



HAL
open science

Récupération de la chaleur des eaux usées de la ville de Versailles au profit du chauffage d'un édifice public : études de potentiel et de faisabilité

Pierre Spieser

► To cite this version:

Pierre Spieser. Récupération de la chaleur des eaux usées de la ville de Versailles au profit du chauffage d'un édifice public : études de potentiel et de faisabilité. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-02485640

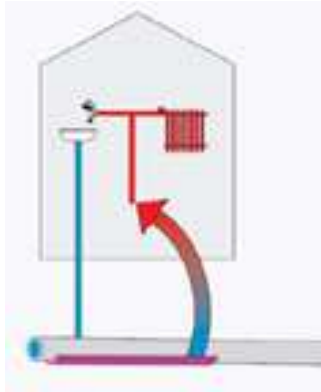
HAL Id: dumas-02485640

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02485640>

Submitted on 20 Feb 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**RECUPERATION DE LA CHALEUR DES
EAUX USEES DE LA VILLE DE
VERSAILLES AU PROFIT DU
CHAUFFAGE D'UN EDIFICE PUBLIC
ETUDES DE POTENTIEL ET DE FAISABILITE**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
MASTERE SPECIALISE EAU POTABLE ET ASSAINISSEMENT
NOVEMBRE 2019

Maître de stage : Béatrice DELGADO
Enseignant tuteur : Paul BOIS

Mémoire soutenu par :
Pierre SPIESER

RESUME

Récupération de la chaleur des eaux usées de la ville de Versailles au profit du chauffage d'un édifice public Etudes de potentiel et de faisabilité

Cette étude vise, d'une part, à évaluer si le réseau d'assainissement de la ville de Versailles présente un potentiel suffisant pour récupérer la chaleur des eaux usées à partir des techniques actuellement utilisées en France. Une campagne de mesure en vue de consolider les données du schéma directeur a été réalisée au titre de cette étude. D'autre part, cette étude vise également à évaluer quels sont les bâtiments qui pourraient bénéficier de ce mode de chauffage à partir de la mise en place d'une pompe à chaleur reliée à des échangeurs thermiques. Le recours à la connaissance du service énergie de la ville de Versailles et à la gestion patrimoniale mise en place sont des éléments déterminants dans la stratégie d'investissement dans ce type de procédé. La partie la plus critique reste l'estimation de l'efficacité réelle des échangeurs en tenant compte d'une part de la formation de biofilm suivant les conditions de mise en œuvre du système. Parmi les concepts étudiés, le mode bivalent parallèle est recommandé avec une pompe à chaleur et une chaudière à gaz qui couvre les besoins de crêtes du bâtiment. Enfin l'étude portera sur la faisabilité technico-économique d'une telle opération en étudiant l'amortissement de cette installation et son impact sur le bilan carbone de la ville de Versailles.

ABSTRACT



Waste heat recovery from the city of Versailles in favor of heating a public building Potential and feasibility studies

Firstly, this study aims to assess if the city of Versailles sanitation network has a sufficient potential to recover heat from wastewater by the means of techniques currently used in France. In the agenda of this study, to consolidate the master plan data, we conducted a measurement campaign. Furthermore, this survey purposes to evaluate which buildings could benefit from this heating system, based on the installation of a heat pump connected to heat exchangers. Both uses of Versailles energy department knowledge and building management implemented are key elements for the investment strategy in this type of process. The most critical part remains on the estimation of exchangers' real efficiency, by taking into account biofilm deposit, according to system implementation conditions. Among the concepts studied, we recommend a parallel bivalent mode, with a heat pump and a gas boiler that covers the building peak requirements. Finally, the study focus on the technical and economic feasibility of such an operation, by reviewing the installation depreciation and its impact on the city of Versailles carbon footprint.

REMERCIEMENTS

A l'issue de ces six (6) mois de stage réalisé au sein du service assainissement de la ville de Versailles. Je tiens à remercier l'ensemble de mes collègues pour leur accueil, leur aide et le temps qu'ils m'ont accordé. Je souhaite remercier tout particulièrement :

- Monsieur Manuel PLUVINAGE, directeur général adjoint des services de la communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc qui a répondu favorablement à ma candidature spontanée,
- Madame Cécile GAMBELIN, Directrice des Déplacements et des Aménagements Urbains (DDAU), pour m'avoir accueilli dans sa structure.,
- J'adresse toute ma reconnaissance aux équipes du 56 avenue de Saint-Cloud, pour leur disponibilité, écoute et bienveillance.

