

Energido[®], une solution de récupération de calories sur les eaux usées : principe et illustration sur le centre aquatique de la Communauté Urbaine d'Arras

F. Goglen, F. Verdler,

Veolia Eau Région Nord-Ouest

R. Le Gully, Veolia Direction Technique
et Performance

G. Lechantoux, Communauté Urbaine d'Arras

S. Goleblowski, ADEME Centre Régional
Nord-Pas de Calais

ABSTRACT

Energido[®]: a heat recovery solution for wastewater : principle and illustration on the aquatic center of the Arras urban community.

Energido[®], is a process developed by Veolia, which consists in recovering calories from the wastewater using a heat exchanger, then to improve the energy potential using a heat pump. The originality of the process which is the subject of a patent, is the use of a heat exchanger placed in the branch network. This configuration optimizes the efficiency of exchanges and allows to maintain performance over time.

This paper introduces the principle of Energido[®] and describes its implementation on the aquatic center of the Urban Community of Arras. The implementation of Energido[®] answered a dual purpose of reducing the consumption of fossil energy for the heating needs of the aquatic center, and reduce emissions of greenhouse gases.

Key Words: Energido[®], heat recovery in wastewater, renewable energy,

Energido[®], est un procédé développé par Veolia, qui consiste à récupérer les calories des eaux usées grâce à un échangeur de chaleur, puis d'améliorer le potentiel énergétique grâce à l'utilisation d'une pompe à chaleur. L'originalité du procédé, qui fait l'objet d'un brevet, réside dans l'utilisation d'un échangeur placé en dérivation du réseau. Cette configuration permet d'optimiser l'efficacité des échanges et de maîtriser le maintien des performances dans le temps.

Cet article présente le principe d'Energido et décrit sa mise en œuvre sur le centre aquatique de la Communauté Urbaine d'Arras. La mise en place d'Energido a répondu à un double objectif : réduire la part des énergies fossiles consommées pour les besoins thermiques du centre aquatique et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Les récentes études sur le changement climatique affirment avec une certitude grandissante l'impact de l'activité humaine sur le réchauffement de la planète. Le cinquième rapport du GIEC (2014) conclut que pour maintenir la hausse de température sous le seuil de 2 °C, nous devons réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre de 40 % à 70 % en 2050 par rapport au niveau de 2010, et atteindre des niveaux d'émission proches de zéro en 2100. Pour lutter contre le processus de réchauffement, les autorités s'organisent à plusieurs niveaux. Ainsi, la loi du 12 juillet 2010 dite « Grenelle 2 » rend obligatoire l'établissement d'un plan climat énergie territorial (PCET) pour toute collectivité de plus de 50 000 habitants. À l'échelle régionale, la région Nord-Pas-de-Calais a réalisé l'exercice en 2008. Pour être efficaces, les PCET doivent néanmoins être déclinés à toutes les échelles du territoire. Aussi, la Communauté Urbaine

d'Arras (CUA) s'est lancé dans la démarche en 2013. Parmi les actions sur lesquelles la CUA a pris des engagements, figure le développement des énergies renouvelables sur le territoire (atteinte de 20 % d'énergie renouvelable d'ici 2020) et notamment leur intégration dans les réseaux de chaleur dont elle a la responsabilité. Pour contribuer à l'atteinte de cet objectif, un partenariat a été créé entre la CUA et Veolia Eau pour utiliser une part de l'énergie fatale contenue dans les eaux usées produites sur la communauté urbaine de manière à couvrir une partie des besoins énergétiques du nouveau centre aquatique de la CUA inauguré en 2012.

Principes généraux de récupération de chaleur sur les eaux usées

Les eaux usées urbaines produites et reje-

Mots Clés : Energido[®], récupération de calories sur eaux usées, énergie renouvelable.

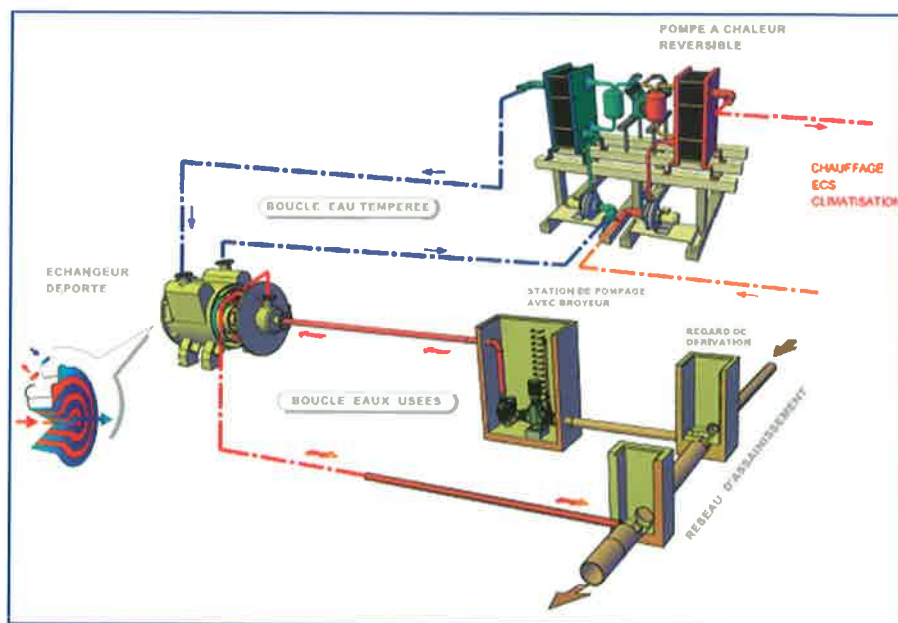


Figure 1: Principe de fonctionnement de la solution Energido®.

