



Figure 1 ZAC de la Saulaie

Source : <http://www.oullins.fr/territoire-d-avenir/amenagement-de-la-saulaie-381.html>

DEVELOPPEMENT DE LA CLOACOTHERMIE

Réseau de chaleur urbain sur la ZAC de la Saulaie

DERIEUX Alice, DUVIVIER Appoline, GRACEFFA Alice, MAILLOT Valérie RYCKELYNCK Corentin



Table des illustrations

Figure 1 ZAC de la Saulaie	1
Figure 2 Situation géographique	1
Figure 3 Schéma simplifié de fonctionnement de la Cloacothermie	1
Figure 4 Présentation de la ZAC	1
Figure 5 Schéma expliquant besoins et consommations	1
Figure 6 Canalisations sur le Grand Lyon	8
Figure 7 Ecoquartier Centre Sainte-Geneviève	1
Figure 8 Centre aquatique d'Arras	1
Figure 9 Fonctionnement d'une pompe à chaleur.....	11
Figure 10 Fonctionnement de la boucle tempérée.....	1
Figure 11 Principe de l'échangeur thermique.....	1
Figure 12 Différents type d'échangeurs	13
Figure 13 Système de raccordement degrés bleu.....	14
Figure 14 Principe de fonctionnement de la technologie Thermowatt.....	1
Figure 15 Réseau de chaleur proposé	15
Figure 16 Ecart entre la production et la consommation totale d'énergie.....	1
Figure 17 Mix énergétique sur les phases 1 et 2.....	1
Figure 18 Mix énergétique sur la ZAC	1

Table des matières

INTRODUCTION	2
a- Situation géographique et présentation du projet	2
b- La cloacothermie : définition et fonctionnement.....	4
I. Besoins énergétiques et ressources en eaux usées disponibles	5
a- Phasage du projet.....	5
b- Besoins énergétiques en Chauffage, Refroidissement et en ECS de la ZAC Saulaie.....	6
c- Ressources énergétiques en eaux usées.....	7
II. Aspect technique	9
a- Retours d'expériences	9
b- Pompes à chaleur.....	10
c- Les échangeurs thermiques	13
III. Développement de la Cloacothermie	16
a- Développement d'un réseau de Chaleur uniquement.....	16
b- Développement de l'eau chaude sanitaire (ECS)	17
c- Développement d'un réseau de froid	17
d- Etude d'un moyen de production de chaleur complémentaire.....	18
CONCLUSION	21
BIBLIOGRAPHIE	22

INTRODUCTION

a- Situation géographique et présentation du projet

Le quartier de la Saulaie est une ancienne Zone Industrielle de la métropole lyonnaise. Idéalement située à proximité de la Confluence et de multiples projets urbains, sa disposition en fait un territoire avec un fort potentiel en termes d'urbanisation.

En effet, le quartier auquel nous nous intéressons est situé proche de deux lignes de Tramway qui desservent Lyon dans un axe Sud-ouest Nord-est comprenant des points d'intérêt majeur, comme la gare de Perrache, le Vallon des Hôpitaux, la Part Dieu ou le Campus de la Doua. Ainsi, vivre dans ce quartier permettrait d'avoir un accès rapide, facile, et sans utilisation de voitures, aux points essentiels de la vie lyonnaise. Il représente donc une zone stratégique de développement urbain pour le Grand Lyon.

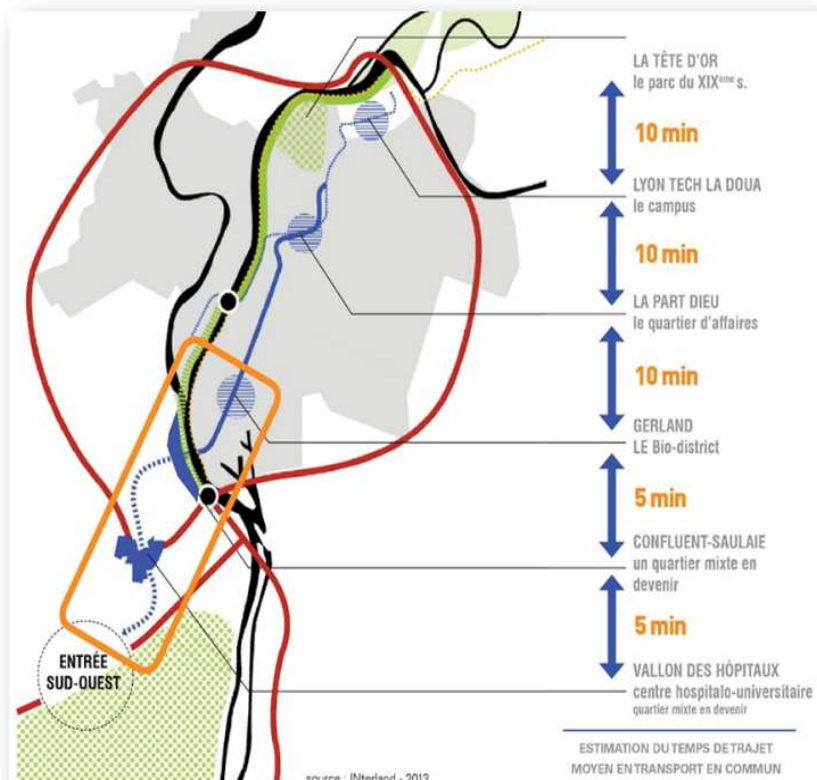


Figure 2 Situation géographique

C'est pour ces raisons que la Métropole a lancé un projet de rénovation de cette ancienne zone industrielle, avec pour objectif d'en faire un quartier vert, soit le plus respectueux possible de l'environnement, et le moins énergivore possible. Dans le cadre de la transition énergétique, les volontés de construire des quartiers durables, économiquement viables et ouverts socialement deviennent fréquentes et fortes. Alors notre première problématique ici est de trouver dans quelle mesure et par quels moyens nous pourrions améliorer les performances énergétiques du quartier en cours de rénovation. Nous allons ici nous intéresser plus particulièrement à une solution technique appelée la cloacothermie.

b- La cloacothermie : définition et fonctionnement

Il existe plusieurs situations dans notre fonctionnement énergétique actuel dans lesquelles de l'énergie est perdue sous forme de chaleur, et n'est pas réutilisée ensuite, engendrant des pertes. On qualifie cette énergie perdue d'énergie fatale. Si les cas les plus connus sont plutôt ceux de la réutilisation de la chaleur émise par les Data Centers, nous nous intéressons ici à un autre système qui émet de la chaleur de manière constante au cours de l'année, et dont il pourrait être intéressant de tirer profit : les eaux usées.

La cloacothermie est un terme qui désigne la récupération d'énergie fatale perdue par les eaux usées dans un réseau de chaleur urbain via l'utilisation de pompes à chaleur. Si l'idée d'utiliser les eaux usées peut dans un premier temps répugner, il est important de bien comprendre que les eaux usées ne servent qu'à chauffer les ECS et le système de chauffage, mais qu'elles ne sont pas impliquées directement dans le réseau de chaleur. Le réseau de chaleur est ainsi construit de telle façon que des pompes à chaleurs alimentent un réseau de chaleur via l'énergie perdue par l'eau. Le réseau passe ensuite sous la ville et dans les bâtiments pour en assurer le chauffage, comme l'illustre ce schéma simplifié du fonctionnement de la cloacothermie.

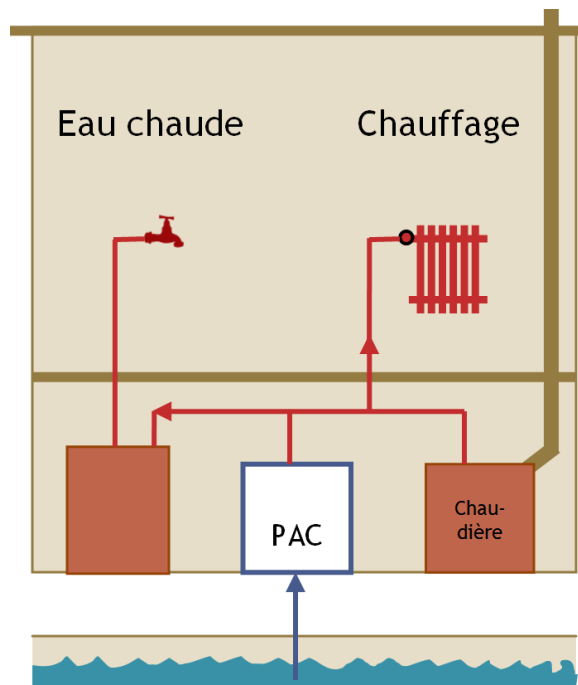


Figure 3 Schéma simplifié de fonctionnement de la Cloacothermie

Source : Site eduscol

L'étude préalable menée sur les différents moyens de récupérer durablement de l'énergie indique un fort potentiel cloacothermique au niveau du quartier de la Saulaie. De ce fait, nous nous sommes intéressés aux différentes options et solutions techniques liées à la cloacothermie au niveau de ce quartier, afin de déterminer si les options envisageables étaient suffisamment rentables énergétiquement pour être viables à l'échelle d'un grand projet urbain. Nous allons donc vous présenter le potentiel cloacothermique du quartier plus en détail, le fonctionnement technique d'un réseau de chaleur urbain cloacothermique, et les différentes options que nous avons étudiées dans le cadre de ce projet urbain.