Mes remerciements vont aussi au personnel de l'ENGEES :

- Mon tuteur à l'ENGEES, Dr Paul BOIS, maître de conférence – Traitement de l'eau et zones humides artificielles,
- Mes enseignants, chercheurs et membres du personnel, pour la transmission de leur savoir, savoir-faire et disponibilité,
- Monsieur Thierry SCHAETZLE, Ingénieur d'études, responsable du centre de documentation pour sa disponibilité et sa réactivité.

Mes remerciements à ma hiérarchie au sein du ministère des armées :

- Monsieur le général de corps d'armée Bernard FONTAN, directeur central du Service d'Infrastructure de la Défense,
- Messieurs les ingénieurs en chef Laurent HEMOUS et Serge REGNIER, directeur du Centre d'Expertise Technique des Infrastructures de la Défense (CETID) qui m'ont autorisé à suivre cette formation.

Et tout particulièrement, Madame Béatrice DELGADO, Chef du service assainissement pour son encadrement, ses conseils et sa disponibilité.

Je remercie tous les membres du jury.

Enfin je ne saurais oublier un grand merci à ma famille : ma compagne Elodie qui assure avec sérénité le fonctionnement de la cellule familiale lors de mes absences et ma fille Faustine pour sa joie de vivre et pour leur soutien inconditionnel et toujours encourageant.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	10
II. CONTEXTE DE L'ETUDE	10
II.1 La communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc	10
II.2 La ville de Versailles.....	11
II.3 La Direction Générale des Services Techniques de la Ville de Versailles	11
II.4 Le service assainissement de la ville de Versailles.	12
III. OBJECTIFS ET RESULTATS ATTENDUS.....	12
III.1 Objectif de la mission	12
III.2 Résultats attendus.....	12
III.3 Quelques chiffres clés de la ville de Versailles	13
III.4 Etat des lieux de la production de chaleur à Versailles.....	13
III.4.1 Le réseau de chaleur.....	14
III.4.2 Les autres bâtiments	15
IV. VERS UNE PRODUCTION DE CHALEUR RENOUVELABLE	15
IV.1 Pourquoi	15
IV.2 La notion de chaleur fatale et ses sources de production	15
IV.3 Comment.....	16
IV.4 La législation	17
V. LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR COLLECTEUR.....	17
V.1 Les technologies les plus utilisées en métropole	18
V.1.1 La technologie « Degrés Bleus » exploitée par SUEZ en métropole	18
V.1.2 La technologie « Energido » exploitée par VEOLIA en métropole	19
V.1.3 La technologie « Thermowatt » développée en métropole par ENERLIS	20
V.2 Les échangeurs thermiques.....	22
V.2.1 Qu'est-ce qu'un échangeur thermique	22
V.2.2 Les échangeurs couramment utilisés	22
V.2.3 Les échangeurs utilisés sur les réseaux d'assainissement.....	22
VI. L'ETUDE DE POTENTIEL	23
VI.1 Qu'est-ce qu'une étude de potentiel	23
VI.2 La topographie et l'hydrographie de Versailles	23
VI.3 Le réseau d'assainissement de la ville.....	24
VI.4 Axes de collecte principaux	25
VI.5 Les bâtiments de la Ville et de la CAVGP.....	26
VI.6 Les prérequis	26
VI.6.1 Le collecteur d'assainissement.....	26

VI.6.2	Le bâtiment.....	28
VI.6.3	La synthèse	29
VI.7	Le cas de la ville de Versailles - Les données d'entrées	30
VI.7.1	L'étude du réseau d'assainissement (débit, vitesse, température, ECPP).....	30
VI.7.2	L'étude du patrimoine immobilier	32
VI.8	La réalisation d'une campagne de mesure.....	33
VI.9	Les problématiques à éviter	44
VI.9.1	La vérification du bon fonctionnement à l'aval.....	44
VI.9.2	La formation de biofilms	47
VI.9.3	La vitesse de l'écoulement	47
VI.10	Les retours d'expériences des maitres d'ouvrage.....	48
VII.	L'ETUDE DE FAISABILITE	51
VII.1	Les bâtiments retenus	51
VII.2	Les tendances de consommation d'énergie des années antérieures	52
VII.3	Le calcul des Degrés Jours Unifiés	55
VII.3.1	Méthode numérique via les données du site internet météociel.....	55
VII.3.2	Méthode via le simulateur CEGIBAT de GRDF.....	56
VII.4	Dimensionnement des organes de chauffage.....	57
VII.4.1	Complexe scolaire Lully-Vauban.....	57
VII.4.2	Complexe pépinière d'entreprise VGP	59
VII.4.3	Les PAC à mettre en œuvre.....	61
VII.4.4	Le dimensionnement de l'échangeur de chaleur	61
VII.5	Les travaux à réaliser	62
VII.5.1	Cas d'un échangeur à plaques : la mise à sec du réseau.....	62
VII.5.2	Cas d'un échangeur spiralé : Le dévoiement du réseau.....	63
VII.6	La faisabilité technique du projet.....	63
VII.7	Le bilan économique de l'opération.....	64
VII.7.1	Le fond chaleur de l'ADEME	64
VII.7.2	L'éligibilité de l'opération.....	65
VII.7.3	Le retour sur investissement	65
VII.8	Le bilan carbone	67
VIII.	CONCLUSION	69
	ANNEXES.....	72

