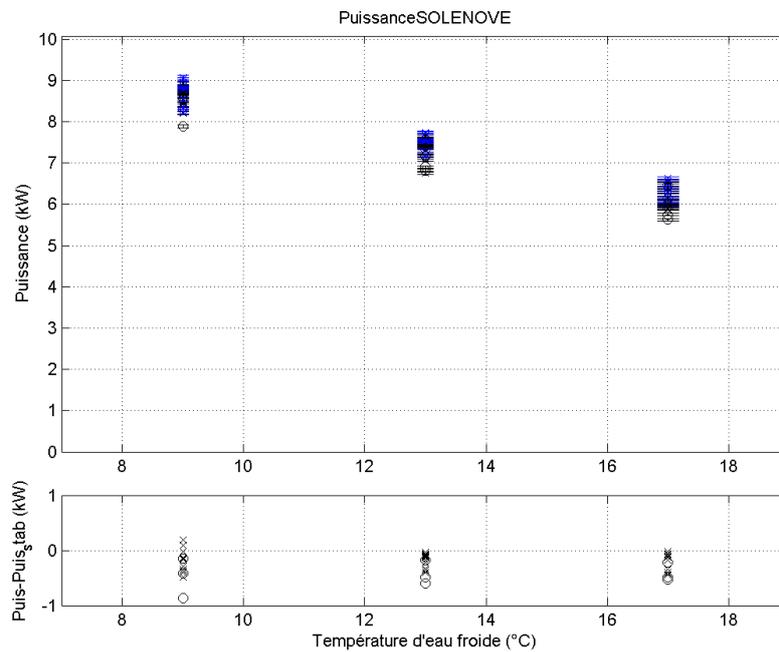


Figure 11 : Puissance (kW) moyenne sur la durée des douches (en noir) et stabilisées (en bleu) de l'échangeur Solenove et écart entre les deux puissances (en bas) Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

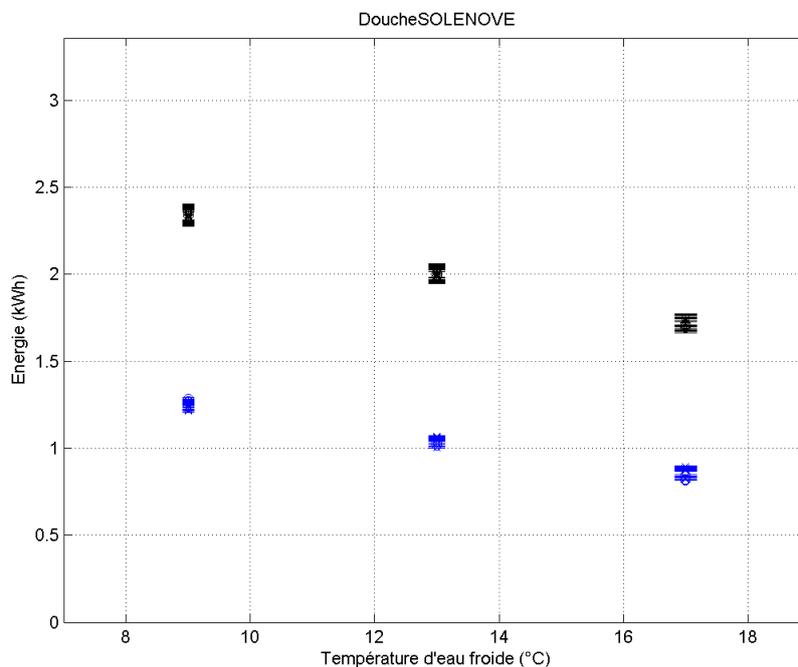


Figure 12 : Energies (kWh) moyennes consommées (en noir) et récupérées (en bleu). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

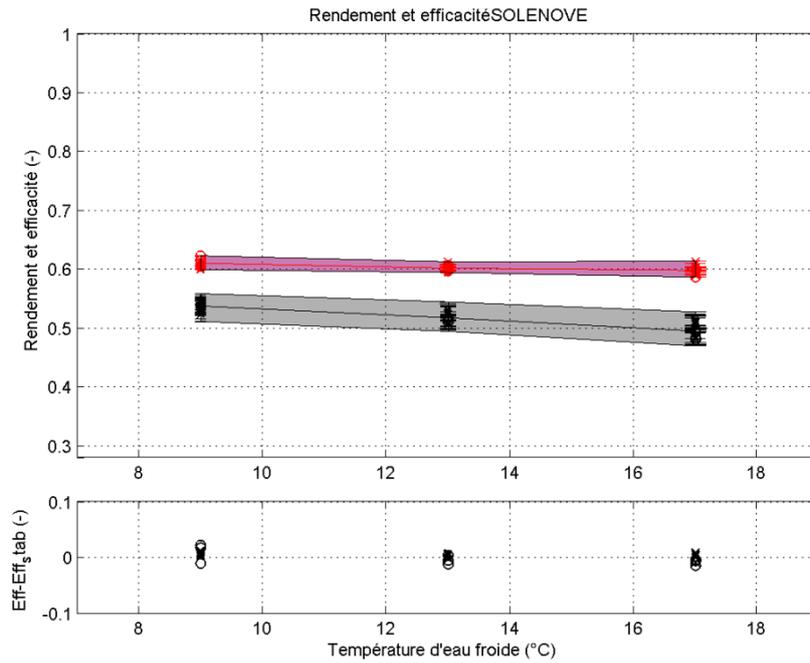


Figure 13 : Rendements (en noir), efficacités moyennes (en bleu) et globales (en rouge). Les écarts entre les efficacités globales et globales stabilisées sont présentés dans le graphique du bas. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

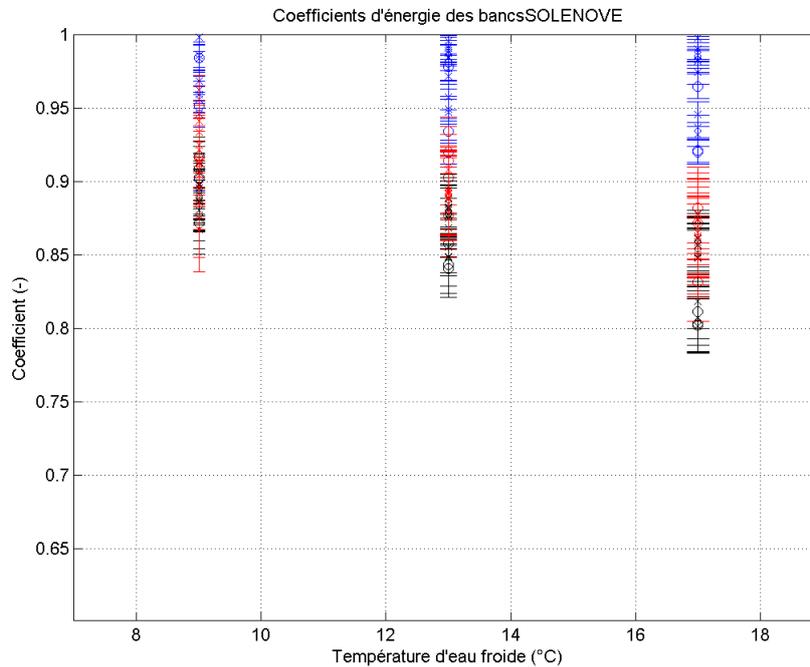


Figure 14 : Coefficient de gain totaux (en noir), transitoires (en bleu) et thermique (en rouge). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

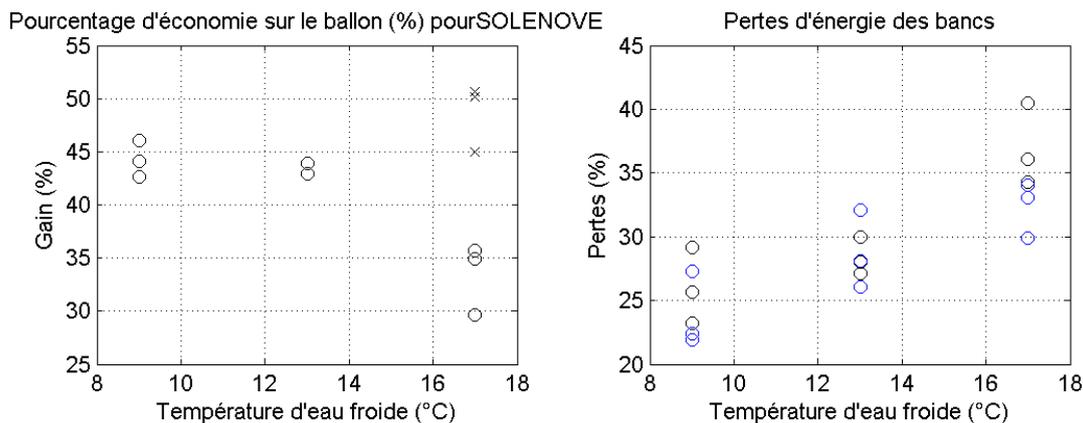


Figure 15 : Gains énergétiques par événement et pertes thermiques (en %) sur le banc témoin (en bleu) et sur le banc Solenove (en noir) en fonction de la température d'eau froide. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

3. SYNTHÈSES DES RESULTATS

Une synthèse des résultats pour toutes les configurations est présentée dans les Tableau 2 et Tableau 3.