I. Besoins énergétiques et ressources en eaux usées disponibles

a- Phasage du projet

Pour pouvoir déterminer les besoins énergétiques de la ZAC Saulaie, il est important d'étudier le phasage de cette opération d'aménagement. En effet, en fonction des types d'activité construites pendant chaque phase et de leur surface, le besoin énergétique sera différent. Le projet de la ZAC de Saulaie se sépare en quatre phases :

La première phase se construira entre 2021 et 2025 sur les anciennes friches SNCF. Elle comprendra 500 logements, ce qui correspond à 31 890 m² sdp (surface de plancher), 20 250 m² sdp de tertiaire, un parc urbain de 2 hectares et un DOJO, un groupe scolaire et un centre technique municipal.

La seconde phase se déroulera entre 2025 et 2030, elle comprendra 150 logements c'est-à-dire 11 313 m² sdp, 31 250 m² sdp de tertiaire, un gymnase, un parking relais et une gare routière.

Les phases 3 et 4, projet à plus long terme, se construiront après 2030 dans le cadre du projet d'anneau des sciences. Elles comprendront 50 logements sur 3 250 m² sdp et 8 500 m² sdp de tertiaire un parc d'activité de 6,4 hectares et un dépôt TCL.

Finalement, il y aura une réhabilitation des îlots déjà présents en continu entre 2021 et 2030 avec 130 logements de 9 750 m² sdp et 13 500 m² sdp de tertiaire.

Il semble ensuite important d'observer plus précisément la répartition géographique de ces différentes phases. Voici une carte donnant leur disposition.

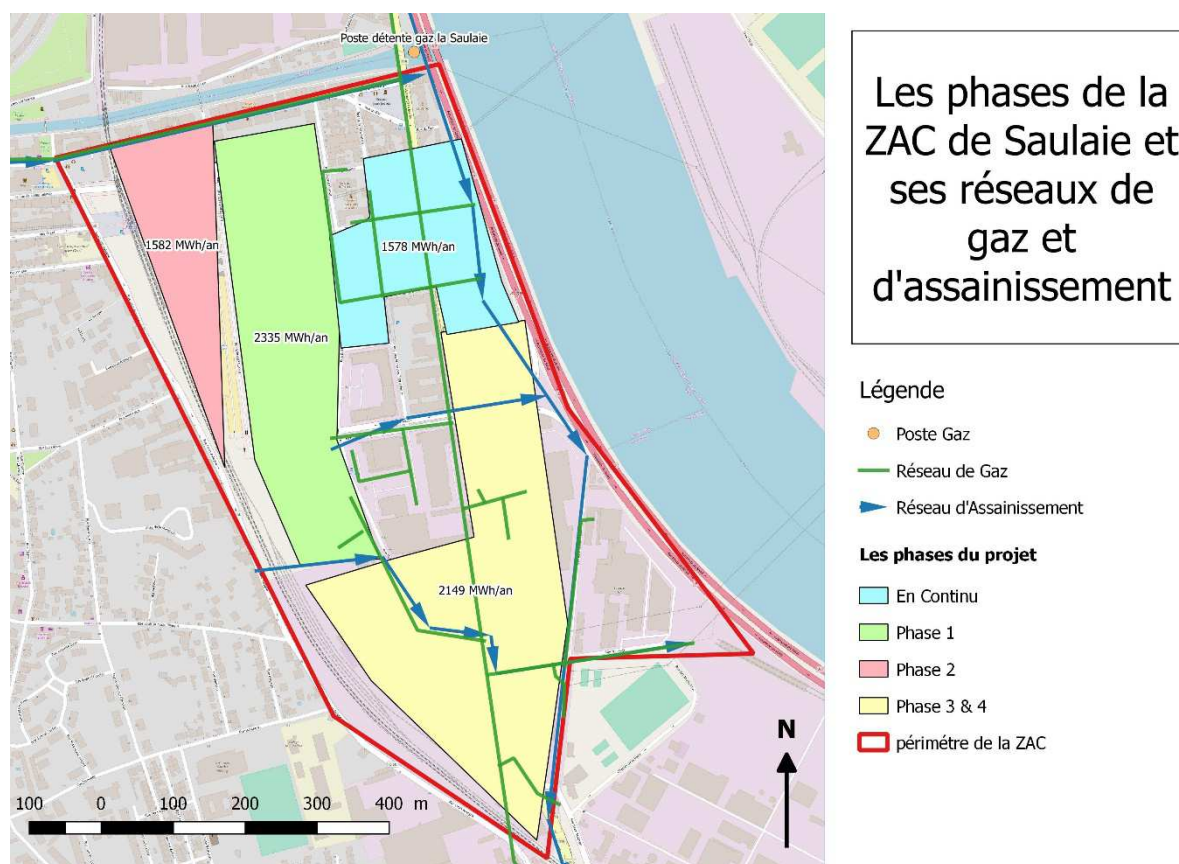


Figure 4 Présentation de la ZAC

b- Besoins énergétiques en Chauffage, en Refroidissement et en ECS de la ZAC Saulaie

Avant de savoir quelle quantité d'énergie est disponible par le biais de l'exploitation de la chaleur des eaux usées, il est important de déterminer les besoins énergétiques de la ZAC Saulaie pour les postes de consommation que sont le chauffage, le refroidissement et l'Eau Chaude Sanitaire.

Nous nous sommes basés sur les besoins énergétiques estimés par l'Etude de faisabilité Energies Renouvelables Zac de la Saulaie, étude faite pour la Métropole du Grand Lyon en Juin 2017.

Dans cette étude, les besoins énergétiques estimés sont les « besoins énergétiques utiles en sortie d'émission » qui correspondent à la quantité d'énergie émise, dans le cas du chauffage par exemple, par le radiateur. Généralement, les besoins sont assimilés à la quantité de chaleur en sortie de générateur (chaudière, PAC, station de chauffage) mais cette manière de définir les besoins ne rend pas compte des écarts de rendements entre installations collectives et individuelles. Dans le cadre de l'étude d'une ZAC, ces écarts doivent être pris en compte, ce qui explique ici la définition des besoins par les besoins en énergie utile en sortie d'émission.

Voici un schéma expliquant ce que sont les « besoins énergétiques utiles en sortie d'émission »

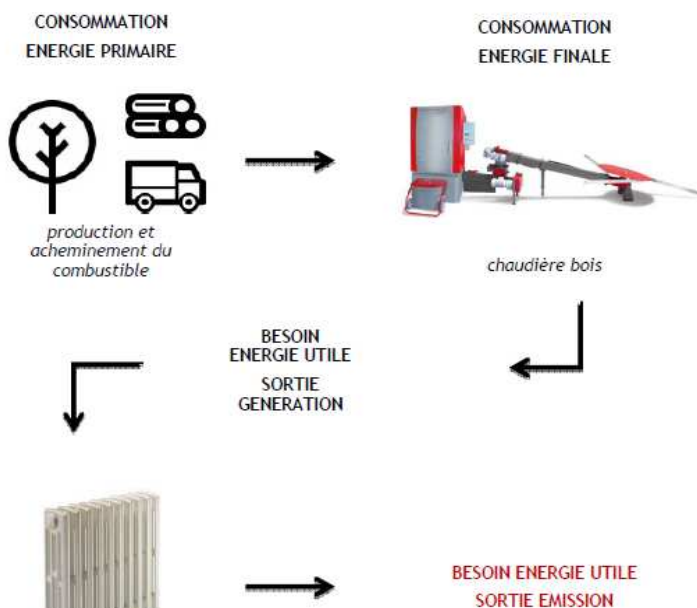


Figure 5 Schéma expliquant besoins et consommations, Etude de faisabilité Energies Renouvelables de la ZAC Saulaie

Nous avons décidé de nous concentrer sur les postes de consommation énergétique que sont le chauffage, l'ECS et le rafraîchissement car nous savons que ce sont les principaux postes de consommation auxquels la cloacothermie peut répondre.

Dans cette étude, le choix a été fait de négliger les besoins énergétiques du bâti existant, car ce bâti est très peu susceptible d'être raccordé à un nouveau système énergétique.

Les besoins des bâtiments neufs ont été calculés à partir de ratios surfaciques, qui varient en

fonction de l'activité future du bâtiment (Tertiaires, Habitat collectif, Equipement, Activité), du poste de consommation (chauffage, ECS, rafraîchissement, éclairage, auxiliaires et électricité spécifique), et de la phase concernée. En effet, en fonction de la période de réalisation de chaque phase, les performances énergétiques des bâtiments seront différentes, car les réglementations énergétiques seront également différentes.