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACRONYME	ECRITURE DETAILLEE
CETID	Centre d'Expertise Technique des Infrastructures de la Défense
CAVGP	Communauté d'Agglomération de Versailles Grand Parc
SDA	Schéma Directeur d'Assainissement
DGST	Direction Générale des Services Techniques
DDAU	Direction des Déplacements et de l'Aménagement Urbain
CTM	Centre Technique Municipal
MWh et kWh	MégaWatt heure et KiloWatt heure
MW et kW	MégaWatt et KiloWatt
HP et BP	Haute Pression et Basse Pression
COP 21	Conférence Of the Parties
GES	Gaz à Effet de Serre
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
RED	Directive des Energies Renouvelables
PAC	Pompe A Chaleur
TEP	Tonne Equivalent Petrole
EH	Equivalent Habitant
SIAAP	Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne
SIAVB	Syndicat Intercommunal pour l'Assainissement de la Vallée de la Bièvre
COP	Coefficient de Performance
ECPP	Eaux Claires Parasites Permanentes
SIG	Système d'Information Géographique
AERM	Agence de l'Eau Rhin-Meuse
TS	Temps Sec
VGP	Versailles Grand Parc
DJU	Degré Jour Unifié
LTECV	Loi pour la Transition Energétique et la Croissance Verte

LISTE DES FIGURES

N°	Désignation	Page
01	Périmètre de la communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc	10
02	Organigramme de la Direction Générale des Services Techniques	11
03	Répartition des consommations d'énergie sur l'exercice 2018	13
04	Plan du réseau de chaleur (Source : ENGIE)	15
05	Les différentes sources de récupération de chaleur de eaux usées	16
06	Le principe de la récupération de chaleur sur collecteur	17
07	Le principe de récupération de chaleur SUEZ	18
08	Le principe de récupération de chaleur VEOLIA	19
09	Le principe de récupération de chaleur ENERLIS	21
10	Echangeur à plaques sur mesure (Source : SUEZ)	22
11	Délimitation des bassins versants	24
12	Réseaux unitaires avec collecteurs principaux par bassin versant de collecte	26
13	Schéma de principe prérequis des collecteurs	27
14	Schéma de principe prérequis du bâtiment	28
15	Schéma de principe prérequis	29
16	Représentation des bassins versants et exutoires	30
17	Représentation des débits (à gauche) et vitesses (à droite) (Source : SDA 2012)	31
18	Report des collecteurs aux prérequis de débits (à gauche) et vitesses (à droite) sur le SIG	31
19	Représentation de la part des ECPP (Source SDA 2012)	32
20	Construction des zones d'intérêts	33
21	Localisation des points de mesure	34
22	Principe DOPPLER issu de la documentation HYDREKA	35
23	Image de la sonde de température Tinytag Splash 2	35
24	Description technique du Doppler	36
25	Histogramme des précipitations (source : Rapport SEVESC)	40
26	Exemple courbe de débit point de mesure n°3 (source : Rapport SEVESC)	41
27	Localisation des points de mesure avec potentiel	42
28	Fonctionnement de la station « carré de réunion »	45
29	Evolution du rendement de l'échangeur thermique dans le temps (Source : EAWAG Suisse)	47
30	Localisation du collecteur et du complexe Lully-Vauban	51
31	Localisation du collecteur et du complexe Pépinière d'entreprises	52
32	Capture d'écran logiciel Energisme	52
33	Capture d'écran du site Météociel	55
34	Synthèse des DJU (18) pour les années 2017 et 2018 (source : CEGIBAT)	56
35	Extrait tableau de comptage pour les différentes énergie (source :PICBLEU)	57
36	Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur (source : VEOLIA)	58
37	Exemple de courbe monotone (Source : SENAT Energies Renouvelables)	59
38	Avis sur la faisabilité technique au profit du complexe Lully-Vauban	63
39	Avis sur la faisabilité technique au profit du complexe Maison des associations	63