Les valeurs moyennes sont présentées ainsi que les extrêmes des séries de douches concernées (valeurs entre crochet). Dans le Tableau 2, les coefficients de montage sont exprimés à partir des efficacités globales moyennes. Dans le Tableau 3, des coefficients de pertes transitoires légèrement supérieurs à 1 sont obtenus dans les cas extrêmes. Ces derniers correspondent à des incertitudes de mesure et n'ont pas de sens physique. Le Tableau 3 limite donc à 1 ces valeurs.

Tableau 2 : Synthèse des efficacités globale et coefficient de montage pour une température en sortie de mitigeur de 40°C et trois configuration de raccordement

Temp. froide (°C)	Efficacité globale			Coefficient de montage moyen	
	Ballon + Mitigeur	Mitigeur	Ballon	Mitigeur	Ballon
5	/	0.48 [0.45-0.51]	0.5 [0.48-0.53]	/	/
9	0.61 [0.6-0.62]	0.48 [0.45-0.51]	0.49 [0.47-0.52]	0.79	0.80
13	0.6 [0.59-0.61]	0.49 [0.46-0.52]	0.47 [0.44-0.51]	0.82	0.78
17	0.6 [0.59-0.61]	0.48 [0.44-0.5]	0.44 [0.41-0.48]	0.8	0.73
21	/	0.48 [0.44-0.52]	0.42 [0.39-0.46]	/	/
25	/	0.49 [0.44-0.53]	0.38 [0.34-0.42]	/	/

Tableau 3 : Synthèse des coefficients de pertes transitoires pour une température en sortie de mitigeur de 40°C et trois configuration de raccordement

Temp. froide (°C)	Coefficient de pertes transitoires		
	Ballon + Mitigeur	Mitigeur	Ballon
5	/	0.94 [0.81-1]	0.97 [0.85-1]
9	0.96 [0.89-1]	0.96 [0.9-1]	0.96 [0.93-1]
13	0.96 [0.91-1]	0.95 [0.85-1]	0.94 [0.9-1]
17	0.96 [0.91-1]	0.94 [0.87-1]	0.94 [0.87-1]
21	/	0.92 [0.87-0.99]	0.93 [0.87-1]
25	/	0.9 [0.81-1]	0.88 [0.72-1]

4. ANALYSE BIOLOGIQUE

4.1 Notions d'écologie des légionelles et contexte de l'étude

Les légionelles sont des bactéries hydrotelluriques qui se rencontrent dans les réservoirs aquatiques naturels (lacs, rivières, étangs), les sols humides, les composts, les boues d'épuration et les installations liées aux activités anthropiques (réseaux d'eau chaude, tours aéroréfrigérantes, fontaines décoratives, bains bouillonnants). Les bactéries appartenant au genre *Legionella* sont responsables de deux types d'affections : l'une bénigne, pseudo-grippale, appelée Fièvre de Pontiac et l'autre une infection respiratoire aiguë, ou légionellose. Les premiers cas de légionellose ont été décrits en juillet 1976 à Philadelphie (Etats-Unis) où étaient rassemblés 4400 vétérans de l'American Legion. Parmi ces personnes, 221 cas de pneumonie inexplicée, dont 34 mortels, ont été diagnostiqués. L'agent pathogène (*Legionella pneumophila*) responsable de cette épidémie a été isolé quelques mois plus tard (Fraser et al., 1977). Depuis, il a été montré que la légionellose pouvait s'avérer mortelle dans 15 à 30 % des cas (Martson et al., 1997 ; Benhamou et al., 2005). Le mode de transmission à l'homme se fait par inhalation d'aérosols d'eau contaminés. Les bactéries se développent alors à l'intérieur des macrophages alvéolaires. A l'heure actuelle, une soixantaine d'espèces appartenant au genre *Legionella* ont été décrites. Cependant, l'espèce impliquée dans 90 % des cas de légionellose est *L. pneumophila* et plus particulièrement le sérogroupe 1 (Fields et al., 2002). Les réseaux d'eau chaude (REC) sont souvent contaminés en légionelles et sont parmi les sources les plus souvent référencées dans le cas d'épidémies de légionellose (Berthelot et al., 1998 ; Fields et al., 2002). En effet, les REC fournissent des conditions de croissance optimales pour les légionelles comme des températures de l'ordre de 25°C-45°C et des dépôts de minéraux utilisables comme source de nutriments par les bactéries (Stout et al., 1986). De nos jours, le contrôle et la gestion du risque légionelles dans les REC est un enjeu sanitaire mondial. En France, la légionellose est une maladie à déclaration obligatoire depuis 1987. Des informations récentes montrent qu'en 2011, 1170 cas de légionellose ont été déclarés en France dont 114 mortels (www.invs.sante.fr/surveillance/legionellose).

Dans un réseau d'eau chaude, les éventuelles contaminations en légionelles proviennent de l'eau d'appoint. Une fois dans l'installation sanitaire, les légionelles peuvent se rencontrer libres dans l'eau ou plus majoritairement dans les biofilms qui se forment à la surface des tuyaux et des canalisations en contact avec l'eau (Schofield et Locci, 1985 ; Murga et al., 2001 ; Borella et al., 2005). En effet, les biofilms fournissent un environnement propice au développement des légionelles

(Declerck, 2010). C'est pourquoi, dans le cadre de l'étude menée par le CSTB pour la société SOLENOVE, des analyses ont été réalisées sur le biofilm présent au niveau de l'alimentation en eau froide préchauffée des mitigeurs des douches.

4.2 Légionelles cultivables dans l'eau des douches « témoin » et « test »

Selon l'offre émise par le CSTB et validée par la société SOLENOVE, cinq prélèvements ont été réalisés afin de déterminer la présence éventuelle de légionelles dans l'eau de la douche « témoin » et de la douche « test » équipée du système Power-Pipe™. Les concentrations en légionelles cultivables ont été déterminées à l'aide de la méthode normalisée en vigueur en France (AFNOR NF T90-431). Les analyses de trois de ces prélèvements ont été confiées à un laboratoire accrédité COFRAC pour cette méthode (IDAC – Nantes). Cette méthode permet de quantifier (i) l'ensemble des espèces de légionelles cultivables (*Legionella* spp.) et (ii) plus spécifiquement les colonies appartenant à l'espèce *Legionella pneumophila* responsable de 90 % des cas de légionellose. Les résultats sont exprimés en unité formant colonies par litre (UFC/L).

L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2. Pour chaque prélèvement, les concentrations observées en *Legionella* spp. et *Legionella pneumophila* dans les douches « témoin » et « test » sont en dessous de la limite de quantification (250 UFC/L).

En conclusion, l'utilisation d'eau froide préchauffée dans les douches n'a pas favorisé le développement de légionelles sur la période d'essais.

Tableau 4 : Concentrations en *Legionella* spp. et en *L. pneumophila* cultivables dans les eaux des douches « témoin » et « test » (AFNOR NF T90-431).

Date	Laboratoire d'essais	Douche	Résultats	
			<i>Legionella</i> spp.	<i>L. pneumophila</i>
12/10/2011	IDAC	Témoin	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L
		Test	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L
04/01/2012	CSTB	Témoin	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L
		Test	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L
17/01/2012	CSTB	Témoin	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L
		Test	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L
07/03/2011	IDAC	Témoin	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L
		Test	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L
22/03/2012	IDAC	Témoin	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L
		Test	< 250 UFC/L	< 250 UFC/L

4.3 Etude bactériologique du biofilm des douches « témoin » et « test »

A l'issue des essais, trois tronçons de 8 cm chacun ont été prélevés sur l'alimentation en eau froide préchauffée des mitigeurs des douches « témoin » et « test ». Ces prélèvements ont été réalisés dans le but de quantifier dans le biofilm les légionelles cultivables. Chaque morceau de tuyau a été placé dans 170 mL d'eau stérile. Le biofilm a été décroché par passage dans un bain à ultra-sons selon le protocole établi par Farhat et al. (2010). La surface interne des sections de tuyaux est de 12,32 cm² et les résultats sont exprimés en UFC/cm².

4.3.1 Légionelles cultivables dans le biofilm des douches « témoin » et « test »

La quantification des légionelles cultivables (*Legionella* spp. et *L. pneumophila*) dans le biofilm a été réalisée selon le protocole mise au point par Farhat et al. (2010) et basé sur la norme AFNOR NF T90-431. Pour chaque section de tuyaux, les mesures ont été réalisées en triplicata.

Les résultats sur chacune des douches « témoin » et « test » sont en dessous de la limite de quantification fixée à 69 UFC/cm².

En conclusion, il n'a pas été observé, au cours de la période d'essais, de développement des légionelles dans le biofilm adhérent à la surface du tuyau alimentant le mitigeur en eau froide préchauffée malgré des températures d'eau froide préchauffée qui ont atteint par intermittence des températures supérieures à 30°C.