tées par les bâtiments à usage d'habitation ou du secteur tertiaire sont collectées et transportées vers les installations de traitement situées dans la plupart des cas en aval des agglomérations. Elles transitent dans les ouvrages de toute l'agglomération à une température relativement stable comprise généralement en hiver entre 10 et 15 °C au moins. De par leur température et leur disponibilité, les eaux usées peuvent ainsi être envisagées comme une source d'énergie thermique alternative pour les besoins des bâtiments, en substitution des énergies fossiles, voire électriques. Dès lors, des systèmes basés sur la mise en œuvre de pompes à chaleur eau/eau peuvent être une solution efficace pour valoriser l'énergie fatale perdue contenue dans les eaux usées.

Cependant, si le principe semble intéressant, la mise en œuvre nécessite une bonne maîtrise de certains points techniques, tant du côté de la source de chaleur eaux usées que du côté de l'utilisation des calories récupérées.

La solution Energido®

Le système de récupération de chaleur sur eaux usées conçu par Veolia se compose de plusieurs ensembles (figure 1) :

- Une boucle d'eau usée comprenant un ouvrage de dérivation et un système de pompage qui permet d'amener l'effluent à un échangeur ;
- Un échangeur thermique ;
- Une boucle de fluide caloporteur qui circule entre l'échangeur et une pompe à chaleur ;
- Une pompe à chaleur ou un groupe de pompes à chaleur qui se charge de resti-

tuer les calories à un système de chauffage.

Si le fonctionnement des pompes à chaleur eau/eau est aujourd'hui bien maîtrisé, l'extraction des calories sur un liquide chargé nécessite de prendre certaines précautions. En effet, les eaux usées avant traitement contiennent, d'une part des solides de tailles variables allant du macro-déchet de type matière plastique au grain de sable de diamètre 20µm, et d'autre part une biomasse susceptible de se développer. Or, ces caractéristiques peuvent nuire à l'efficacité des échanges thermiques au niveau de l'échangeur en le bouchant ou par le biais de dépôts ou du développement d'un biofilm sur les surfaces d'échange. La solution retenue par Veolia a donc été de déporter l'échangeur par rapport au réseau et de le protéger par un broyeur en amont. De cette façon, l'accès aux surfaces d'échange primaire est aisé et les opérations d'entretien et de maintenance peuvent être réalisées sans nécessiter de moyens lourds d'intervention. Afin de déterminer la solution la plus efficace sur les eaux usées brutes, un pilote a été

mis en place sur la station d'épuration de Cagnes-sur-Mer en 2010. Ce pilote a permis de tester les performances de quatre types d'échangeurs de chaleur sur des eaux usées ayant subi différents niveaux de prétraitements, ceci afin de déterminer la configuration prétraitement/échangeur optimale. Les types d'échangeur testés sont un échangeur tubulaire avec système de nettoyage automatique, un échangeur à plaques, un échangeur coaxial et un échangeur spiralé. Les conclusions de ce test ont abouti au choix d'un échangeur spiralé (figure 2) dont la conception a été adaptée pour répondre parfaitement aux besoins d'Energido. Des échanges avec le fabricant retenu pour l'échangeur ont permis de déterminer un optimum entre efficacité des échanges et réduction des risques de bouchage.

Bases de dimensionnement

Le centre balnéo-ludique « Aquarena » de la communauté urbaine d'Arras (CUA) a ouvert en 2012. Il s'agit d'un complexe de loisir, qui accueille 210 000 visiteurs par an, et offre plusieurs espaces aquatiques et de



Figure 2: Échangeur spiralé 130 kW.



Figure 3: Implantation des ouvrages et du centre aquatique.

remise en forme. La consommation énergétique du centre peut être scindée en trois postes: le maintien en température des bassins, le chauffage de l'enceinte et la production d'eau chaude sanitaire. La consommation annuelle, pour couvrir l'ensemble des besoins, est de l'ordre de 3 000 MWh. À la conception du bâtiment, il a été prévu de couvrir un tiers des besoins via une récupération de chaleur sur la déshumidification de l'air intérieur du centre et deux tiers des besoins par une chaudière au gaz naturel.

Configuration générale

La mise en œuvre de ce type d'installation nécessite la réalisation conjointe de plusieurs conditions et notamment la présence dans un périmètre relativement restreint, à la fois d'une source d'eau usée en quantité suffisante et d'un point de consommation de calories basse température. Le cas du centre aquatique d'Arras présentait une configuration idéale pour la mise en œuvre de ce type de solution.