40	Contenu en CO2 du kWh d'énergie (Source : Equilibre des énergies)	68
----	---	----

LISTE DES TABLEAUX

N°	Désignation	Page
01	Synthèse des procédés de récupération de chaleur (Source : ADEME)	16
02	Critères de fonctionnement procédé Thermowatt	21
03	Chiffres clés du réseau de la ville de Versailles	25
04	Equivalent Habitant minimum à la ville de Versailles	27
05	Synthèse de principe prérequis des collecteurs	28
06	Synthèse de principe prérequis bâtimentaire	29
07	Synthèse du moyen de temps sec aux exutoires	30
08	Méthode de modélisation ou mesure (Source : guide AERM)	34
09	Tableau de comparaison relevé terrain et hauteur capteur	37
10	Synthèse des principaux éléments de l'étude de métrologie	39
11	Synthèse des débits d'eaux claires parasites	41
12	Synthèse des principaux éléments du collecteur Avenue de Paris	43
13	Synthèse des principaux éléments du collecteur Rue du Béarn	43
14	Volumes en entrée de la station « carré de réunion »	45
15	Débits et pourcentages des collecteurs par rapport à la station	46
16	Données climatiques 1981-2010 station Villacoublay (météo France)	48
17	Extrait tableau de consignes températures complexe Lully-Vauban	53
18	Extrait tableau de consignes températures complexe Pépinière d'entreprises	54
19	Synthèse des DJU 18 pour l'année 2017	56
20	Synthèse des DJU 18 pour l'année 2018	56
21	Exemple de réalisation de récupération de chaleur	60
22	Détails du calcul des périmètres mouillés	61
23	Dimensionnement échangeur à plaques complexe Lully-Vauban	62
24	Dimensionnement échangeur à plaques complexe Maison des associations	62
25	Eligibilité de l'opération par le fond chaleur de l'ADEME	65
26	Méthode de calcul aide ADEME (Source : Fonds Chaleur 2019)	66
27	Synthèse Retour sur Investissement	66
28	Méthode bilan carbone, les plus utilisées en France (Source : Bilans GES ADEME)	67
29	Valeur carbone réseau de chaleur Versailles (Source : Bilans GES (ADEME))	68
30	Bilan carbone annuel approché pour chauffage (Complexe pépinière d'entreprises)	68

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

N°	Désignation	Page
01	Chaufferie centrale VERSEO	14
02	Chaufferie centrale VERSEO	14
03	Echangeur à plaques intégré au collecteur (Source Rabtherm)	23
04	Echangeur à plaques intégré au collecteur (Source Rabtherm)	23
05	Echangeur déporté spiralé (Source : VEOLIA)	23
06	Echangeur déporté spiralé (Source : VEOLIA)	23
07	Mise en œuvre du capteur de vitesse	37
08	Mise en œuvre du capteur de vitesse	37
09	Vérification interne des hauteurs d'eau dans certains collecteurs	38
10	Vérification interne des hauteurs d'eau dans certains collecteurs	38
11	Vue aérienne de la station d'Achères	46
12	Dispositif de chasse amont (Source : Dr. Jan Butz, Klingler et Partner)	48
13	Visite de l'Aquarena d'ARRAS (ENERGIDO)	49
14	Visite de l'Aquarena d'ARRAS (ENERGIDO)	49
15	Mise en œuvre échangeur à plaques SIAHVY	50
16	Mise en œuvre échangeur à plaques SIAHVY	50
17	Mise en œuvre échangeur à plaques SIAHVY	50
18	Visite du siège du SIAHVY de SAULX LES CHARTREUX (DEGRES BLEUS)	50
19	Visite du siège du SIAHVY de SAULX LES CHARTREUX (DEGRES BLEUS)	50
20	Chaufferie complexe Lully-Vauban	53
21	Chaufferie complexe Lully-Vauban	53
22	Chaufferie complexe maison des associations	54
23	Chaufferie complexe maison des associations	54

I. INTRODUCTION

Un des aspects « innovants » de l'étude présentée ici réside dans le fait d'utiliser les eaux usées comme source d'énergie « renouvelable ».

Les projets technologiques et l'industrialisation des énergies renouvelables ont permis en France une baisse des coûts qui amènent les filières les plus matures à des niveaux compétitifs avec les technologies conventionnelles. Cependant, il existe encore des marges de progrès importantes pour la plupart des filières. Les moins matures d'entre-elles ont aujourd'hui des gisements inexploités significatifs et verront leur coût d'investissement et leur taux d'actualisation diminuer leur développement.