Il existe une réglementation pour limiter le risque lié au développement des légionelles dans les systèmes de distribution d'eau chaude sanitaire fixée dans l'arrêté du 30 novembre 2005. Les exigences de protection des des points de puisage à risque sont ainsi précisées : « Lorsque le volume entre le point de mise en distribution et le point de puisage le plus éloigné est supérieur à 3 litres, la température de l'eau doit être supérieure ou égale à 50 °C en tout point du système de distribution, à l'exception des tubes finaux d'alimentation des points de puisage. Le volume de ces tubes finaux d'alimentation est le plus faible possible, et dans tous les cas inférieur ou égal à 3 litres. ». En revanche, la réglementation impose une température maximale de distribution d'eau froide à 25°C pour limiter le risque légionelles (arrêté ministériel du 11 janvier 2007 relatif aux limites et aux références de qualité des eaux brutes et des Eaux Destinées à la Consommation Humaine). Il conviendrait donc de combler un vide juridique pour encadrer la mise en place de dispositifs de préchauffage de l'eau froide par récupération des calories sur les eaux grises tout en garantissant une absence de risque sanitaire. A cet effet, il pourrait être pertinent d'effectuer des tests complémentaires sur des périodes d'essais plus longues et sur des matériaux différents (tuyaux en PVC, PER, acier galvanisé...) ou d'assurer un suivi sur les premières installations en conditions réelles afin de confirmer l'innocuité sanitaire de ces dispositifs.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Association Française de Normalisation (AFNOR) (2003) Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement de *Legionella* spp et de *Legionella pneumophila*. Méthode par ensemencement direct et après concentration sur membrane ou centrifugation. AFNOR NF T90-431, Paris, France.
- Benhamou D., Bru J.-P., Chidiac C., Etienne J., Léophonte P., Marty N., Poirier R., Rouque, R.M. (2005) Légionellose : définition, diagnostic et traitement. Médecine et Maladies Infectieuses 35: 1-5.
- Berthelot P., Grattard F., Ros A., Lucht F., Pozzetto B. (1998) Nosocomial legionellosis outbreak over a three-year period: investigation and control. Clinical Microbiology and infection 4: 385-391.

- Borella P., Guerrieri E., Marchesi I., Bondi M., Messi P. (2005) Water ecology of *Legionella* and protozoan: environmental and public health perspectives. *Biotechnology Annual Review* 11: 355-380.
- Declerck P. (2010) Biofilms: the environmental playground of *Legionella pneumophila*. *Environmental Microbiology* 12: 557-566.
- Farhat M., Trouilhé M.-C., Briand E., Moletta-Denat M., Robine E., Frère J. (2010) Development of a pilot-scale 1 for *Legionella* elimination in biofilm in hot water network: heat shock treatment evaluation. *Journal of Applied Microbiology* 108: 1073-1082.
- Fields B.S., Benson R.F., Besser R.E. (2002) *Legionella* and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clinical Microbiology Review* 15: 506-526.
- Fraser D.W., Tsai T.F., Orenstein W., Parkin W.E., Beecham H.J., Sharrar R.G., Harris J., Mallison J.F., Martin S.M., McDade J.E., Shepard C.C., Brachman P.S. (1977) Legionnaires' disease: description of an epidemic of pneumonia. *New England Journal of Medicine* 297: 1189-1197.
- Marston B.J., Plouffe J.F., File T.M. Jr, Hackman B.A., Salstrom S.J., Lipman H.B., Kolczak M.S., Breiman R.F. (1997) Incidence of community-acquired pneumonia requiring hospitalization. Results of a population-based active surveillance study in Ohio. The Community-Based Pneumonia Incidence Study Group. *Archives of Internal Medicine* 157: 1709-1718.
- Murga R., Forster T.S., Brown E., Pruckler J.M., Fields B.S., Donlan R.M. (2001) Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable-water system. *Microbiology* 147: 3121-3126.
- Schofield G.M., Locci R. (1985) Colonization of components of a model hot water system by *Legionella pneumophila*. *Journal of Applied Bacteriology* 58: 151-162.

6. ANNEXE

6.1 Température en sortie de mitigeur de 37°C (Connectée au ballon uniquement)

6.1.1 Connection au ballon

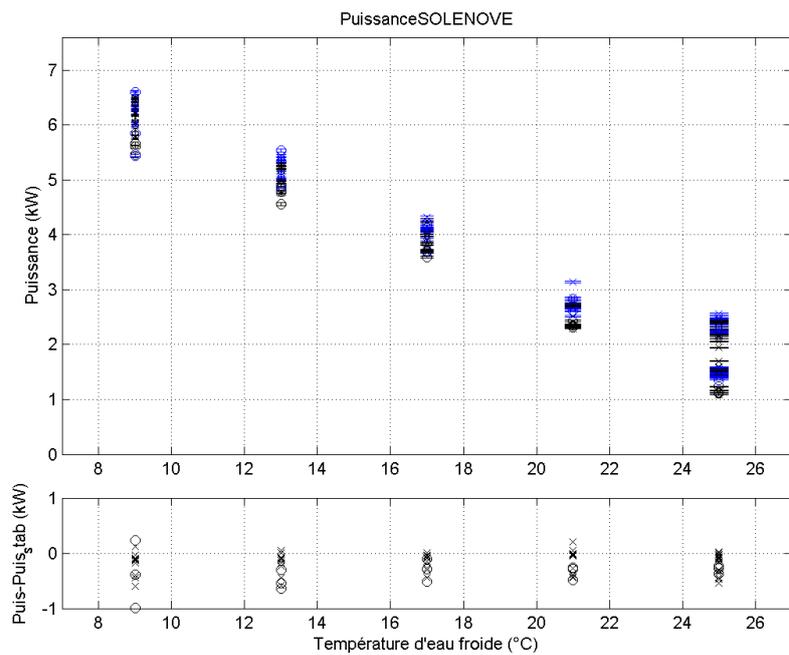


Figure 16 : Puissance (kW) moyenne sur la durée des douches (en noir) et stabilisées (en bleu) de l'échangeur Solenove et écart entre les deux puissances (en bas) Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

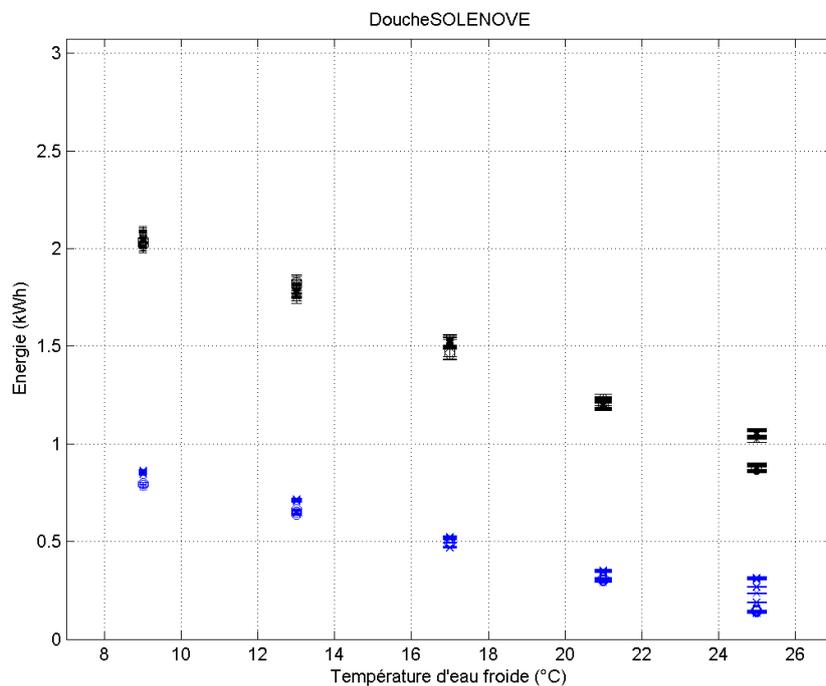


Figure 17 : Energies (kWh) moyennes consommées (en noir) et récupérées (en bleu). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

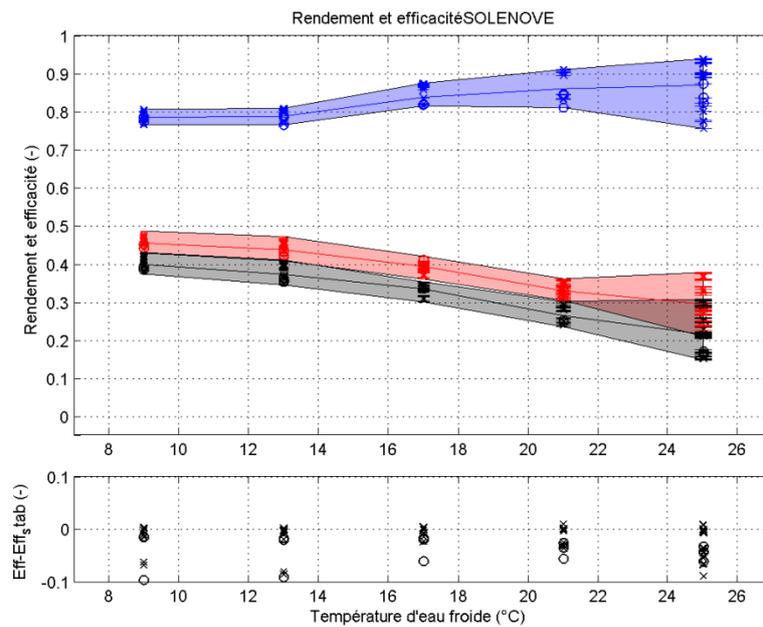


Figure 18 : Rendements (en noir), efficacités moyennes (en bleu) et globales (en rouge). Les écarts entre les efficacités globales et globales stabilisées sont présentés dans le graphique du bas. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