Potential de fourniture

Le centre aquatique est situé à une distance de 250 mètres à vol d'oiseau d'un des postes de pompage d'eau usée les plus importants de la communauté urbaine d'Arras. Ce poste, situé dans un point bas de la topographie reçoit environ les deux tiers des volumes rejetés sur le périmètre et les refoule vers la station d'épuration de Saint-Laurent-Blangy. La figure 3 présente le poste de pompage, le centre aquatique, ainsi que la boucle de fluide caloporteur qui assure le transfert des calories depuis le poste de pompage des eaux usées vers leur point de consommation.

La figure 4 présente les évolutions journalières moyennes des paramètres température et débit sur les jours de temps sec entre le 1^{er} janvier et le 31 août 2012.

Le débit minimum nocturne reçu par le poste est de l'ordre de 200 m³/h. Pour les débits, seuls les jours de temps sec ont été pris en compte pour ne pas fausser l'estimation du débit minimum nocturne. Les températures sont quant à elles relative-

ment constantes puisqu'elles varient en moyenne sur la journée entre 11 et 12,5 °C. En considérant un débit minimum constant de 200 m³/h et un différentiel de température de seulement 2,5 °C entre l'entrée et la sortie de l'échangeur, le potentiel de récupération sur les eaux usées est à minima de l'ordre de 700 kW.

Avec une pompe à chaleur, l'énergie restituée augmentée de la consommation électrique du compresseur sera de l'ordre de 1 000 kW. Avec un différentiel maximum de 5 °C sur les EU, le potentiel de récupération est du double.

Potential de consommation

Pour subvenir aux besoins d'énergie thermique du centre aquatique, les installations sont les suivantes:

- 2 chaudières gaz naturel à tubes de fumées de marque Hoval d'une puissance nominale de 500 kW chacune
- 2 PAC de marque ETT sur la déshumidification du traitement d'air des bassins

La récupération de chaleur de la déshumidification permet de préchauffer l'ECS et participe au maintien en température des bassins. La production de chaleur pour le chauffage des locaux, le chauffage complet de l'ECS et le maintien en température des bassins sont assurés par les chaudières gaz naturel. La figure 5 présente les besoins thermiques du centre au cours de l'année. On peut noter la relative constance des besoins compris environ entre 220 MWh en été et 320 MWh en hiver.

Cette configuration est particulièrement propice à l'installation d'une solution de type Energido® car elle permet de maximiser l'utilisation des pompes à chaleur avec un fonctionnement toute l'année.

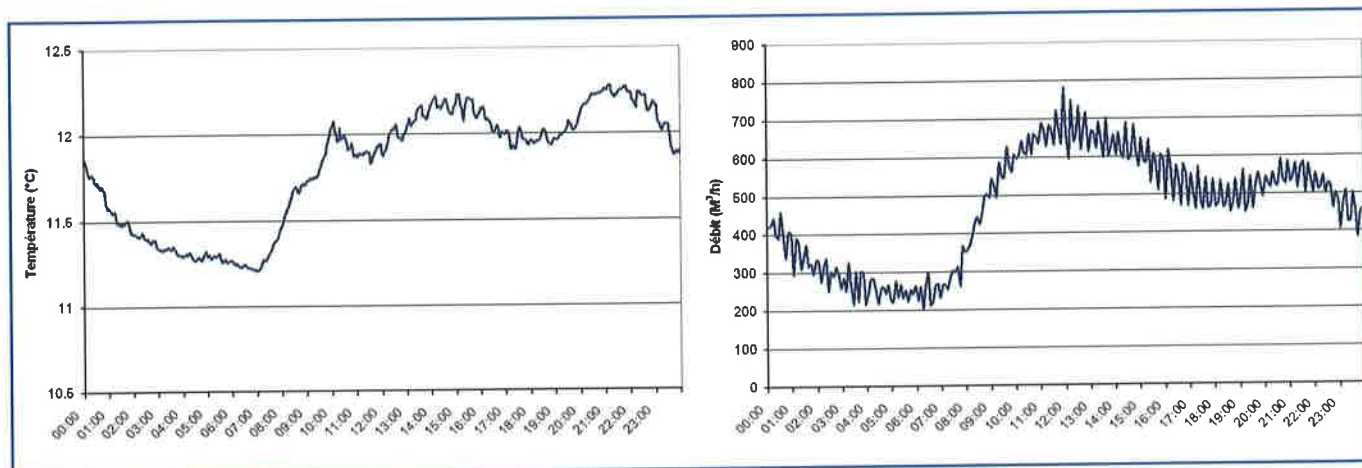


Figure 4: Courbes journalières d'évolution des températures et débits en temps sec.

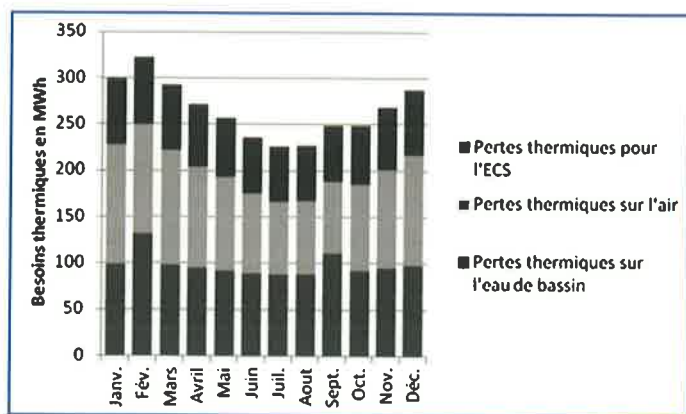


Figure 5: Besoins thermiques du centre aquatique en MWh/mois.