Par exemple, voici les ratios de besoins pour la phase 1 pour les trois postes qui nous intéressent.

	Ratios surfaciques de besoins énergétiques de la phase 1				
	chauffage		ECS	rafraîchissement	
	kWh/m ²	W /m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	W /m ²
Activité	18	25	2	10	60
Equipement	18	30	2	10	60
Habitat collectif	24	25	23	0	0
Tertiaires		18 25	2	15	60

Tableau 1 ratios de besoins pour la phase 1 , Etude de faisabilité Energies Reouvelables de la ZAC Saulaie

A partir de ces ratios et des surfaces des différentes phases, l'étude de faisabilité détermine les besoins énergétiques. Il est intéressant d'étudier le besoin énergétique de chaque phase pour proposer un phasage chronologique de la création du réseau de chaleur urbain. Voici donc ci-dessous le tableau des besoins en fonction des phases.

	Besoins énergétiques sortie émissions en MWh/an			
	Chauffage	ECS	Rafraîchissement	Total (MWh/an)
Phase 1	1206	782	347	2335
Phase 2	773	325	484	1582
Phase 3-4	1157	221	771	2149
Secteur diffus	1125	251	202	1578
Total (MWh/an)	4261	1579	1804	7644

Tableau 2 Etude des besoins

De plus, selon l'étude de faisabilité, les phases 1 et 2, qui ont des usages de même type et dont les secteurs sont proches, sont propices à la création d'un réseau de chaleur et de froid. En effet, pour ces deux phases, les besoins en chaud sont de 1979 MWh/an, les besoins en rafraîchissement de 831 MWh/an et les besoins en ECS sont de 1107 MWh/an, ce qui représente un besoin total de 3 917 MWh/an pour ces trois postes de consommation. Ils sont donc suffisants pour justifier la création d'un réseau propre au secteur de ces deux phases. Ce réseau aurait une densité de chaleur comprise entre 1.5 et 2.5 MWh/ml.an.

De plus, les secteurs en requalification ne sont pas idéaux pour établir un réseau de chaleur. En ce qui concerne les phases 3 et 4, elles sont éloignées dans le temps et dans l'espace et nous avons donc choisi de ne pas travailler sur ces phases. Nous avons donc fait le choix de privilégier les secteurs des phases 1 et 2 pour la construction du réseau de chaleur et de froid. Il reste néanmoins la possibilité d'étudier au cas par cas les bâtiments du secteur en continu et de proposer aux propriétaires de se raccorder au réseau de chaleur car, au vu de la position des canalisations existantes d'eaux usées, les canalisations du futur réseau de chaleur passeront forcément par le secteur en continu.

c- Ressources énergétiques en eaux usées.

Il est ensuite important de s'intéresser à la ressource énergétique en eaux usées sur le territoire. Sur cette carte apparaissent les grandes canalisations d'eaux usées de la métropole

de Lyon et les stations d'épuration. Plus une canalisation est proche d'une station d'épuration, plus il y a d'eaux usées qui la traversent.

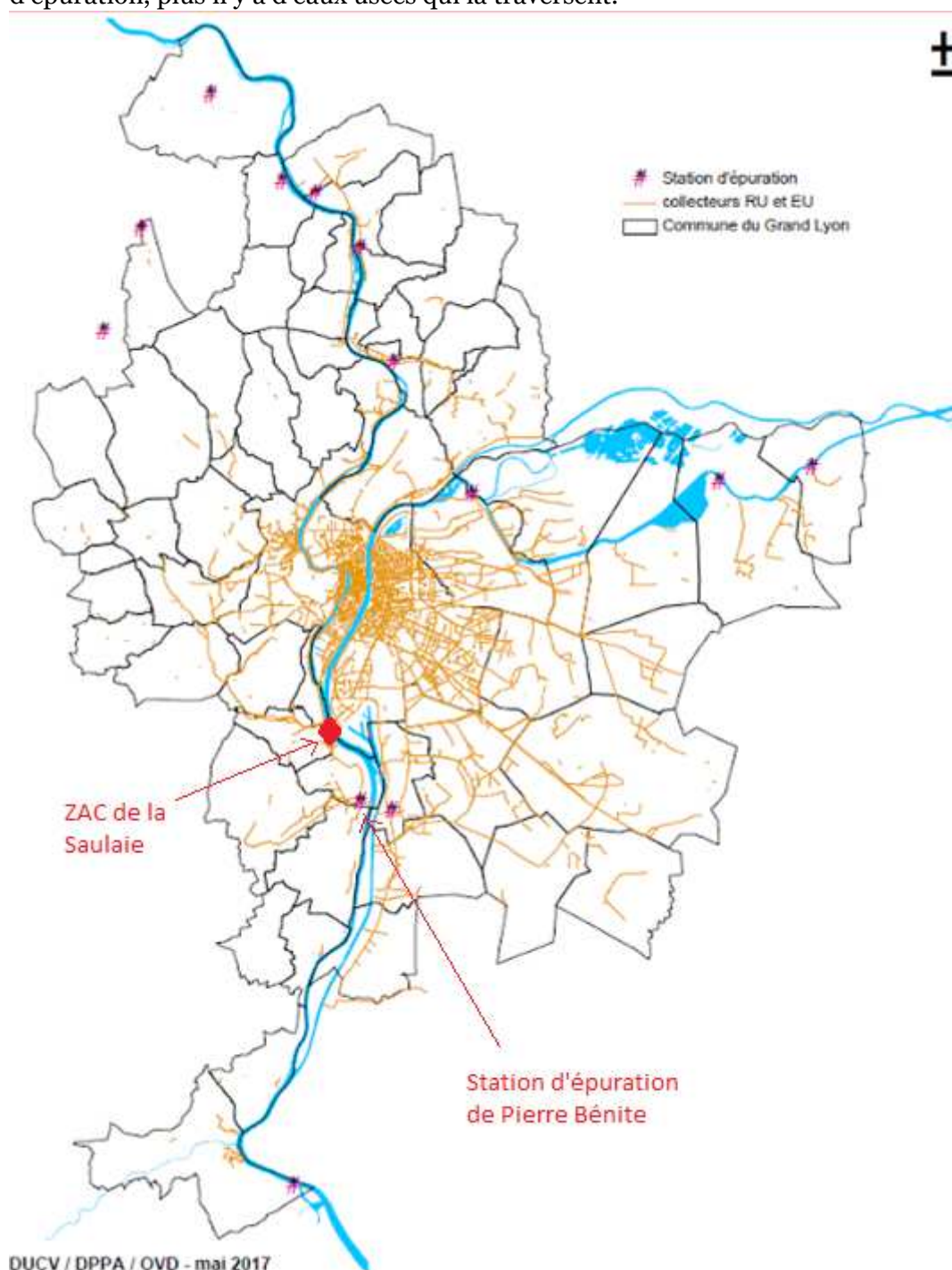


Figure 6 Canalisations sur le Grand Lyon

On observe donc que la ZAC de la Saulaie se trouve toute proche de la station d'épuration de Pierre Bénite et qu'une canalisation traverse le territoire de la ZAC avant de conduire à la STEP Pierre Bénite. On comprend aussi que toutes les eaux du sud-ouest de la métropole passent par cette canalisation. La ressource en eaux usées est donc importante au niveau de la ZAC. Comme l'apport en eaux usées de la ZAC et de la partie en aval de la ZAC est négligeable par rapport à l'apport d'eaux usées provenant des parties en amont de la ZAC, on a décidé, pour pouvoir déterminer la ressource en eaux usées disponible au niveau de la ZAC, de considérer que les volumes d'eaux usées disponibles au niveau de la ZAC sont identiques à ceux traités à la STEP Pierre-Bénite.

A partir du tableau Excel donnant le volume d'eaux usées traitées chaque jour à la Station d'Épuration (STEP) Pierre-Bénite pendant l'année 2016 et donnant la température de ces eaux, nous avons pu calculer le débit moyen et le débit minimal d'eaux usées entrant dans la STEP Pierre-Bénite ainsi que la température minimale de ces eaux usées.

Nous avons trouvé les valeurs suivantes :

Débit minimal STEP Pierre Bénite	1021 l/s	88 200 m3/jour
Débit moyen STEP Pierre Bénite	1594 l/s	137 712 m3/jour
Température minimale	12.7 °C	
Température moyenne	17.7 °C	

Tableau 3 Caractéristiques des eaux usées

D'après l'étude de faisabilité, ces ressources disponibles correspondraient à environ 6 GWh/an d'énergie prélevable. Ainsi, elles permettraient de couvrir la totalité des besoins annuels en chauffage, en froid et en ECS, qui sont, comme indiqué précédemment, de 3.9 GWh/an.

Bien sûr, il faut prendre en considération la variation mensuelle des besoins en chaleur et en froid pour savoir si l'utilisation des eaux usées peut suffire à répondre aux besoins en chaud, en froid et en ECS pour chaque mois de l'année.