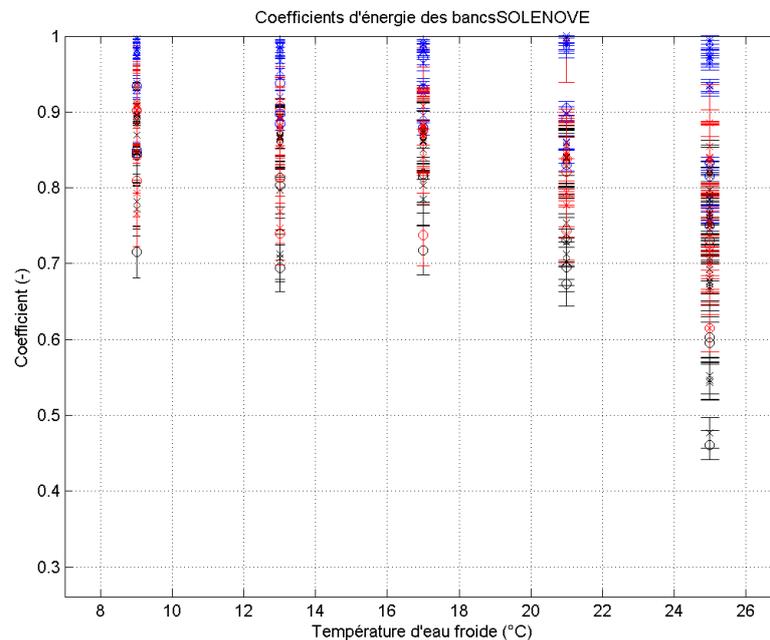


Figure 19 : Coefficient de gain totaux (en noir), transitoires (en bleu) et thermique (en rouge). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

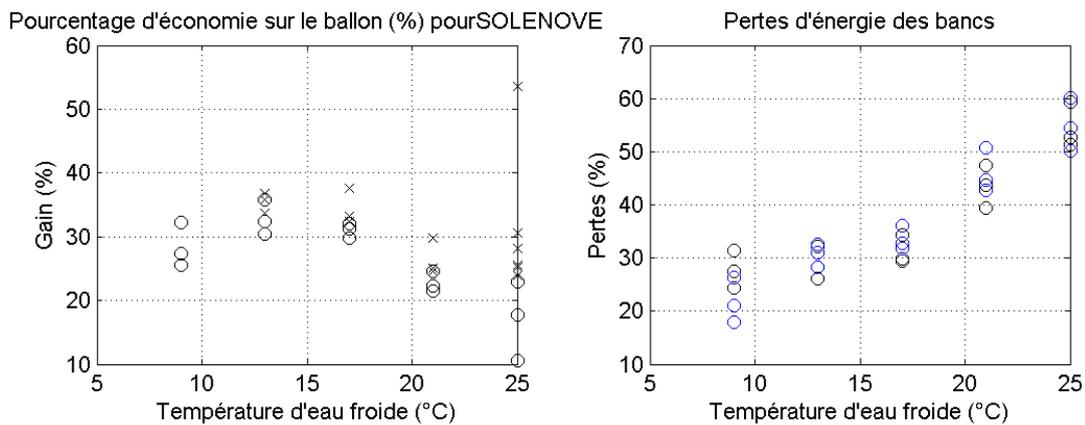


Figure 20 : Gains énergétiques par événement et pertes thermiques (en %) sur le banc témoin (en bleu) et sur le banc Solenove (en noir) en fonction de la température d'eau froide. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

6.2 Température en sortie de mitigeur de 43°C

6.2.1 Connection au ballon

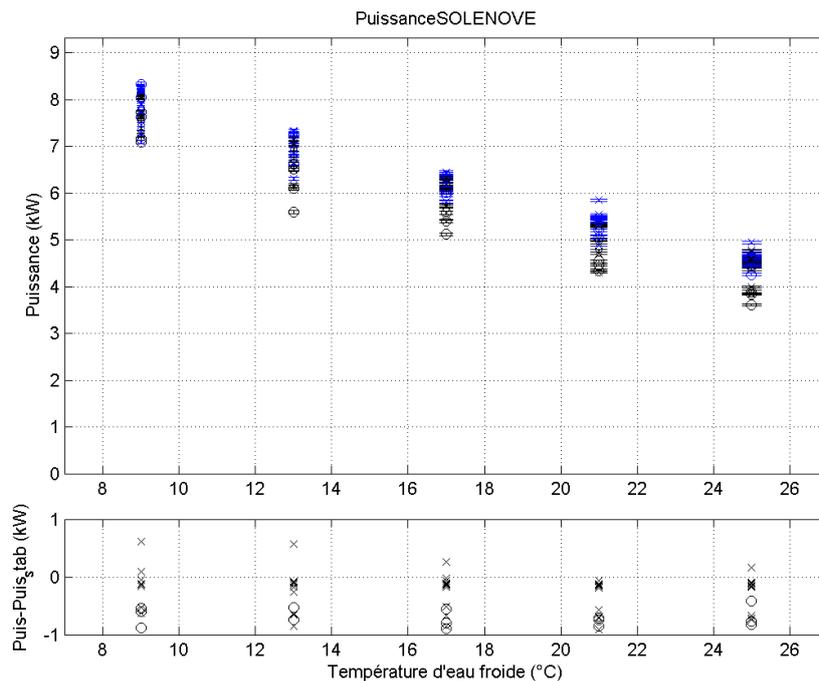


Figure 21 : Puissance (kW) moyenne sur la durée des douches (en noir) et stabilisées (en bleu) de l'échangeur Solenove et écart entre les deux puissances (en bas) Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

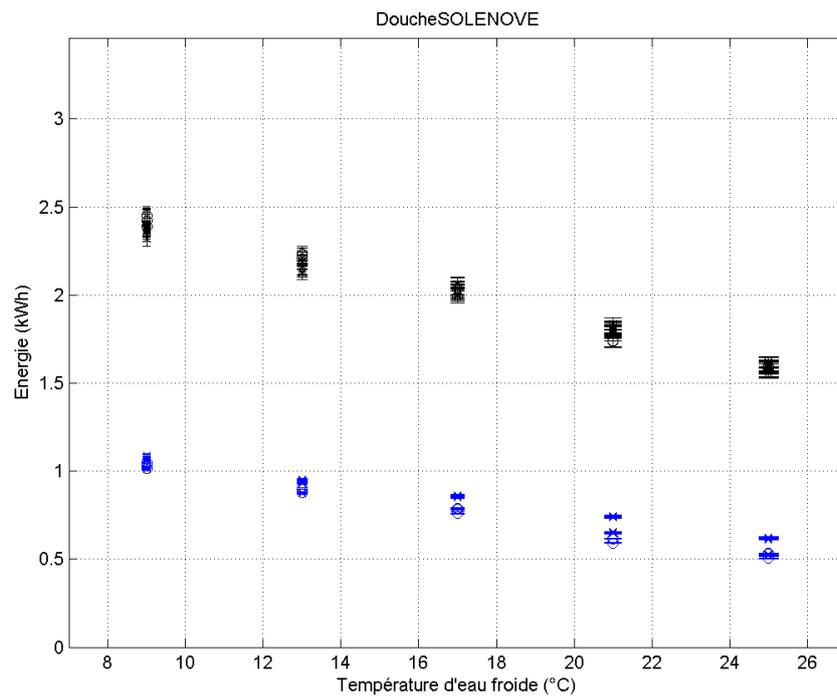


Figure 22 : Energies (kWh) moyennes consommées (en noir) et récupérées (en bleu). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

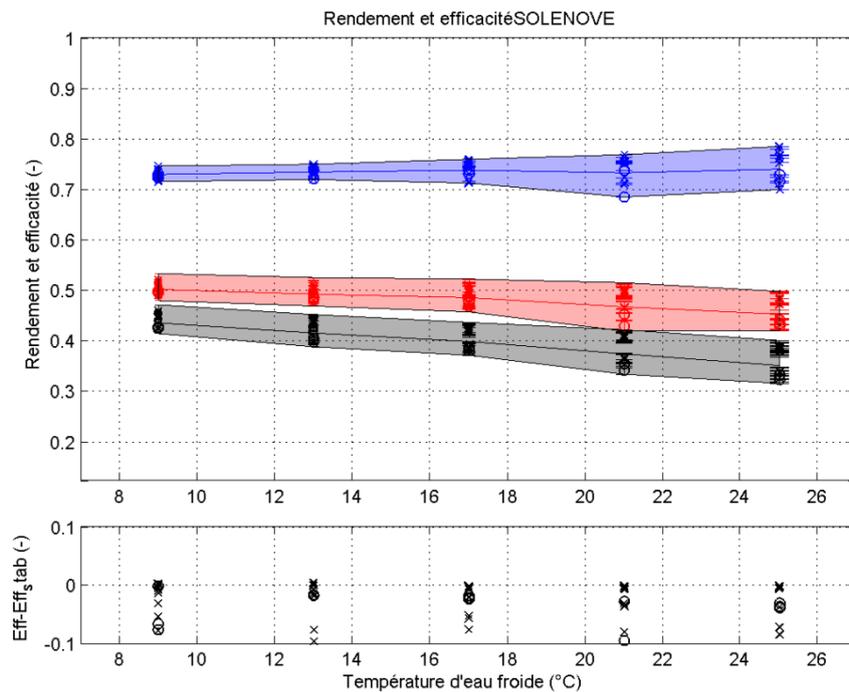


Figure 23 : Rendements (en noir), efficacités moyennes (en bleu) et globales (en rouge). Les écarts entre les efficacités globales et globales stabilisées sont présentés dans le graphique du bas. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