L'ECS étant déjà préchauffée par la PAC sur la déshumidification de l'air, la température de chauffage sur circuit de chauffage de l'enceinte n'étant pas adaptée pour du chauffage basse température, l'enjeu est ici de substituer la production d'énergie thermique au gaz naturel par Energido® pour le maintien en température des bassins. En effet, la température d'eau du circuit de chauffage, de l'ordre de 45 °C, se situe à un niveau de fonctionnement où le rendement de la PAC sera optimal avec un COefficient de Performance (COP) de 4 environ.

L'enjeu n'est donc pas de couvrir la totalité des consommations de gaz grâce à la pompe à chaleur mais plutôt de choisir des équipements qui pourront fonctionner le plus souvent possible à leur capacité nominale.

La consommation observée en gaz du centre aquatique étant de 2 598 MWh/an PCS (production de chaleur nette de 2 221 MWh), l'étude a déterminé que l'installation de deux pompes à chaleur sur eaux usées (« PAC EU ») permettra de couvrir, en moyenne annuelle, 46 % des consommations gaz du centre, soit 1 018 MWh/an. En considérant un fonctionnement permanent des PAC EU (24h/j, tous les jours), la puissance calorifique pour couvrir les

- Une puissance calorifique délivrée par les PAC de 139 kW minimum (2 PAC de 100 kW chacune);
- Une température moyenne des eaux usées au niveau du bassin S1 de 12 °C;
- Un delta de température entre l'entrée et la sortie de l'échangeur de 2,5 °C.

Dans ces conditions, le débit d'eau usée à prélever est de 60 m³/h, débit pouvant être assuré 100 % du temps puisque le minimum nocturne en temps sec au niveau du point de prélèvement est, rappelons-le, de 200 m³/h.

Réalisation et mise en route de l'installation

Réalisation des travaux

Les travaux se sont déroulés sur la période de septembre 2013 à mars 2014 avec une phase d'observation et d'optimisation des réglages jusqu'en Août.

Trois chantiers ont eu lieu simultanément: l'installation des équipements hydrauliques et d'échange au niveau de la station de pompage, la pose du circuit de fluide entre la station de pompage et le centre aquatique, et l'installation des pompes à chaleur dans la chaufferie ainsi que le raccordement au réseau de chaleur existant du

besoins en chauffage est d'environ 139 kW pendant la période hivernale et de 100 kW en été.

Le dimensionnement de l'installation est fondé sur les hypothèses suivantes:

centre.

La figure 6 présente l'implantation des équipements au niveau du poste de pompage. La totalité des équipements a été placée en surface dans un local aménagé à cet effet. Le pompage est réalisé via des pompes auto-amorçantes en cale sèche de capacités unitaires 60 m³/h. L'aspiration se fait dans la bache de réception des eaux usées située en dessous du local technique. En aval des groupes de pompage, est installé un broyeur muni de couteaux qui prévient le passage de solides de grande taille vers l'échangeur. Enfin, le local abrite l'échangeur thermique spiralé de 130 kW dont le principe de fonctionnement est de faire circuler à contre - courant l'eau usée et le fluide caloporteur, ici de l'eau glycolée.

Le réseau de transport du fluide caloporteur est constitué d'une boucle de conduite en polyéthylène de diamètre 110 mm. Le choix de son cheminement a été fait de manière à limiter les gênes de circulation lors des travaux et à rendre les opérations de réfection les plus simples possibles tout en minimisant la distance parcourue (450 m). Le passage sous l'avenue Jules Catoire, départementale 917, qui constitue une des entrées principales de la ville d'Arras avec quatre voies de circulation et un terre-plein central, a été réalisé en forage dirigé sur 48 m.

Enfin, au niveau du centre aquatique (figure 7), les travaux ont principalement consisté à installer et raccorder les deux pompes à chaleur.

L'automatisme du système Energido® est piloté par les besoins du centre aquatique. Un système de communication a donc été mis en place pour que les 2 sites (poste de