Face aux objectifs de déploiement ambitieux des énergies visant à freiner le réchauffement climatique, les soutiens publics restent nécessaires pour prolonger les baisses de coût, faciliter les investissements ou compenser les défaillances du marché. C'est pourquoi la communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc et la ville de Versailles se positionnent clairement sur le développement des énergies renouvelables au profit des bâtiments de leur parc immobilier. Cette étude a pour objectif de déterminer si le réseau d'assainissement de la Ville de Versailles a le potentiel nécessaire pour la mise en place de ces technologies et conjointement si un ou plusieurs bâtiments ont les besoins thermiques nécessaires. In fine, dans le cas d'une faisabilité technique, il sera conduit la vérification de la faisabilité financière d'une telle opération.

II. CONTEXTE DE L'ETUDE

II.1 La communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc

La ville de Versailles fait partie de la communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc (CAVGP) qui représente une superficie de 12 000 hectares répartie sur 18 communes pour une population d'environ 270 000 habitants (Source : recensement de la population 2013 – populations totales – limites territoriales au 1^{er} janvier 2019).

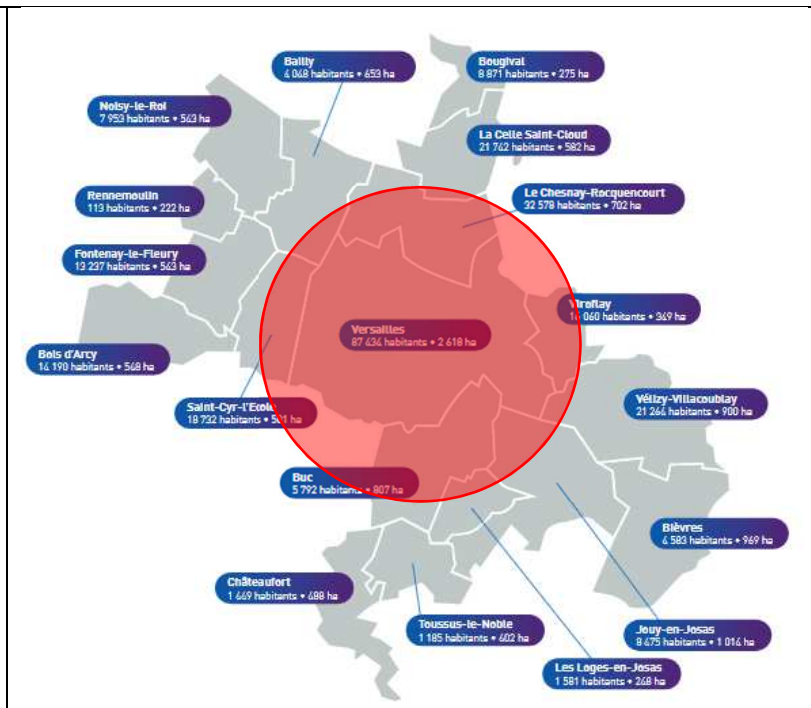


Figure 01 – Périmètre de la Communauté d'Agglomération de Versailles Grand Parc

II.2 La ville de Versailles

La ville est située dans la région Île-de-France et dans le département des Yvelines dont elle est la préfecture. C'est une ville résidentielle et tertiaire de la proche banlieue parisienne, connue pour son château et ses jardins, musée national et monument classé dans la liste du patrimoine mondial de l'Unesco. Elle est caractérisée par une forte urbanisation, environ 85 770 habitants (recensement INSEE 2015) pour 2 618 hectares soit une densité de population de l'ordre de 33 hab/ha. Le château de Versailles et son parc occupent environ 1100 ha (40% de la surface communale), la densité réelle de la ville est donc de 57 hab/ha.

La consommation en eau potable a été évaluée à environ 159 l/habitant/jour.

(Source : Schéma Directeur d'Assainissement 2012 (SDA))

Cette ville connaît 11 communes limitrophes : Guyancourt, Buc, Jouy –en- Josas, Velizy- Villacoublay, Saint-Cyr –l'école, Bailly, Rocquencourt, Le Chesnay, Vaucresson, Marnes-la-Coquette, Ville d'Avray.

II.3 La Direction Générale des Services Techniques de la Ville de Versailles

Au profit de la ville de Versailles, ce stage a été effectué au sein de la Direction Générale des Services Techniques (DGST) qui se compose d'un effectif de 555 personnes et plus particulièrement au sein de la Direction des Déplacements et de l'Aménagement Urbain (DDAU) (70 personnes) dont les principales missions sont les suivantes :

- ✓ Etude et suivi des travaux neufs en voirie, aménagement urbain, éclairage public, assainissement,
- ✓ Suivi des réseaux concessionnaires, en liaison avec les concessionnaires et les syndicats intercommunaux,
- ✓ Suivi des problématiques de stationnement et de circulation (pistes cyclables, stationnement payant, carrefours à feux) et de sécurité routière,
- ✓ Surveillance de la voirie (travaux concessionnaires, marquages au sol, signalisation, mobilier urbain...),
- ✓ Suivi de l'accessibilité du domaine public aux PMR,
- ✓ Suivi de la réglementation (arrêtés de voirie).