II. Aspect technique

a- Retours d'expériences

La cloacothermie est utilisée dans différents endroits dans le monde, en voici trois exemples réalisés en France.



Figure 7 écoquartier Centre Sainte-Geneviève

Source :

<https://www.pinterest.fr/pin/412853490826472909/>

en service en même temps.

D'abord, à Nanterre, en 2009 est imaginée la solution d'un réseau de chaleur alimenté par les eaux usées, la géothermie et une chaudière à gaz condensation en complément pour le projet d'éco-quartier de Centre Sainte-Geneviève. Ce réseau alimente un quartier de 5 hectares qui comprend 650 logements neufs, 1 000 m² de commerces et un groupe scolaire, il est implanté sur la ZAC Centre Sainte-Geneviève aménagée par la SEM

d'aménagement de la Ville de Nanterre (SEMNA) sur une ancienne friche industrielle de 5 hectares. Les premiers logements ont été livrés en 2011 et le réseau de chaleur a été mis

Ensuite, à Arras depuis 2014, le centre aquatique est chauffé par les eaux usées de la communauté urbaine. Ce système, appelé Energido, couvre 75% du besoin annuel en gaz du complexe



Figure 8 Centre aquatique d'Arras

Source : <https://www.chtizz.fr/aquarena-piscine-arras>

Aquarena de 4000 m² ; pour cela il délivre une puissance de 1000 MWh par an. La réduction des émissions de gaz à effet de serre est estimée à 60%. Ce projet a duré moins d'un an et a été gratuit pour la communauté urbaine d'Arras. Il a coûté 600.000 euros : 40% ont été financés par le fond chaleur de l'Ademe et le reste par le délégataire Veolia qui a installé le système. Ce centre a été choisi car le bassin de stockage de 20 000 m³ est situé à quelques centaines de mètres.

À l'intérieur se trouve le système Energido composé de pompes qui permettent de dériver une partie du flux d'eaux usées. Celles-ci sont broyées et acheminées vers un échangeur à l'intérieur duquel sont échangées les calories entre l'eau et un fluide caloporteur : de l'eau glycolée. L'énergie provient des eaux usées des habitations, mais aussi de l'activité biologique naturelle (processus exothermique) de dégradation des matières organiques en suspension par des bactéries. L'eau glycolée est ensuite transférée en souterrain jusqu'au centre aquatique où des pompes à chaleur récupèrent l'énergie et la transfèrent vers le système de chauffe des bassins aquatiques.

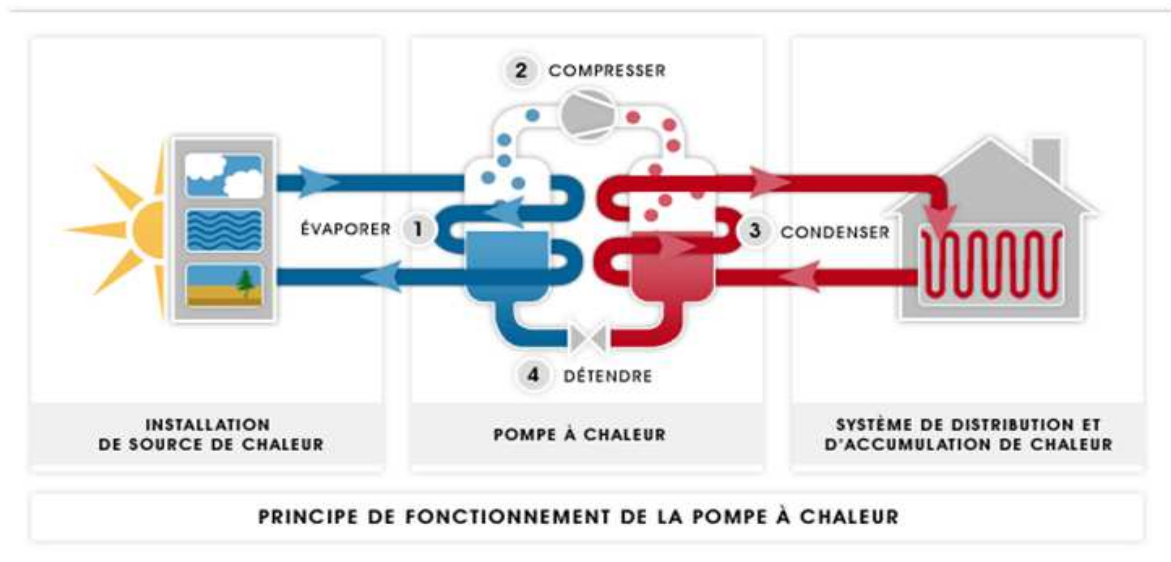
Enfin, à la Seyne-sur-Mer, 54 000 m² de tertiaires et de logements sont chauffés grâce à la récupération de l'eau de mer et à une pompe à chaleur réversible avec rendement élevé eau/eau. Ce système s'appelle la boucle tempérée, il permet à partir d'eau froide et de pompes à chaleur, d'obtenir du chaud et/ou du froid (l'aspect technique est expliqué plus précisément dans la suite du rapport). Ce réseau de chaleur a été mis en place en 2009 et délivre une puissance d'énergie thermique de 4800kW. Ce système utilise une énergie gratuite et renouvelable, il est donc respectueux de l'environnement, de plus l'investissement dans un tel projet est amortissable à long terme, avec par exemple une économie s'élevant à 422 € TTC/an pour un logement de 80 m².

Ainsi la cloacothermie est déjà utilisée dans différents endroits, ce qui nous permet de savoir que le projet est réalisable sur le plan technique. Pour l'aspect technique de la cloacothermie, deux choses sont indispensables : les pompes à chaleurs et les échangeurs, nous allons donc vous présenter les choix que nous avons fait.

b- Pompes à chaleur

Qu'est-ce qu'une pompe à chaleur (PAC) ?

La pompe à chaleur sert soit à réchauffer une source froide (bâtiments l'hiver) en refroidissant une source chaude (eaux usées), soit à refroidir une source chaude (bâtiments l'été) en réchauffant une source froide (eaux usées). Et fonctionne suivant le principe expliqué sur le schéma ci-dessous :



Source: <http://www.iso-france-fenêtres-energies.fr/iffe.nsf/pages/pompes-a-chaaleur/>

Figure 9 Fonctionnement d'une pompe à chaleur

1. l'**évaporateur** (source froide) : la chaleur est prélevée au fluide secondaire pour vaporiser le fluide frigorigène.
2. le **compresseur** : actionné par un moteur électrique, il augmente la pression et la température du fluide frigorigène gazeux en le comprimant.
3. le **condenseur** (source chaude) : le fluide frigorigène libère sa chaleur au fluide secondaire en passant de l'état gazeux à l'état liquide.
4. le **détendeur** : il diminue la pression du fluide frigorigène liquide.

Il existe différents types de PAC :

- **La détente directe :**

Elle se compose d'un seul circuit, le circuit de captage joue alors le rôle d'évaporateur et le circuit de chauffage celui de condenseur. Ce type de PAC ne nous intéresse pas car nous voulons des circuits séparés pour le captage, la pompe à chaleur et le chauffage.

- **Les systèmes indirects :**

Dans ces systèmes, la PAC possède un circuit séparé pour le captage, la pompe à chaleur et le chauffage. Nous en détaillerons deux types.

- **La PAC à eau glycolée-eau :**

Le fluide frigorigène utilisé dans la PAC est de l'eau glycolée, ce qui correspond à de l'eau mélangée à du glycol, ceci permet à l'eau de ne pas geler dans les canalisations. Et le fluide frigorigène utilisé dans les canalisations est de l'eau. Cependant, nous n'avons pas retenu ce type de PAC car il nécessite un échangeur supplémentaire entre l'eau glycolée et l'eau.

- **La PAC eau glycolée :**

Ici, le fluide frigorigène et le fluide circulant dans les canalisations est de l'eau glycolée, donc nous n'avons pas besoin d'échangeur supplémentaire. C'est ce type de PAC que nous avons choisi pour le projet.

La technique que nous avons retenue est la boucle tempérée. C'est une distribution d'eau basse température vers les sous-stations des bâtiments raccordés, alimentée par la récupération de chaleur sur réseaux d'eaux usées. Ce système fonctionne comme indiqué sur le schéma ci-dessous.