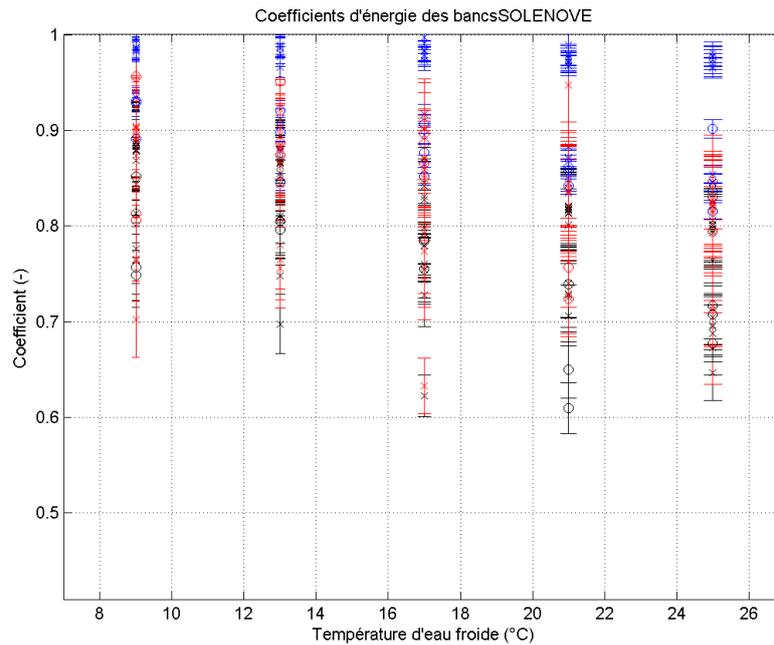


Figure 24 : Coefficient de gain totaux (en noir), transitoires (en bleu) et thermique (en rouge). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

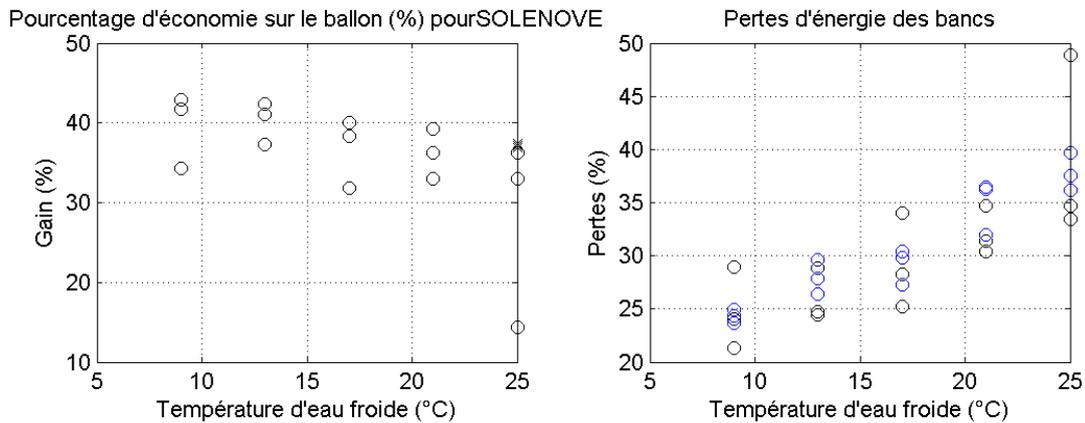


Figure 25 : Gains énergétiques par événement et pertes thermiques (en %) sur le banc témoin (en bleu) et sur le banc Solenove (en noir) en fonction de la température d'eau froide. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

6.2.2 Configuration connectée au mitigeur

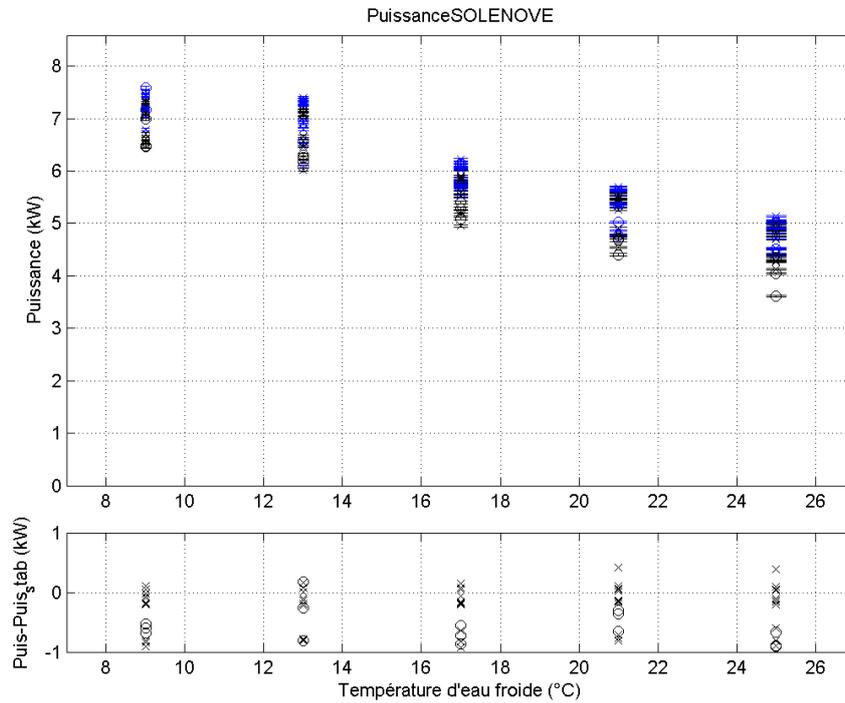


Figure 26 : Puissance (kW) moyenne sur la durée des douches (en noir) et stabilisées (en bleu) de l'échangeur Solenove et écart entre les deux puissances (en bas) Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

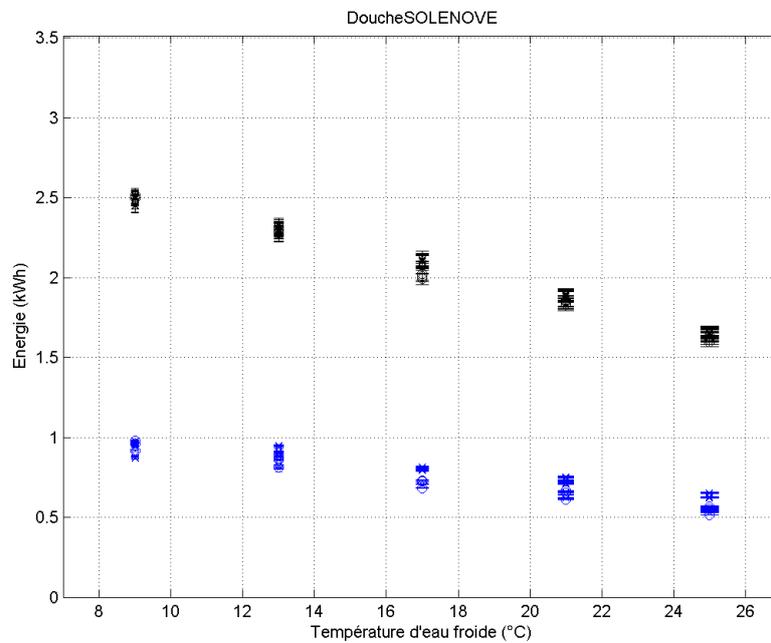


Figure 27 : Energies (kWh) moyennes consommées (en noir) et récupérées (en bleu). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

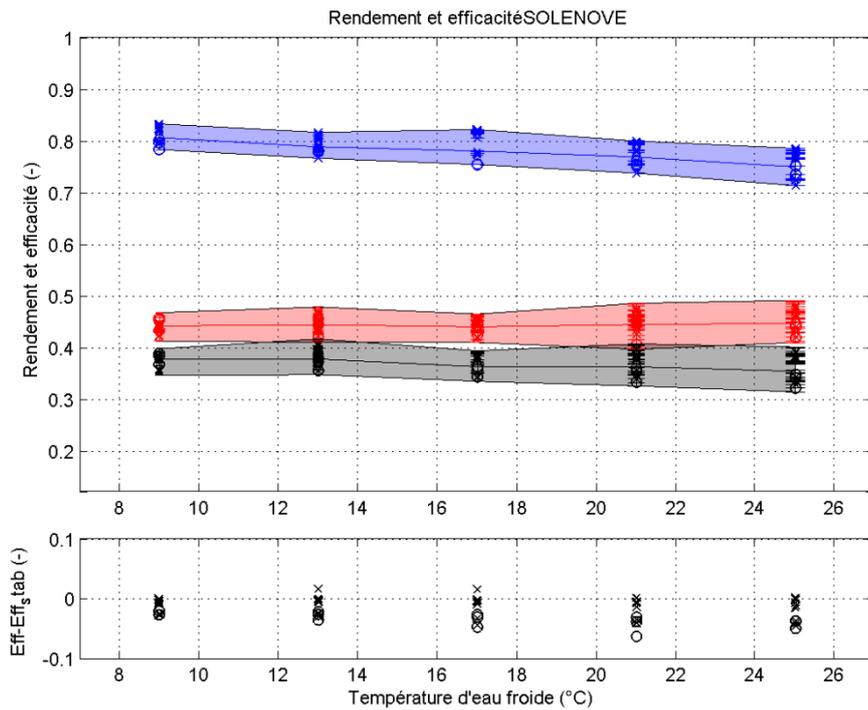


Figure 28 : Rendements (en noir), efficacités moyennes (en bleu) et globales (en rouge). Les écarts entre les efficacité globales et globales stabilisées sont présentés dans le graphique du bas. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