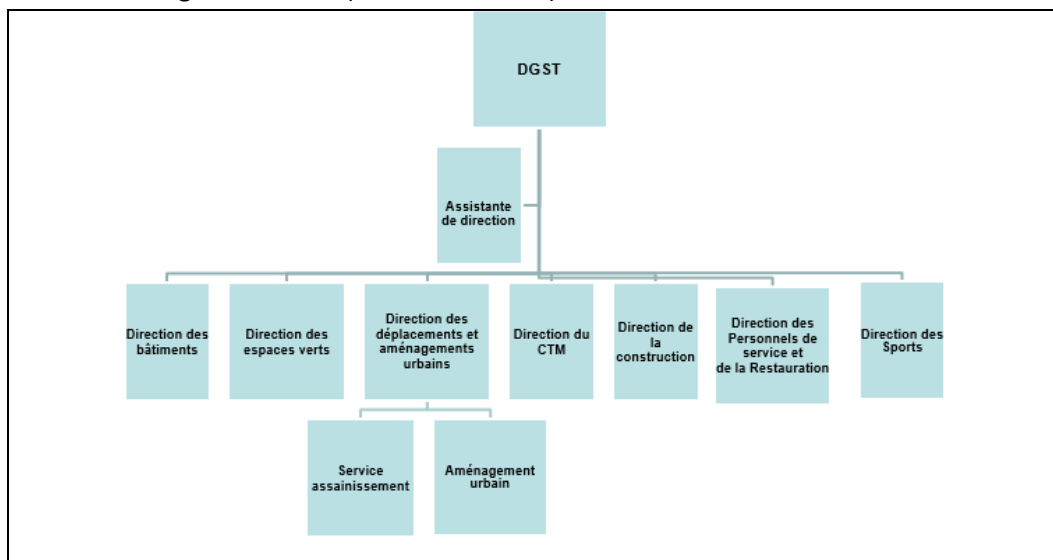


Figure 02 – Organigramme de la Direction Générale des Services Techniques

II.4 Le service assainissement de la ville de Versailles.

Au sein de la Direction des Déplacements et des Aménagements Urbains, le service assainissement comprend 26 agents (dont 2 postes gelés) qui assurent l'ensemble des missions relatives à l'investissement et à l'exploitation du réseau de la ville de Versailles et ce par un budget propre qui doit rester équilibré chaque année. Ce budget est alimenté principalement par la redevance d'assainissement, perçue auprès des usagers en fonction de leur consommation d'eau potable, ainsi que par les subventions reçues d'organismes publics (Conseil Général, Conseil Régional et Agence de l'Eau Seine-Normandie).

- 1 Ingénieur chef du service ;
- 2 Techniciens territoriaux, chargés des études et des travaux neufs ;
- 1 Technicien chargé des rejets non domestiques ;
- 1 Adjoint administratif, chargé de la comptabilité ;
- 1 Rédacteur, chargé du secrétariat ;
- 1 Agent de maîtrise chargé du contrôle des branchements et analyses d'eaux ;
- 1 Agent de maîtrise chargé de l'encadrement des équipes en régie ;
- 18 Adjoints techniques ou Adjoints techniques Principaux (dont 2 postes gelés) , tous classés égoûtiers polyvalents.

Ce personnel rémunéré par le budget annexe de l'assainissement est placé sous la responsabilité de l'ingénieur, chef de l'assainissement, lui-même sous l'autorité du Directeur de la DDAU.

Le service assainissement en quelques chiffres

Sections Investissement et Exploitation réunies, ce budget s'élevait pour 2017 à environ 5 096 000 €, dont 2 069 000 € pour la section investissement et 3 027 000 € pour la section exploitation pour un total de 7679 clients (87 814 habitants – 2017) et un volume consommé de 4 766 695 m³. « Source : Données issues du Rapport complémentaire SMGSEVESC – Exercice 2017 ».

Au sein du service assainissement et durant mon stage, j'ai été directement sous l'autorité de l'ingénieur, chef du service. Toutefois, mon stage m'a permis d'interagir avec la quasi-totalité des compétences représentées avec des missions terrains (visite préalable des collecteurs), des études de prix, de l'organisation de déplacement...