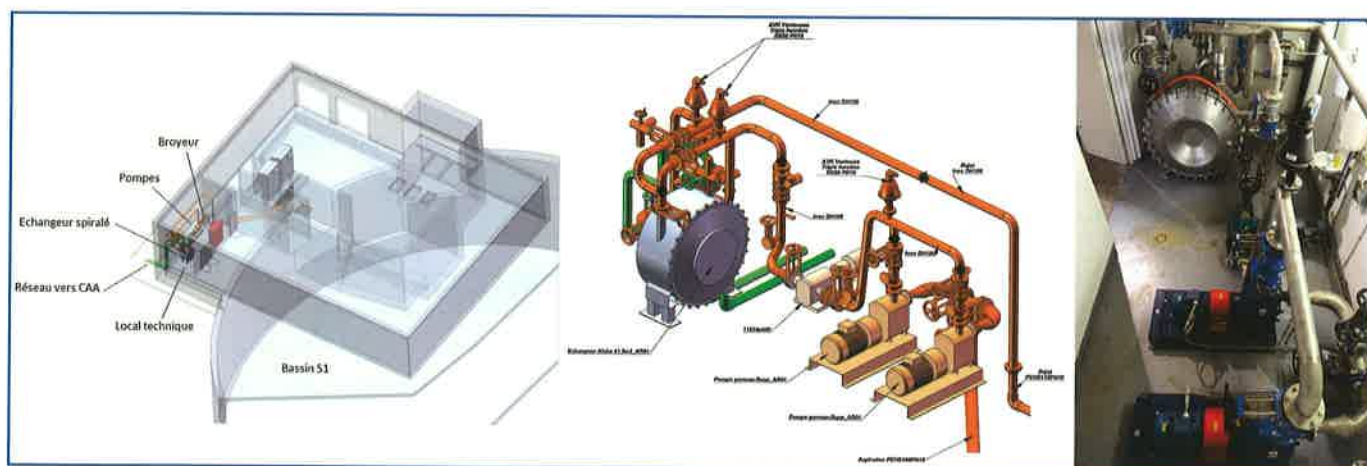


Figure 6: Implantation des équipements côté poste de pompage, schéma de détail et réalisation.



pompage et PAC) communiquent en temps réel. Le centre donne l'ordre de démarrer, d'augmenter ou non les débits d'échange, joue sur la puissance des PAC EU en lançant en cascades les compresseurs ou encore demande d'arrêter la production de chaleur.

sur l'une des parties du système entraînant un arrêt de production de chaleur, là encore le système passe automatiquement sur le chauffage gaz. Dès qu'Energido® est de nouveau disponible, les calories récupérées sont réutilisées automatiquement pour les bassins.

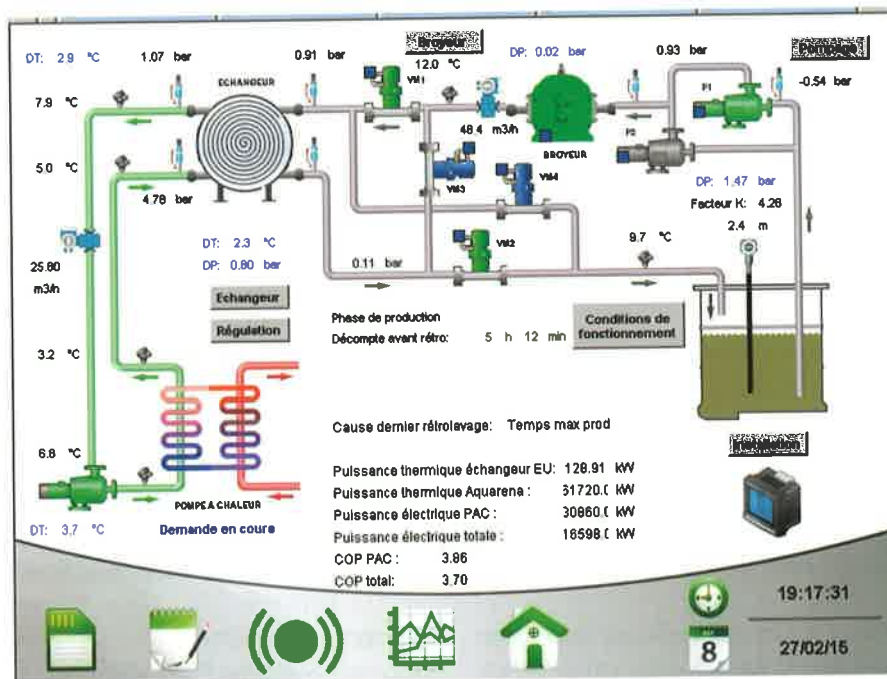


Figure 8: Vue synoptique de la télégestion d'Energldo.