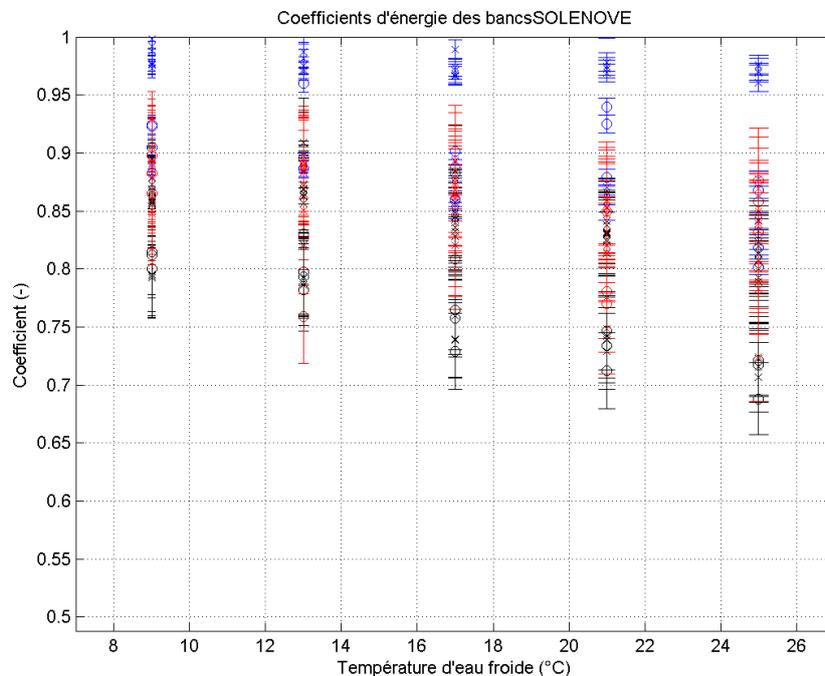


Figure 29 : Coefficient de gain total (en noir), transitoires (en bleu) et thermique (en rouge). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

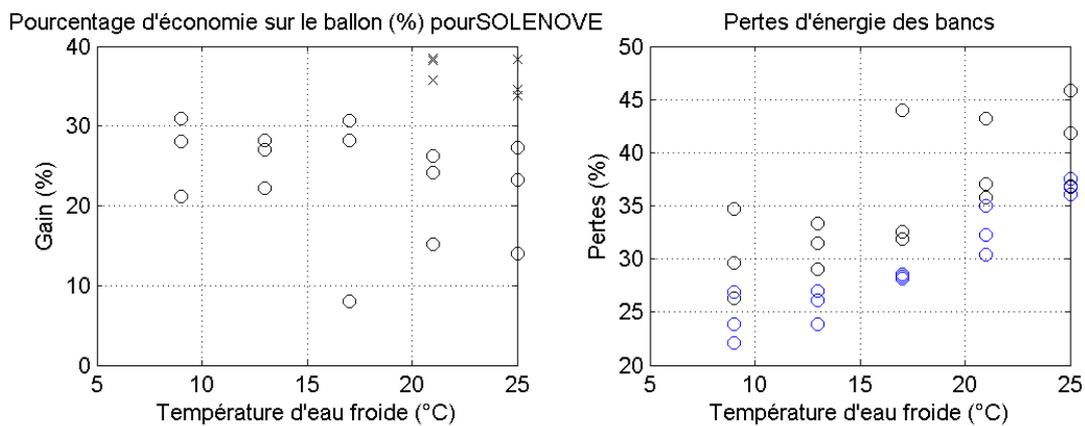


Figure 30 : Gains énergétiques par événement et pertes thermiques (en %) sur le banc témoin (en bleu) et sur le banc Solenove (en noir) en fonction de la température d'eau froide. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

6.3 Température en sortie de mitigeur de 45°C

6.3.1 Connection au ballon

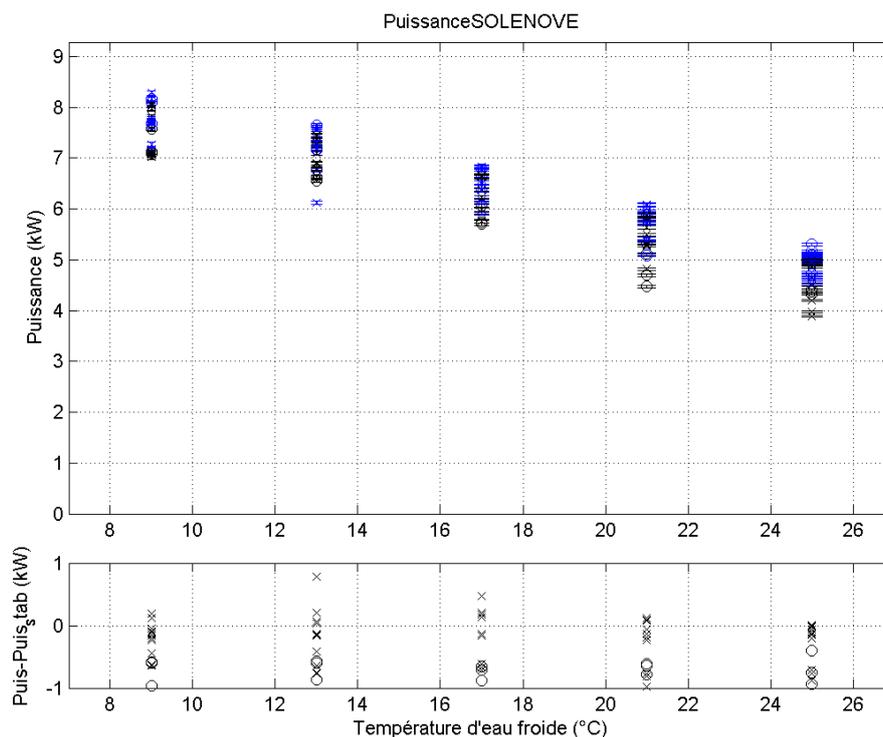


Figure 31 : Puissance (kW) moyenne sur la durée des douches (en noir) et stabilisées (en bleu) de l'échangeur Solenove et écart entre les deux puissances (en bas) Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

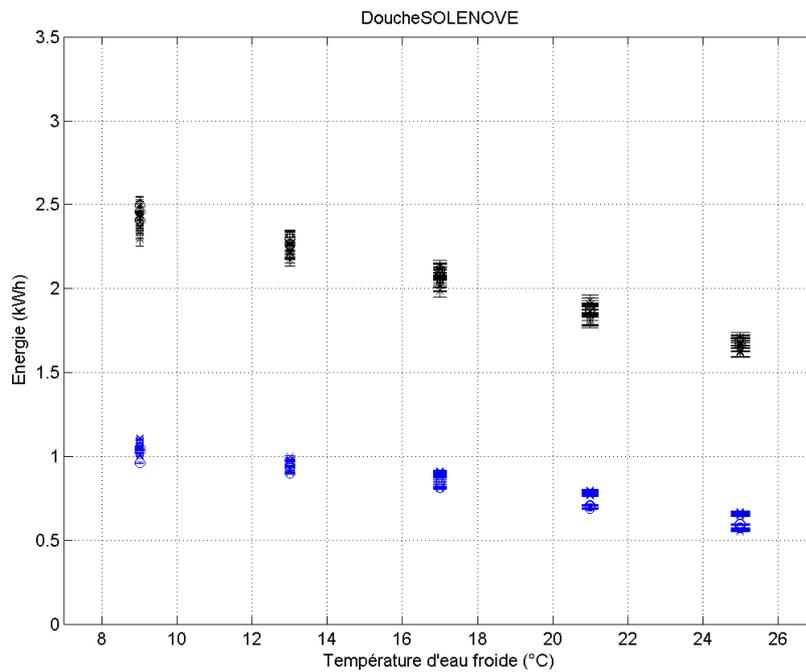


Figure 32 : Energies (kWh) moyennes consommées (en noir) et récupérées (en bleu). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

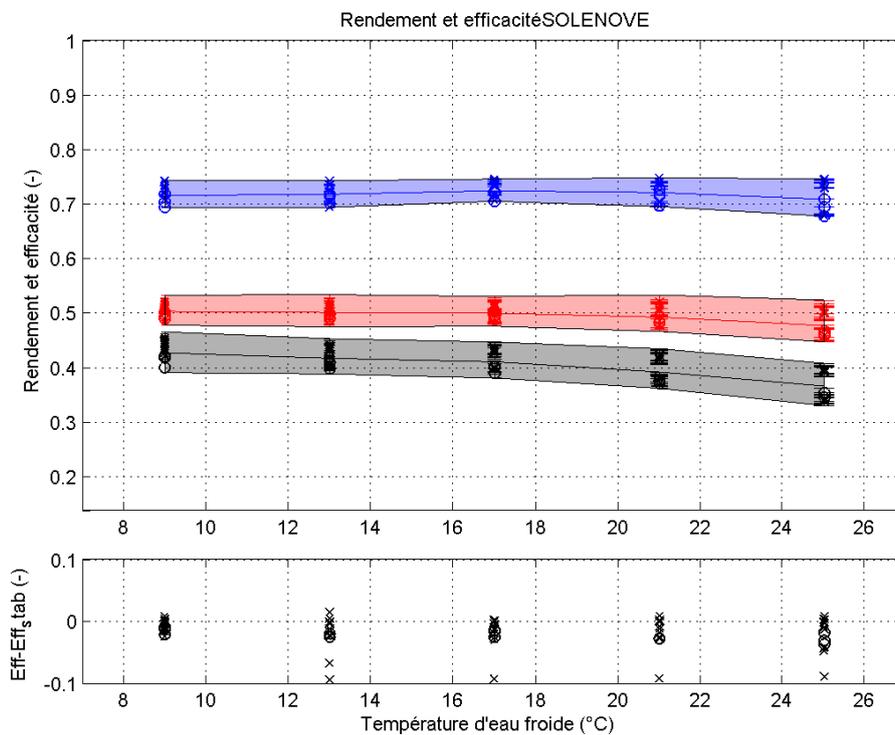


Figure 33 : Rendements (en noir), efficacités moyennes (en bleu) et globales (en rouge). Les écarts entre les efficacité globales et globales stabilisées sont présentés dans le graphique du bas. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