III. OBJECTIFS ET RESULTATS ATTENDUS

III.1 Objectif de la mission

La mission qui m'a été confiée consiste en la rédaction de l'étude de potentiel du réseau de la ville de Versailles en consolidant les données du schéma directeur de 2012. Ensuite, dans le cas où le potentiel serait avéré, il m'a été demandé d'identifier le ou les bâtiments à forte capacité et de réaliser l'étude de faisabilité pour ceux-ci.

III.2 Résultats attendus

Les résultats attendus sont de trois niveaux :

- Etudier le potentiel du réseau de la ville de Versailles ;
- Identifier le ou les bâtiments existants à fort potentiel ;
- Vérifier la faisabilité technico-économique du projet.

III.3 Quelques chiffres clés de la ville de Versailles

85 770 habitants

2 618 hectares

110 kms de voirie et le double en trottoirs,

137 kms de collecteurs d'égouts,

5 300 foyers lumineux en éclairage public,

Ville de Versailles: 192 000 m² surface plancher - Versailles Grand Parc : 6 000 m²,

Dont pour la Ville, les secteurs :

- ✓ Scolaire (39 écoles) et Petite Enfance (12 crèches ou multi-accueil) ;
- ✓ Administratif (10 bâtiments) ;
- ✓ Sportif (4 stades et 5 gymnases) ;
- ✓ Culturel (7 établissements) ;
- ✓ Cultuel (5 églises) ;
- ✓ Socio-culturel (8 maisons de quartier) ;
- ✓ 180 logements...

III.4 Etat des lieux de la production de chaleur à Versailles

A partir du logiciel ENERGISME actuellement utilisé par le service énergie de la Ville de Versailles dans le cadre du reporting et du suivi des consommations, il a été possible de réaliser l'extraction ci-dessous représentant pour l'année 2018, les consommations en GAZ, ELECTRICITE, et réseau de CHALEUR.

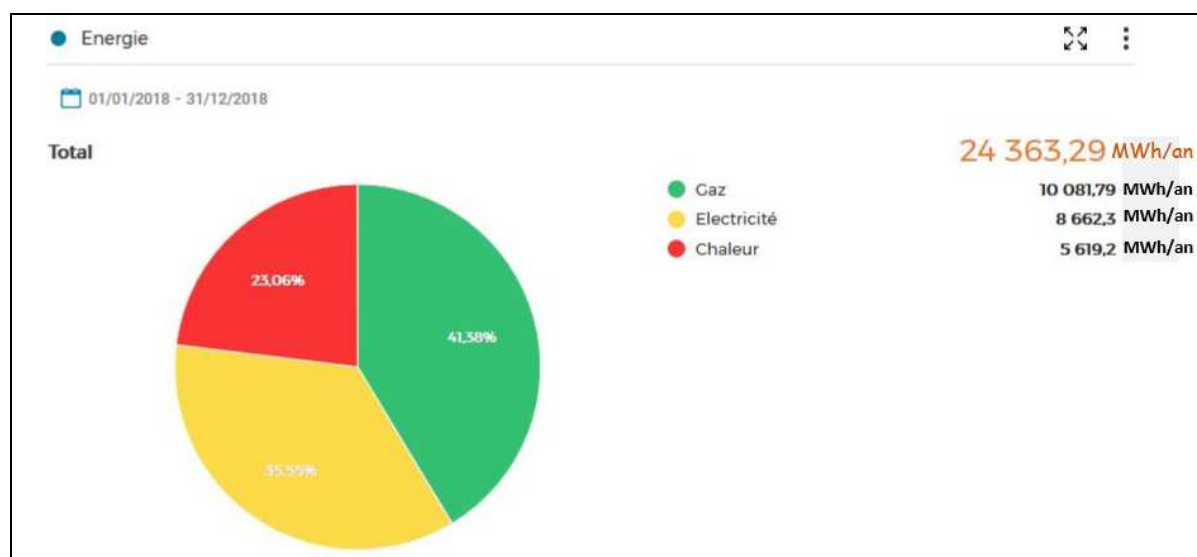


Figure 03 – Répartition des consommations d'énergie sur l'exercice 2018

Attention : L'extraction prend en compte dans sa partie électricité, l'éclairage public de la ville ainsi que les consommations usuelles des édifices publics.

Par conséquent, si l'on considère que la part ELECTRICITE est majoritairement due à des consommations externes à la production d'énergie, il est aisé d'observer que l'énergie GAZ est très fortement majoritaire pour la ville.