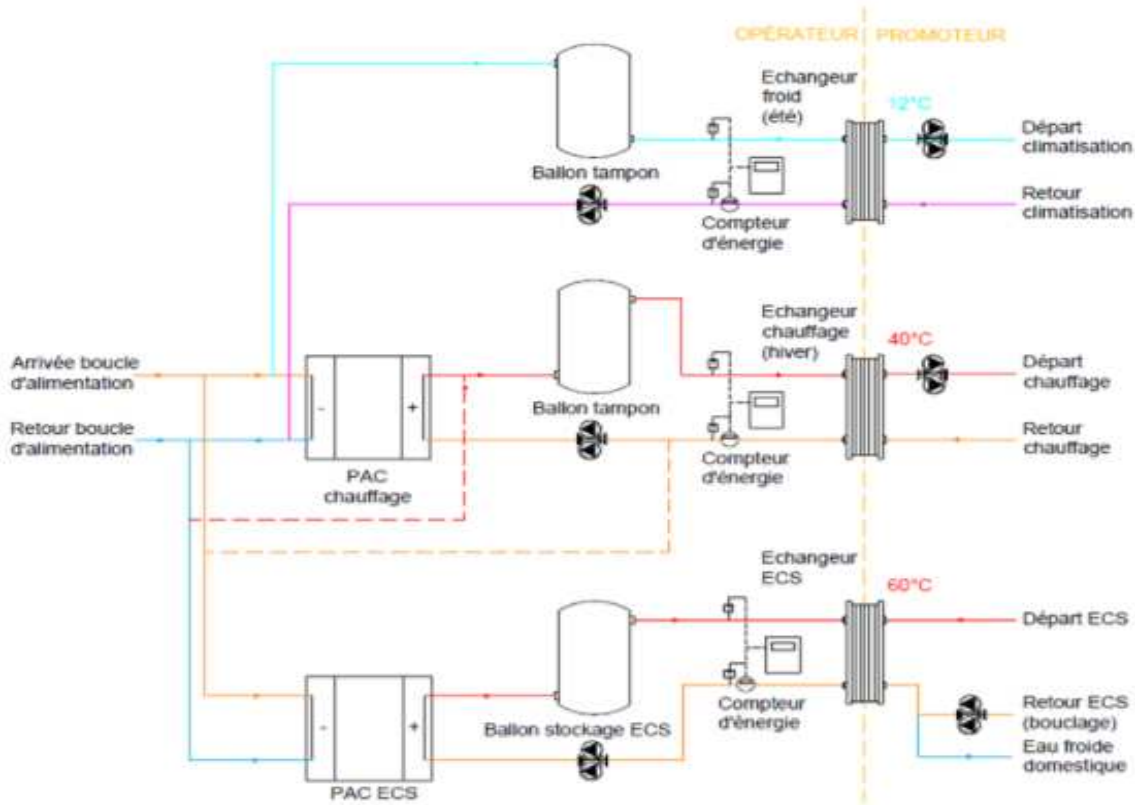


Figure 10 Fonctionnement de la boucle tempérée

De l'eau aux alentours de 15°C circule dans les canalisations. Cette eau est ensuite distribuée dans trois réseaux différents :

- Un premier réseau qui sert pour la climatisation, l'eau n'a alors pas besoin de passer par une PAC mais seulement par un échangeur car elle est directement utilisée à 15°C.
- Un deuxième réseau sert pour le chauffage. L'eau passe dans une PAC pour élever sa température jusqu'à 40°C, puis dans un échangeur.
- Un troisième réseau sert pour l'eau chaude sanitaire. L'eau passe également dans une PAC pour s'élever cette fois à 60°C, puis elle passe par un échangeur.

Deux PAC par bâtiment sont nécessaires et la mise en œuvre peut s'effectuer lors du phasage de la ZAC. La performance énergétique d'un tel système approche des 100% alors que celle d'un réseau de chaleur est d'environ 85%. En effet, la mise en place d'une production décentralisée avec une PAC dans chaque bâtiment permet une régulation plus efficace de la température de production des PAC car la température de production est adaptée à chaque bâtiment. Ce système présente également un avantage au niveau de l'investissement. En effet, la boucle d'eau tempérée transporte de l'eau froide, les pertes thermiques de ce type de réseau sont donc négligeables. Ainsi l'isolation d'une boucle d'eau tempérée n'est pas nécessaire, ce qui permet de s'affranchir de l'investissement que représente le calorifuge par rapport à un réseau de chaleur urbain.

c- Les échangeurs thermiques

Après avoir présenté le fonctionnement des pompes à chaleur, nous nous concentrons désormais sur le principe des échangeurs thermiques et sur les différentes technologies d'échangeurs qui peuvent être installées sur la ZAC de La Saulaie.

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide (le fluide caloporteur) vers un autre (le fluide calo porté) sans mélanger les fluides. En effet, les deux fluides sont séparés par une paroi très conductrice (cuivre, aluminium, inox, acier). L'écart de température entre les deux fluides permettra le transfert de chaleur, la chaleur allant toujours du plus chaud vers le plus froid. De ce fait, au niveau de l'échangeur, le premier fluide entre chaud et ressort refroidi, tandis que le second fluide entre froid et ressort plus chaud.

Dans notre cas, les eaux usées constituent le fluide caloporteur tandis que les eaux du réseau de chaleur urbain constituent le fluide calo porté.

Voici ci-dessous un schéma explicitant le principe de l'échangeur thermique

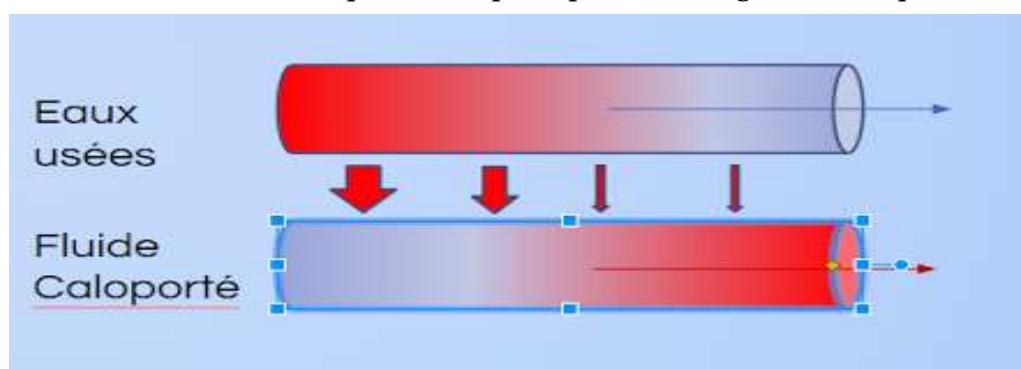


Figure 11 principe de l'échangeur thermique

Il existe différents systèmes d'échangeurs thermiques pour la cloacothermie : le système Saunier et associé, le système Frank, le système Degrés bleus et enfin le système ThermoWatt. Les deux premiers présentent un désavantage important, ils ne sont installables que sur des canalisations neuves, ce qui impliquerait de modifier toutes les canalisations présentes sur la ZAC. Ainsi, nous excluons la possibilité d'utiliser ces systèmes. Nous étudions donc plus en détail les systèmes Degrés bleus et ThermoWatt.



Figure 12 Différents type d'échangeurs

Le système Degrés bleus nécessite une température minimum de l'eau de 10 °C, ce qui est le cas car nous avons une température toujours supérieure à 12°C. Il faut aussi assurer un débit d'au moins 43.2 m³ par heure or ici on a un débit minimum de 3675 m³/h ce qui est donc suffisant. Enfin, la taille des canalisations sur la ZAC est supérieure à 80 cm en diamètre, le système peut donc être utilisé, étant donné qu'il s'adapte à toutes formes de section sur collecteur.

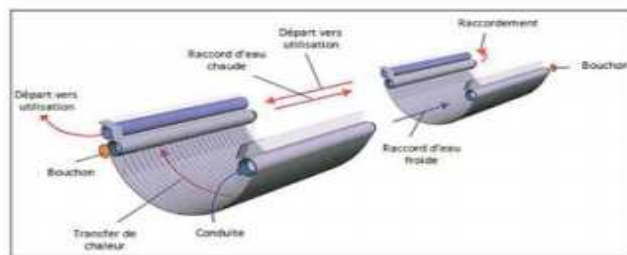


Figure 13 Système de raccordement degrés bleus

Cependant le système Degrés bleus présente un problème important : le passage des eaux usées entraîne la création d'un biofilm sur l'échangeur. La présence de ce biofilm sur l'échangeur Degrés bleus se traduit par une augmentation du pincement de l'échangeur, et une baisse du transfert thermique entre les eaux usées et le fluide caloporteur. Dans ce dernier cas, il faut alors nettoyer les échangeurs. Cela nécessite un entretien important, et cela signifie une augmentation du coût d'exploitation supplémentaire et la mobilisation de moyens humains. Pour cette raison, ce système ne nous paraît pas opportun pour la ZAC.

Nous avons donc choisi la technologie ThermoWatt car elle nous a été conseillée par des professionnels. Cette technologie est brevetée depuis 2010, elle est née d'une entreprise hongroise et s'est développée en France en partenariat avec Enerlis. Le système ThermoWatt s'appuie sur son échangeur qui transfère de la chaleur des eaux usées vers les pompes à chaleur. L'échangeur de chaleur fait la particularité de la technologie Thermowatt, en effet, il ne connaît pas de limite de puissance contrairement aux autres systèmes qui ne peuvent dépasser 1 MW. L'avantage principal de ce système est le passage en amont des eaux usées dans un filtre. Ceci permet une gestion simple du réseau : les tuyaux ne sont pas obstrués. Enfin, l'accès aux canalisations est simple, ce qui est important pour l'exploitant.