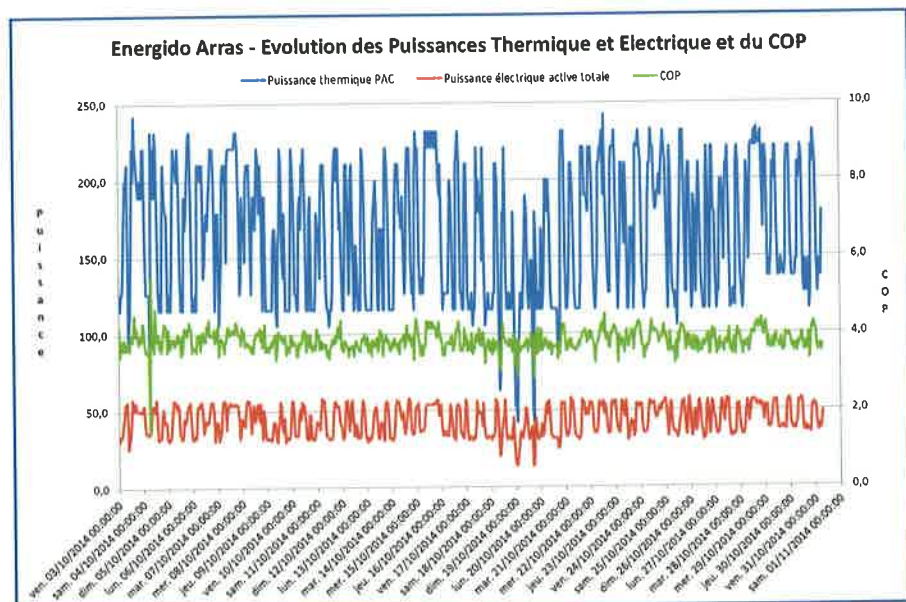


Figure 9: Évolution des puissances thermiques et électriques.

présente une partie du visuel des informations.

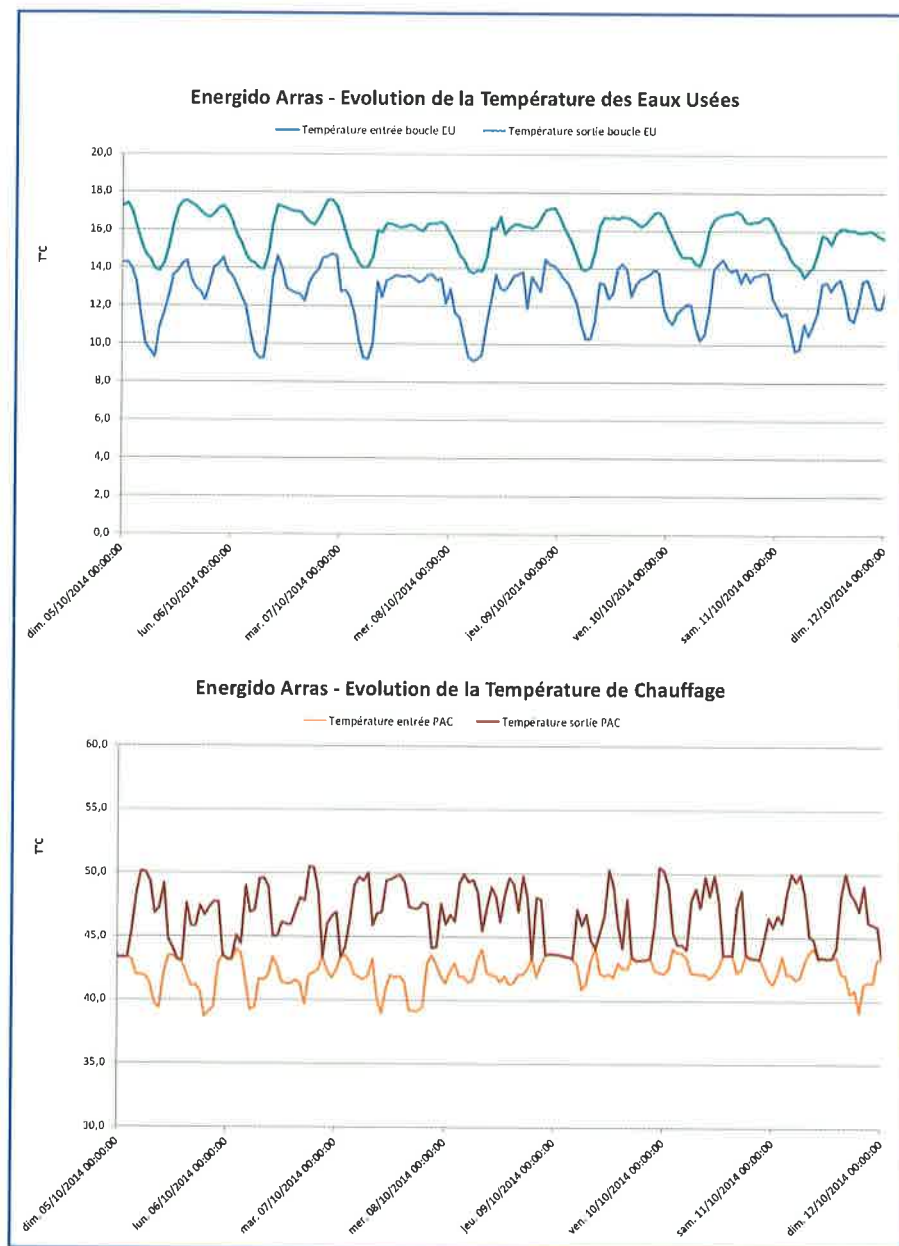


Figure 10: Évolution de la T°C des EU en entrée et sortie de l'échangeur et en entrée et sortie de la PAC.

période, la température en entrée est en moyenne de 15,5 °C et la température de sortie de 12,5 °C. Le ΔT EU moyen est ainsi de 3,3 °C. Sur la même période, la température en entrée du condenseur de la PAC est en moyenne de 42,3 °C et la température de sortie de 46,6 °C. Le ΔT est ainsi de 4,3 °C. Le transfert d'énergie du système permet ainsi de passer d'une température d'eau usée de 15,5 °C à une température de chauffage de 46,6 °C.