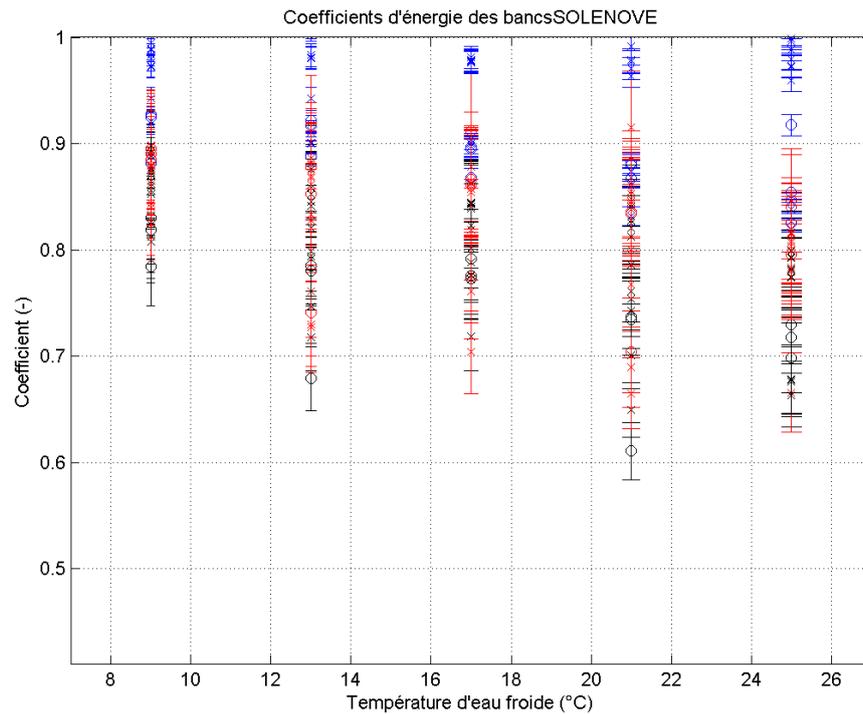


Figure 34 : Coefficient de gain totaux (en noir), transitoires (en bleu) et thermique (en rouge). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

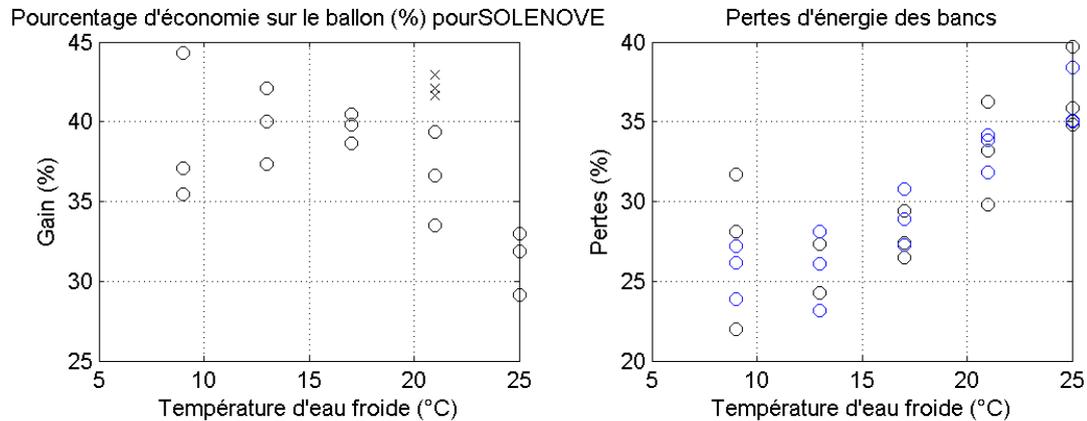


Figure 35 : Gains énergétiques par événement et pertes thermiques (en %) sur le banc témoin (en bleu) et sur le banc Solenove (en noir) en fonction de la température d'eau froide. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

6.3.2 Configuration connectée au mitigeur

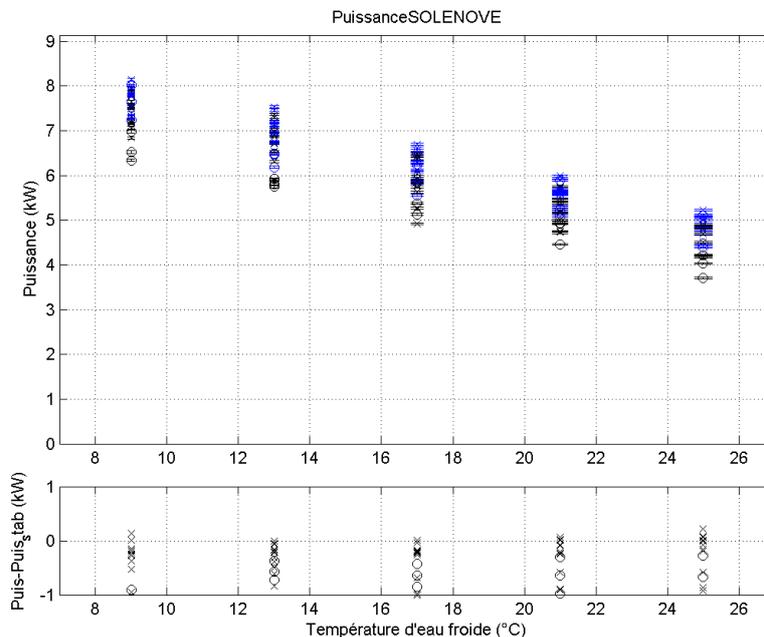


Figure 36 : Puissance (kW) moyenne sur la durée des douches (en noir) et stabilisées (en bleu) de l'échangeur Solenove et écart entre les deux puissances (en bas). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

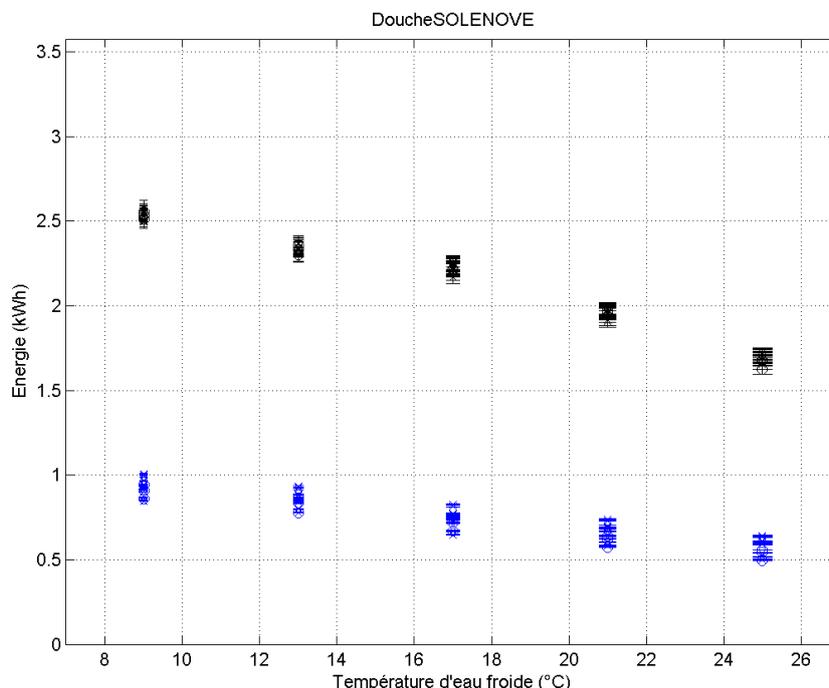


Figure 37 : Energies (kWh) moyennes consommées (en noir) et récupérées (en bleu). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