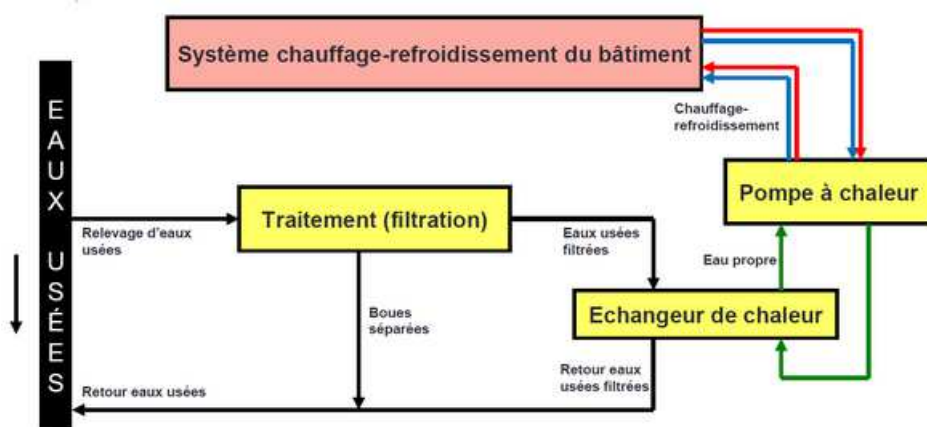


Figure 14 Principe de fonctionnement de la technologie ThermoWatt

Ce système a déjà fait ses preuves dans 6 installations en Hongrie. Il doit être installé sur des zones de 250 logements pour avoir assez de chaleur d'eaux usées à récupérer. Les deux phases concernées par le projet possèdent 500 et 150 logements, soient 650, ce qui est suffisant. En ce qui concerne le budget, un retour sur investissement est perçu entre 3 et 7 ans après installation. Dès la première année, les économies sur la facture énergétique globale du bâtiment se situent entre 20 et 30 %.

d- Tracé de la boucle

Il semble alors nécessaire de tracer le chemin que prendra la boucle. Pour cela, nous nous sommes attachés à respecter les voies de circulation. En effet, ce sont sous les routes que sont installés habituellement les différents réseaux. Nous avons ensuite choisi de faire une boucle qui part de l'échangeur principal, au niveau de la conduite d'eaux usées importante, puis qui traverse le secteur de la phase en continue directement puisque qu'elle n'est pas desservie par le réseau de chaleur et enfin qui entre dans les phases 1 et 2.

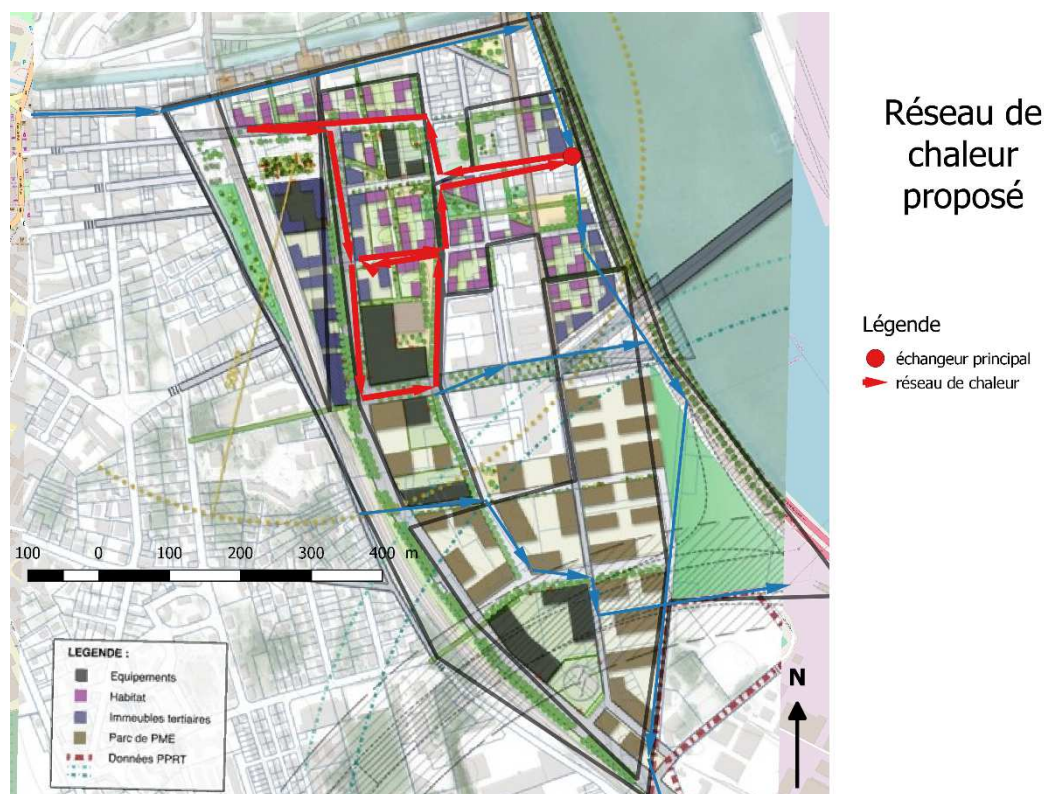


Figure 15 Réseau de chaleur proposé

La boucle choisie passe ainsi aux abords de chaque bâtiment des phases 1 et 2 tout en évitant au maximum un trajet trop long. En effet, ce sont les canalisations qui coûtent cher et qu'on souhaite limiter. C'est aussi dans cette optique que nous proposons de mettre en place toute la boucle en début de phase 1.

Le réseau de chaleur doit constituer une véritable boucle. Cela peut poser problème puisque nous nous intéressons ici à un projet en deux phases, c'est-à-dire avec deux temporalités. Nous souhaitons en effet que les futurs habitants du secteur de la phase 1 soient pourvus en chauffage et cela avant la fin de la réalisation de la phase 2. Ainsi on pourrait constituer une boucle qui ne relirait que la phase 1 dans un premier temps puis un anneau supplémentaire qui relierait la phase 2 dans un deuxième temps. Cette solution n'a pas été

retenue puisqu'elle implique un morceau de boucle qui ne serait utile que durant la phase 1 du projet. Ainsi, nous proposons de construire une seule boucle, qui dessert à la fois les phases 1 et 2 et cela à temps pour subvenir aux besoins de la phase 1.

Cette solution comporte néanmoins des limites que nous n'avons pu résoudre. Tout d'abord, il y aura une période (durant la construction de la phase 2) pendant laquelle le réseau sera sous-exploité. Le coût des canalisations sur la partie phase 2 ne commencera pas à être amorti immédiatement. Finalement, il faudra mettre en place un planning de travaux particulier : les réseaux et les voiries de la phase 2 devront être réalisés très en amont de la construction des bâtiments.

III. Développement de la Cloacothermie

Pour développer la cloacothermie sur le site de la ZAC de Saulaie, il existe plusieurs scénarii possibles que nous allons présenter et tester afin d'optimiser l'utilisation de la ressource en eaux usées sur la ZAC de Saulaie. Afin de profiter de la ressource et de respecter le phasage opérationnel, nous nous intéresserons uniquement aux développements sur les phases 1 et 2.

a- Développement d'un réseau de Chaleur uniquement.

L'étude des besoins et des ressources sur la ZAC montre qu'il faudrait une puissance totale en chauffage annuel de 1979 MWh. Cependant, la consommation n'est pas la même toute l'année, en effet, la consommation de chauffage est plus importante en hiver qu'en été. Une étude des besoins mensuels nous conduit à une estimation plus précise des besoins de chauffage.