Au-delà des performances du système, il est important de pouvoir vérifier et donc de garantir le caractère constant de ses performances dans le temps. Des mesures de pression réalisées en entrée et en sortie de l'échangeur permettent de détecter par différence, les phénomènes d'encrassement ou de bouchage qui pourraient survenir sur l'équipement. La figure 11 montre l'évolution de ces paramètres sur la période utilisée comme référence ci-dessus.

Les courbes suivantes, sont présentées:

- L'évolution du débit d'EU pompé dans la bache du bassin S1 pour les besoins de la récupération ;
- L'évolution du ΔP Échangeur côté EU mesuré sur la période ;
- L'évolution du ΔP Échangeur côté EU théorique sur la période faisant référence aux données du fournisseur avec un échangeur propre.

On constate sur l'ensemble des courbes que:

- Le débit d'eau usée varie entre 20 et 45 m³/h du fait de la plage autorisée sur le

bleue) aux bassins de l'Aquarena de façon régulière comprise entre 120 et 220 kW environ. La moyenne sur la période ressort ainsi à 166 kW. Au total, ce sont 117 MWh qui ont été fournis par le système de récupération d'énergie sur la période (Rappelons que l'objectif annuel est de 1000 MWh);

- La puissance électrique (courbe rouge) moyenne des 2 PAC sur la période s'est située entre 35 et 55 kW électrique. La consommation électrique totale s'établit à 30 MWh;
- Le COP PAC (courbe verte) moyen de l'installation ressort ainsi à 3,84 sur la période. Le COP est resté dans une plage restreinte comprise entre 3,5 et 4,2 environ ce qui traduit un fonctionnement stable de l'installation.

La figure 10 présente, sur une semaine, l'évolution des températures d'entrée et de sortie des différents composants du sys-

tème (échangeur et PAC).

En ce qui concerne l'échangeur, sur la

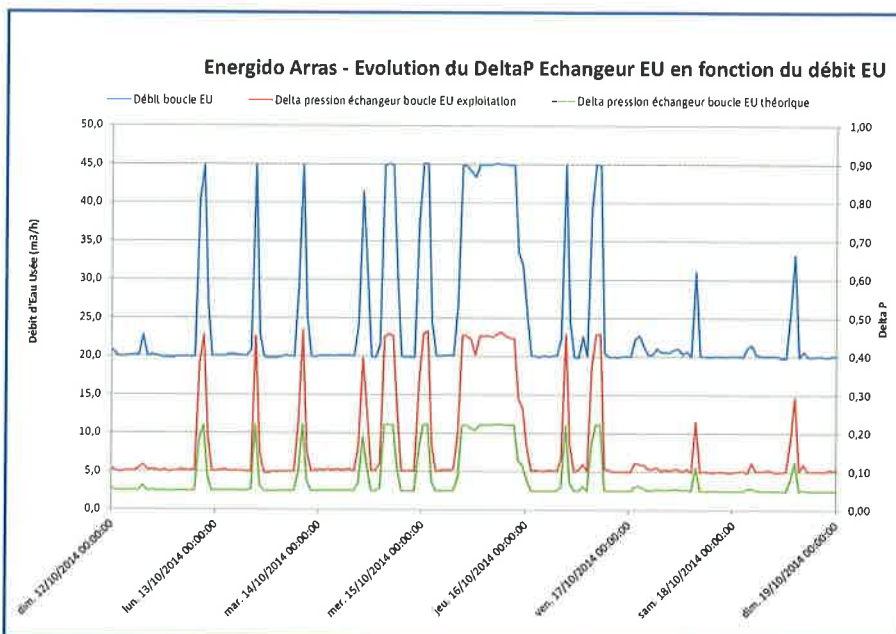


Figure 11: Évolution du débit d'eau usée et différentiel de pression sur l'échangeur.

pompage (régulation principale sur une différence de température sur l'eau glycolée de 3 °C qui va faire varier le débit en l'augmentant ou en le diminuant);

- La différence de pression sur l'eau usée constatée est quasi constante sur l'ensemble de la période: 0,1 bar à 20 m³/h et 0,45 bar à 45 m³/h.

La lecture de ces informations nous permet de conclure qu'il n'y pas de bouchage dû aux eaux usées sur l'échangeur spiralé. Le fait que la différence de pression sur l'eau usée reste cantonnée à des valeurs stables est crucial pour l'exploitation de l'installation. Une évolution de ce différentiel de pression laisserait supposer l'apparition de pertes de charges liées à un début de bouchage.

La figure 12 présente la moyenne horaire journalière des productions thermiques et des consommations électriques sur le mois de janvier 2015, période au cours de laquelle le fonctionnement stabilisé de l'installation est atteint.