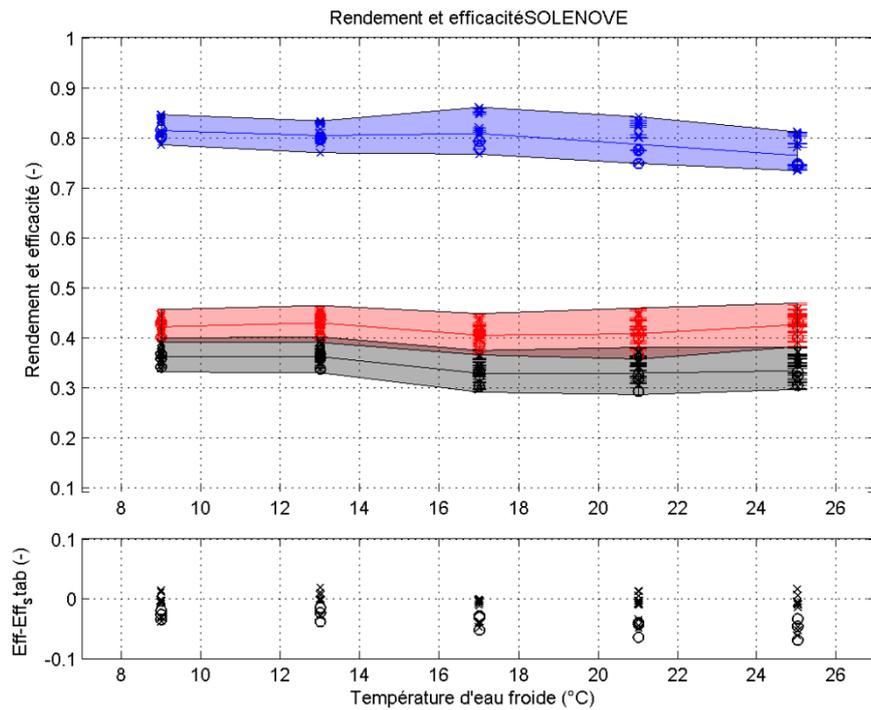


Figure 38 : Rendements (en noir), efficacités moyennes (en bleu) et globales (en rouge). Les écarts entre les efficacité globales et globales stabilisées sont présentés dans le graphique du bas. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

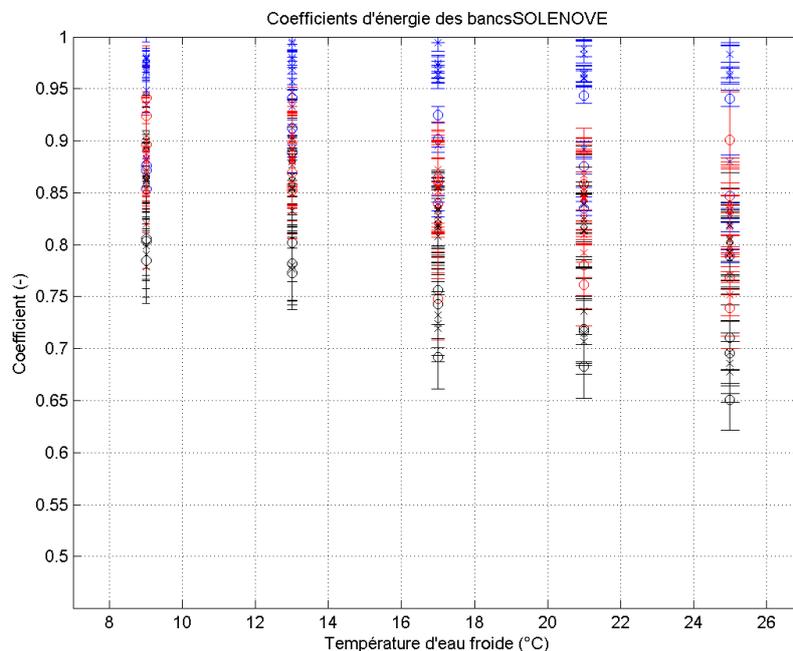


Figure 39 : Coefficient de gain totaux (en noir), transitoires (en bleu) et thermique (en rouge). Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

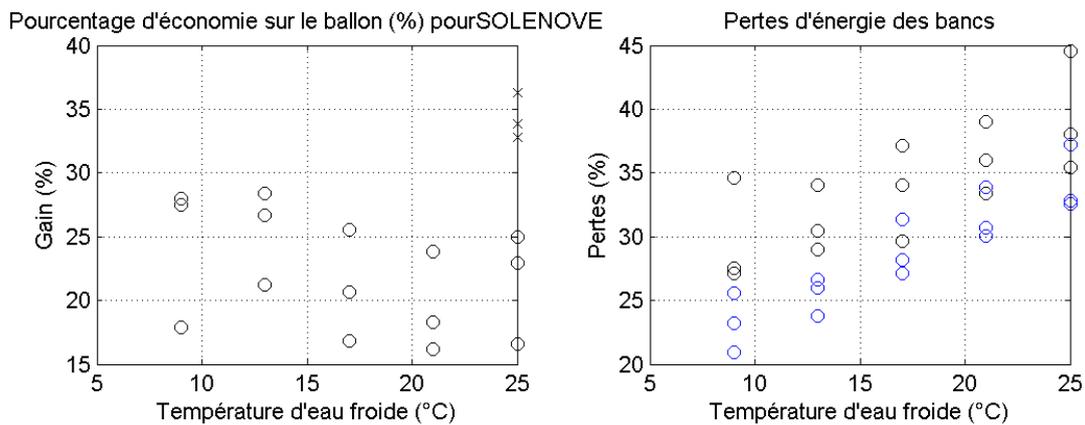


Figure 40 : Gains énergétiques par événement et pertes thermiques (en %) sur le banc témoin (en bleu) et sur le banc Solenove (en noir) en fonction de la température d'eau froide. Les symboles 'o' correspondent aux essais de répétabilité et les symboles 'x' aux essais de foisonnement.

6.4 Synthèses des résultats

Une synthèse des résultats pour toutes les configurations est présentée dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable..**

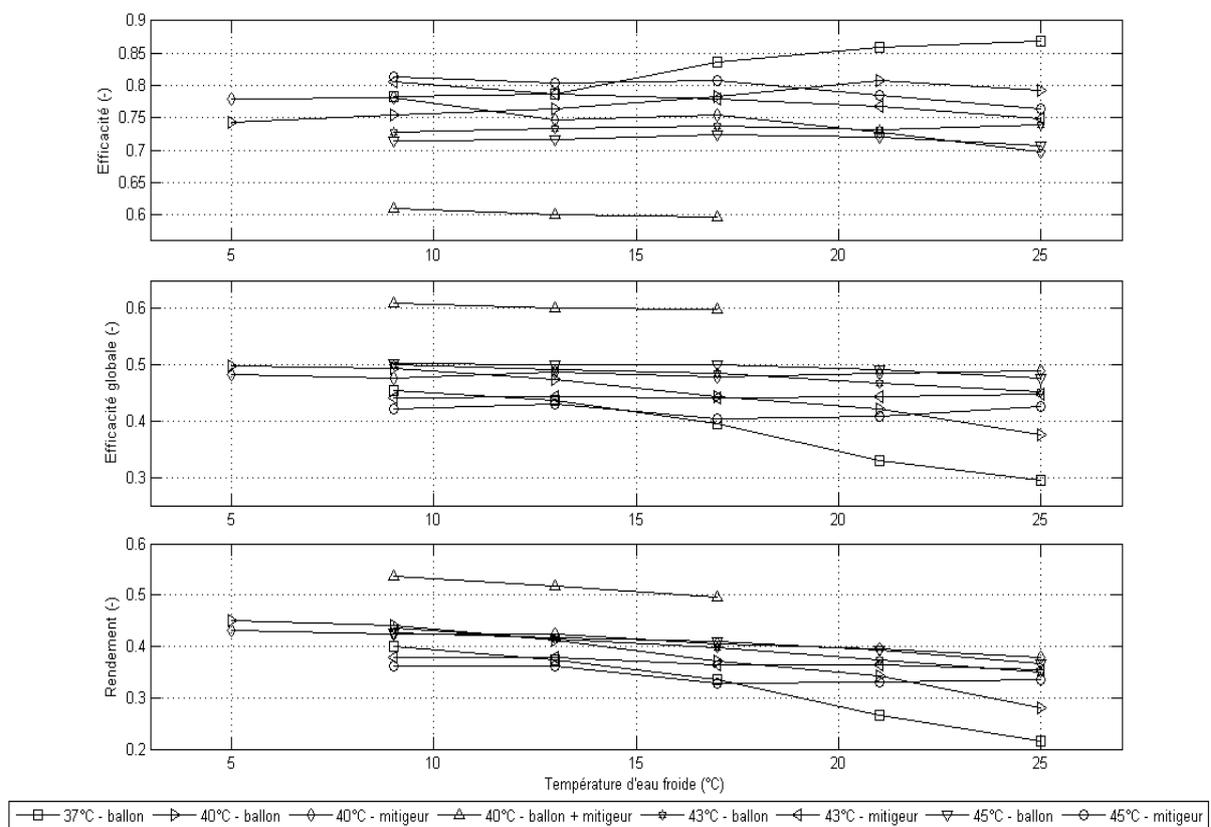


Figure 41 : Courbes moyennes des efficacités, efficacité globale et rendements de l'ensemble des configuration testées en fonction de la température d'eau froide du réseau.

Les efficacités les plus importantes se retrouvent logiquement sur les configurations de température de douche les plus faibles et une connection au ballon. Ces dernières présentent aussi les efficacités globales les plus faibles (et donc les rendements les plus faibles). En effet, les débits d'appel d'eau chaude sont plus faibles sur ces configurations, offrant des 'temps de séjour' dans l'échangeur plus importants, mais les rapports de débits étant plus faibles, ils diminuent les efficacités globales et rendements. Les configurations qui présentent les efficacités globales les plus importantes sont celles impliquant les débits les plus importants au travers de l'échangeur. Néanmoins, mises à part les configurations avec des températures de douche de 37 et 40°C et des connections au ballon, l'ensemble des configuration présente des rendements et efficacités similaires (compris entre 0.5 et 0.6 pour les efficacité globale et 0.4 et 0.5 pour les rendements).