Mois	Chauffage (%)	Chauffage (MWh)
Janvier	20,00	395,80
février	17,00	336,43
mars	13,00	257,27
avril	8,00	158,32
mai	7,00	138,53
juin	0,00	0,00
juillet	0,00	0,00
août	0,00	0,00
septembre	1,00	19,79
octobre	8,00	158,32
novembre	11,00	217,69

Consommation de chauffage

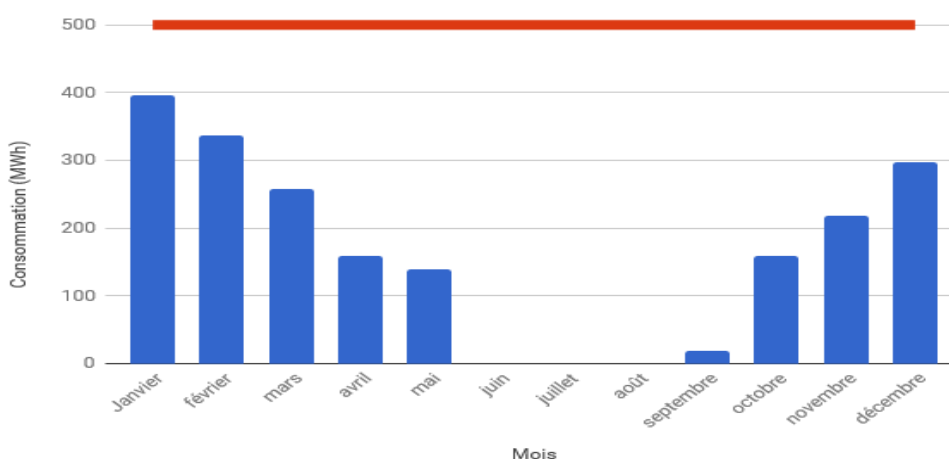


Tableau 3 Estimation consommation de chauffage mensuel

L'étude de la production de chaleur montre qu'il est possible de fournir 6 GWh par an, soit 500 MWh par mois, la production ne variant que très peu au fil des saisons. Ainsi, on remarque qu'il reste de l'énergie disponible, au moins 100 MWh dans le pire des cas, même s'il faut faire attention aux pics de consommation que nous traiterons plus tard. Avec cette énergie restante nous étudions la possibilité de développer un réseau d'eau chaude sanitaire, en plus du réseau de chauffage, pour les Phases 1 et 2.

b- Développement de l'eau chaude sanitaire (ECS)

L'étude des besoins en eau chaude sanitaire nous indique un besoin de 1107 MWh par an. On peut penser que la consommation en ECS ne varie que très peu durant l'année, au contraire de la consommation de chauffage, et cela signifie une consommation de 92 MWh par mois. Ainsi, même dans le pire des cas, on reste en dessous de la production théorique mensuelle et l'installation de l'ECS sur la ZAC de Saulaie est envisageable. Cependant, la consommation totale d'énergie, au contraire de la production, ne peut pas être considérée constante et peut grandement varier d'un jour à l'autre, notamment à cause des pics de froids. La situation ne garantit donc pas un réseau suffisant, nous étudierons donc par la suite un aménagement complémentaire.

c- Développement d'un réseau de froid

La situation de la ressource, entièrement exploitée dans certains cas, pose la question de la pertinence du développement d'un réseau de froid. Cependant, les mois compliqués sont en hiver, or le réseau de froid est lui utilisé en majorité en été, quand la ressource est disponible puisque le réseau de froid est peu utilisé en même temps que le réseau de chaleur. L'analyse du besoin en rafraîchissement nous indique qu'il faut 831 MWh sur l'année, une étude plus poussée nous donne une estimation de la mensuelle consommation.

Mois	Climatisation (%)	Climatisation (MWh)
Janvier	0	0
février	0	0
mars	0	0
avril	4	33,24
mai	6	49,86
juin	18	149,58
juillet	25	207,75
août	25	207,75
septembre	16	132,96
octobre	6	49,86
novembre	0	0
décembre	0	0
Total	100	831

Tableau 4 Estimation consommation de climatisation

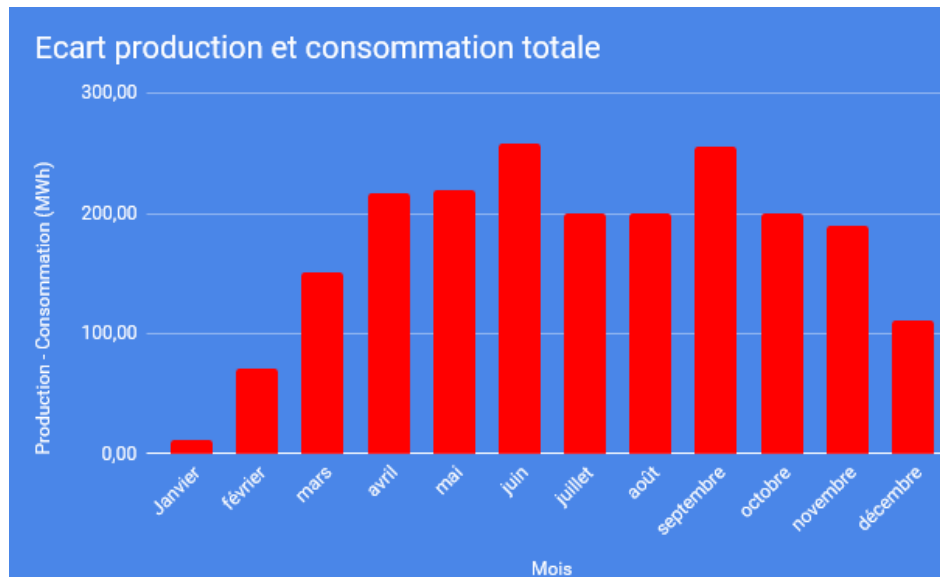


Figure 16 Ecart entre la production et la consommation totale d'énergie

On voit que la consommation, même en ajoutant le réseau de froid, ne dépasse jamais la production mensuelle. L'installation du réseau de froid est donc possible sur la ZAC. Cependant, les données ne nous permettent pas de visualiser ce qu'il en est au sein d'un mois, et la situation du mois de Janvier étant limite (il reste moins de 12 MWh d'énergie disponible), il convient de se poser la question de la fiabilité du réseau lors des pics de consommation, ainsi nous décidons de mettre en place un complément pour assurer en tout temps un réseau fiable.

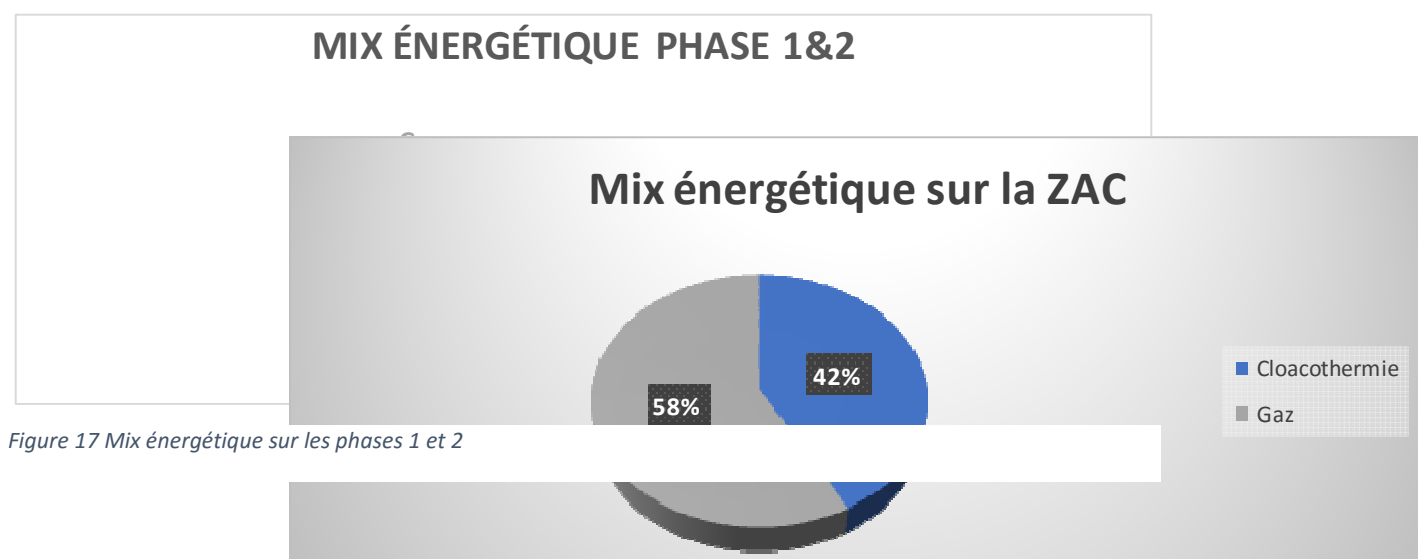
d- Etude d'un moyen de production de chaleur complémentaire

Il y a plusieurs méthodes pour produire la chaleur manquante ou qui pourrait manquer sur le réseau. L'étude d'opportunité sur la ZAC a montré que le solaire thermique peut-être une solution, mais cette technique fait déjà l'objet d'une étude complète, nous ne l'étudierons donc pas ici. L'usine Arkema présente à proximité de la ZAC, pourrait également nous fournir en chaleur, et cela renforcerait l'aspect de la réutilisation de l'énergie, mais cela relève d'un partenariat public-privé qui ne relève pas de nos compétences. Ainsi, nous n'étudierons pas cette possibilité. Dans certains cas, le complément se fait avec du bois, mais ici pour des questions de stockage, de pollution de l'air, et des questions techniques (allumage et fin), cela ne nous paraît pas opportun. En ce qui concerne la géothermie, le potentiel n'est pas présent sur la ZAC, nous nous orientons donc vers une technique couramment utilisée, le complément avec une chaudière gaz. L'utilisation d'une énergie fossile dans une ZAC portée plutôt vers l'énergie verte et la réutilisation de ce qui est

disponible peut surprendre. En réalité, cette solution propose de nombreux avantages et s'impose assez naturellement. Premièrement, le réseau est déjà existant, ensuite, cette solution est déjà présente à de nombreux endroits. Sa mise en place ne soulève donc aucune inquiétude d'un point de vue technique. Enfin, reste l'aspect énergie fossile... Négawatt, une association militante qui réalise des scénarii 100% énergie renouvelable, indique que la réalisation de ces scénarii passe par la production de méthane renouvelable. Ainsi, dans ce cas de figure, la ZAC serait chauffée grâce à du renouvelable uniquement.