Au cours du mois de janvier 2015, une moyenne de 4 072 kWh d'énergie thermique a été produite chaque jour par les PAC sur EU. Pour produire cette énergie, la consommation électrique moyenne globale

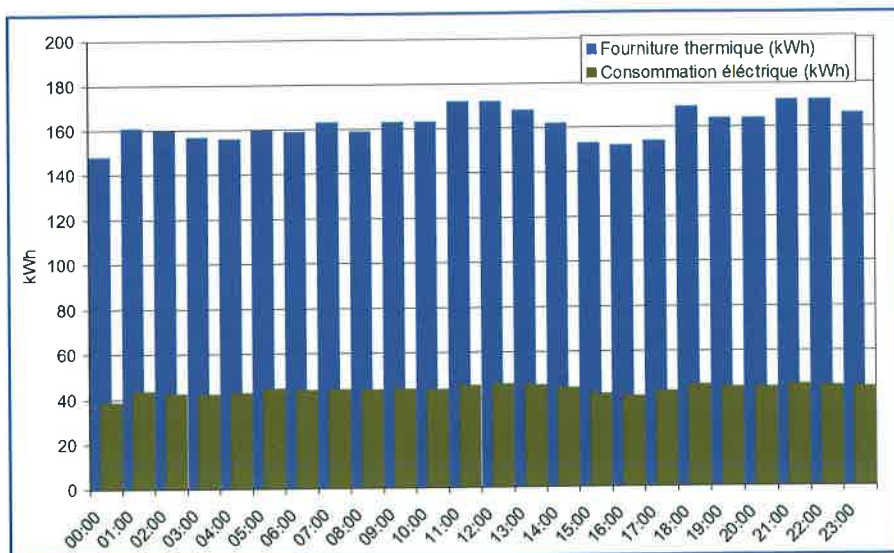


Figure 12: Production thermique et consommation électrique moyennes horaires.

du système (PAC, groupes de pompage, broyeur, circuit et équipements annexes) est de 1 094 kWh journaliers.

Ces deux informations nous permettent de déduire le coefficient de performance globale de l'installation (COP) qui est de 3.7 (conforme à celui établi sur le mois d'octobre 2014). À noter qu'au cours de la journée, les productions d'énergie thermique et les consommations électriques horaires moyennes sont relativement constantes. Le COP est par déduction lui aussi constant.

Les quantités d'énergie fournies sont conformes aux attentes puisqu'en extrapolant les éléments sur une année com-

plète, on aurait une production de l'ordre de 1 090 MWh, valeur légèrement supérieure à celle de la phase projet qui était de 1 018 MWh/an.

La substitution du gaz par l'énergie renouvelable « Eau Usée » permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre liés à la combustion du gaz naturel. Dans le cas d'Aquarena, Energido® va ainsi permettre d'éviter l'émission d'environ 300 t équivalent CO₂ chaque année.

Conclusion

La solution Energido® constitue un moyen efficace de récupération et de valorisation de l'énergie fatale contenue dans les eaux usées. Le choix original de déporter l'échangeur thermique permet de garantir la performance et la stabilité des échanges. La configuration d'un centre aquatique tel qu'Aquarena est très bien adaptée à la mise en œuvre d'Energido® puisque des besoins existent tout au long de l'année, ce qui permet une utilisation optimale des équipements et ainsi d'obtenir un retour sur investissement intéressant d'autant plus que le financement du projet a été réalisé avec l'aide du fonds chaleur ADEME qui a contribué à hauteur de 40 % des investissements sur un montant total de 600 000 euros.

La concomitance sur un périmètre proche d'un gisement d'eau usée et d'un besoin de consommation d'énergie thermique basse température représente une opportunité pour récupérer l'énergie disponible dans les eaux usées.

Dans la mesure où cette configuration se rencontre souvent à l'échelle d'une agglomération, Energido® rentre dans le panel des solutions énergies renouvelables disponibles. ■

Territoires, villes et campagnes face à l'étalement urbain et au changement climatique

Une démarche intégrative pour préserver les sols, l'eau et la production agricole

Les territoires, villes et campagnes font face à des défis majeurs : l'étalement urbain et le changement climatique. Plus de la moitié de la population mondiale vit dans les villes depuis quelques années.

Ce livre propose une démarche intégrative pour protéger les ressources en sols et en eau et la production agricole, qui sont les bases mêmes du développement économique.

Cette démarche consiste à rassembler des données historiques et géographiques sur l'occupation du sol, la qualité des sols et des eaux, l'économie et les règles de droit sur un territoire, et à construire des indicateurs adaptés à la nature des ressources éco-systémiques présentes.

En annexe de l'ouvrage, une description détaillée des méthodes utiles à la construction de ces indicateurs est proposée. Les technologies de l'information et de la communication sont utilisées pour mettre à jour les données, vu la vitesse des changements.

Des scénarios sont enfin bâtis pour évaluer les perspectives de modification de l'occupation du sol, comme outil d'aide à la décision. La démarche est ici très générale et peut être adaptée et exportée.

Cet ouvrage s'adresse aux gestionnaires, financeurs et décideurs publics et privés dans les territoires, aux élus, aux agents des collectivités régionales et municipales, aux chercheurs et enseignants-chercheurs travaillant dans le domaine de l'intégration des informations à l'usage des collectivités locales et de l'ingénierie environnementale, aux ingénieurs des bureaux d'étude, aux étudiants de Master en Environnement, en gestion territoriale...et à tout citoyen intéressé par le développement durable et la préservation des ressources locales.