Il faut maintenant dimensionner cette chaudière de complément. Si on regarde au plus près de la consommation, en la supposant uniforme sur le mois, et en prenant un temps de chauffe journalier de 8 heures, la consommation serait de 1,6 MWh. Si on prend la production, en la considérant uniforme sur la journée, on obtient une production de 0,7 MWh, ce qui est insuffisant. Une chaudière à gaz d'une puissance nominale de 1,5 MW pourrait donc suffire à faire le complément pour l'alimentation des phases 1 et 2, ce complément étant utilisé pendant les mois de Janvier, Février, Mars, Novembre et Décembre. Etant donné les réseaux existants, il n'est pas nécessaire de prévoir un lieu de stockage. Cependant cet aménagement ne concerne que les phases 1 et 2. Pour l'alimentation totale, on obtient une consommation totale de 3,96 MWh. Ainsi, une chaudière de 3,5 MW pourrait suffire à alimenter la totalité de la ZAC. Cependant, étant donné le phasage des opérations, il n'est pas forcément utile d'installer directement la chaudière la plus puissante, surtout étant donné les possibilités du solaire. Dans tous les cas, ces différentes installations permettent d'avoir de la marge et d'avoir un réseau fiable. Les capacités en froid, pas pleinement exploitées même en été, pourrait être optimisées en servant pour alimenter une partie du secteur diffus, et le cas échéant une partie des phases 3 et 4, selon les choix de développement faits pour ses secteurs. De même, la mise en place de foisonnement permettrait de mieux dimensionner la chaudière à gaz, mais nous ne disposons pas des informations suffisantes pour mettre en place ce foisonnement. Une telle planification permettrait là aussi d'optimiser la ressource en alimentant une partie du secteur diffus, surtout les parties proches des deux premières phases.

En se basant uniquement sur les valeurs établies, on peut déjà étudier le mix énergétique sur la ZAC de Saulaie en prenant en compte le complément Gaz.



Ainsi, le développement de la cloacothermie sur la ZAC de Saulaie permettrait, sans instauration de

foisonnement, de couvrir 69% des besoins en chauffage, eau chaude sanitaire et rafraîchissement sur les Phases 1 & 2. Si on prend en compte la ZAC dans son intégralité, l'utilisation de la cloacothermie permet de couvrir 42% de ces besoins, les phases 3, 4 et le diffus étant uniquement alimentées par du gaz.

CONCLUSION

Sur le secteur de la ZAC de la Saulaie, nous proposons donc d'installer un système de chauffage alimenté en énergie fatale : les eaux usées. Ce système, malgré ce que l'on pourrait en penser, n'a rien de sale puisque ces eaux usées n'entrent jamais en contact avec l'eau tempérée qui chauffera les bâtiments. En effet, c'est uniquement la chaleur des eaux usées qui sera utilisée grâce à un échangeur thermique de type ThermoWatt. Cette chaleur sera concentrée dans un circuit d'eau tempérée au moyen d'une pompe à chaleur eau-glycolée. Cette boucle tempérée reliera les bâtiments des secteurs des phases 1 et 2 et leur apportera chauffage, eaux chaudes sanitaires et climatisation (en ce qui concerne les services) au moyen d'une nouvelle pompe à chaleur. Ce système, pourra fonctionner toute l'année grâce à l'ajout d'une chaudière à gaz. En effet, lors du mois de janvier la demande en chauffage sera trop importante pour n'être traitée que par la chaleur des eaux usées. Cependant, le gaz naturel peut être renouvelable. Plus encore, il pourrait être fabriqué à partir des eaux usées au niveau de la station d'épuration de Pierre Bénite. Si en plus l'électricité est apportée par l'énergie solaire, les secteurs phases 1 et 2 de la ZAC de Saulaie seraient ainsi des secteurs 100% énergie renouvelable !

BIBLIOGRAPHIE

- GIBERT, Jean-Luc, Régie Municipale des Eaux et de l'Assainissement de Dax. « La valorisation thermique des eaux usées au carrefour des eaux urbaines et de la géothermie : l'exemple de l'éco-quartier du Mousse à Dax », *Journée de sensibilisation à la géothermie dans les Landes*. 20 septembre 2013, Mugron.
- Actu environnement. « Quand les égouts servent à chauffer un centre aquatique ! », actu-environnement.com. [Disponible le 20/10/2017 à <https://www.actu-environnement.com/ae/news/chauffage-centre-aquatique-arras-eaux-usees-22625.php4>]
- CEREMA, Centre de ressources pour la chaleur renouvelable et l'aménagement énergétique des territoires. « Ecoquartier Centre Sainte-Genève – Nanterre (Hauts-de-Seine) », *Réseaux de chaleur et territoires*. [Disponible le 23/10/2017 à <http://reseaux-chaleur.cerema.fr/ecoquartier-centre-sainte-genevieve-nanterre-hauts-de-seine>]
- AZAM, Marie-Hélène et HORSIN MOLINARO Hélène. « La cloacothermie ou l'énergie renouvelable des eaux usées », *Sciences industrielles de l'ingénieur, option Ingénierie des constructions*. 22 septembre 2017.
- LE MONITEUR. « Les calories des eaux usées pour chauffer des bâtiments : une ressource disponible et bon marché » *LE MONITEUR.FR*. 12 février 2009.
- FULGONI. « La technologie ERS (Système de revalorisation énergétique) », *fulgoni.mobi*. [Disponible le 30/10/2017 à <http://www.fulgoni.mobi/technologie-ers/>]
- SUEZ ENVIRONNEMENT. « Présentation Degrés Bleus. La récupération de chaleur sur Eaux usées. » [Disponible le 3/11/2017 à <http://docplayer.fr/4435612-Presentation-degrés-bleus-la-recuperation-de-chaleur-sur-eaux-usees.html>]
- ADEME BRGM. « Système géothermique sur eaux usées, techniques et fonctionnement », *geothermie-perspectives.fr*. [Disponible le 25/10/2017 à <http://www.geothermie-perspectives.fr/article/systeme-geothermique-eaux-usees-technique-fonctionnement>]
- WIKIPEDIA. « Pompe à chaleur », *wikipedia.org*. [Disponible le 25/11/2017 à https://fr.wikipedia.org/wiki/Pompe_%C3%A0_chaleur]
- ECOME. « Qu'est-ce qu'une boucle d'eau tempérée ? », *ecome.fr*. [Disponible le 2/12/2017 à http://www.ecome.fr/qu-est-ce-qu-une-boucle-d-eau-temperee--_I_FR_r_69.html]
- NUNES, Philippe, XPAIR. « Pompe à chaleur sur eau de mer pour 54000m² à la Seyne/mer », *conseil.xpair.com*. [Disponible le 27/11/2017 à https://conseils.xpair.com/actualite_experts/pompe_chaleur_eau_mer.htm]
- KOHL, P., ENCPB. « Etude d'une pompe à chaleur ». Juin 2006. [Disponible le 17/11/2017 à http://eduscol.education.fr/rnchimie/phys/kohl/tp/tp_phys_ts1_15.pdf]
- CSTB. « Installation de récupération d'énergie intégrée aux réseaux d'assainissement. Degrés bleus », Avis Technique 17/15-290.
- GRANDLYON.
 - c) « Etude de faisabilité Energies Renouvelables ZAC de la Saulaie ». Juin 2017.

- d) « Etudes prè-opérationnelles pour le renouvellement urbain du secteur de la Saulaie à Oullins ». Juin 2013.
- e) « Récupération de chaleur sur eaux usées », *Premier retour – Benchmark*
- f) Direction de l'eau : « Diagnostic du potentiel en Energie eaux usées »
- g) « le système d'assainissement de la métropole de Lyon »
- ADEME.
 - c) « Récupération de la chaleur du réseau d'assainissement à l'Hôtel de la Communauté urbaine de Bordeaux (33) ». Novembre 2013.
 - d) « Production d'eau chaude à partir des eaux usées dans une résidence à Courcouronnes (91) ». Juin 2014.
 - e) « Pompe à chaleur sur eaux usées pour la résidence Les Nouveaux Chartreux à Marseille (13) ». Juillet 2014.
 - f) « Pompes à chaleur sur un réseau d'eaux usées pour des logements sociaux à Mulhouse (68) ». Juillet 2014.
- HICKLAND, Brian, UHRIG. "Modern Heat Exchanger Technology from Germany – an Export product".
- ILTAGENCE. "Heat recovery from waste water".
- KISS, Pal, THERMOWATT SARL. « Récupération de la chaleur des eaux usées pour chauffage et refroidissement des gros bâtiments ». Février 2016.