III.4.1 Le réseau de chaleur

La chaufferie VERSEO fut construite en 1970 et contenait alors une chaudière fonctionnant au fioul lourd. Deux autres chaudières fioul ont été installées quelques années plus tard et en 1984 une chaudière charbon est venue compléter l'installation.

Depuis 2011 de nombreux travaux ont été entrepris pour moderniser le réseau et notamment la rénovation des installations dans la chaufferie, le remplacement de tronçons de canalisation et le passage en Basse Pression, ainsi que l'installation de sous-stations intelligentes permettant une gestion optimisée et à distance du réseau.

Aujourd'hui, sous contrat de Délégation de Service Publique avec la ville de Versailles, échéance en 2023, les 3 chaudières gaz/fioul domestique de la chaufferie produisent 87 MégaWatts (MW) d'énergie thermique. La turbine de cogénération produit également 12 MW électriques.

Photographies prises lors de la visite des installations que nous avons pu effectuer en date du 6 septembre 2019.



Photographies 01 et 02 - Chaufferie centrale VERSEO

Le réseau est partagé en 2 sous-réseaux :

- Versailles : Réseau Haute Pression (HP) alimenté à 170°C de 15 km et 60 sous-stations ;
- Satory : Réseau Basse Pression (BP) alimenté à 110°C de 7 km et 24 sous-stations.

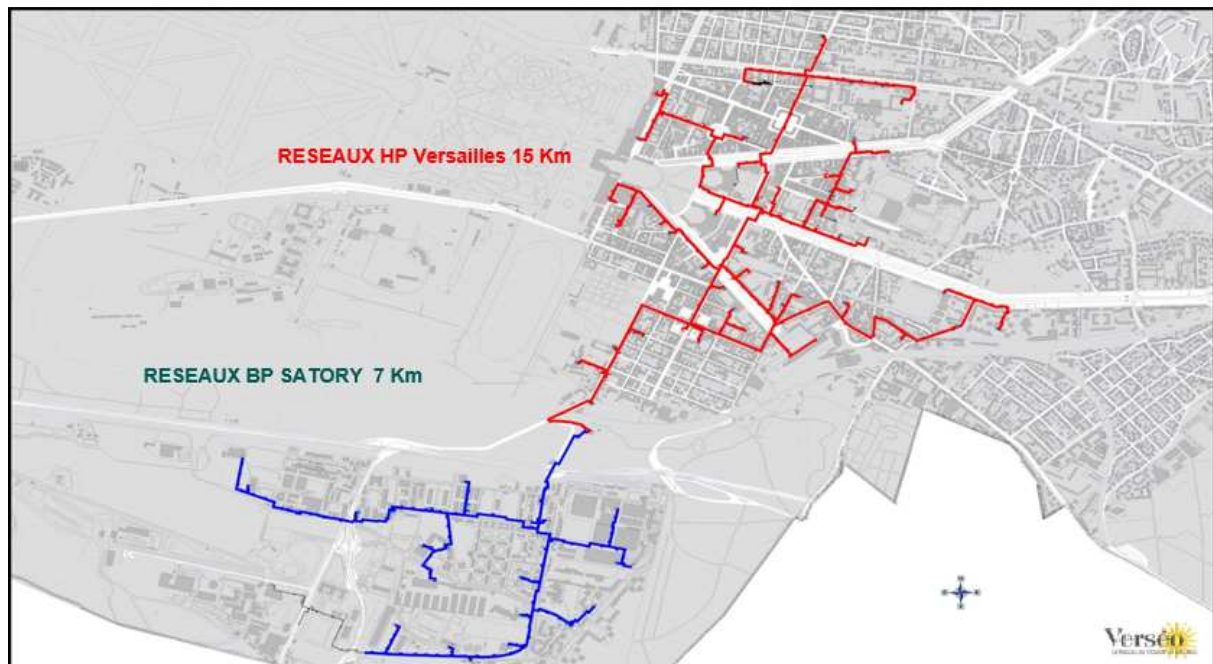


Figure 04 - Plan du réseau de chaleur (Source : ENGIE)

III.4.2 Les autres bâtiments

Comme représenté sur la figure 03, les autres bâtiments de la ville sont majoritairement chauffés par des chaudières individuelles GAZ et quelques bâtiments sont quant à eux chauffés par l'énergie électrique. La cible de cette étude est de « réduire » la consommation en GAZ de la ville.

IV. VERS UNE PRODUCTION DE CHALEUR RENOUVELABLE

IV.1 Pourquoi

Dans le cadre du Plan Climat Air Energie Territorial qui décline au niveau local les engagements pris par l'Etat dans le cadre de la COP 21 qui s'est tenue en 2015 en France, la Communauté d'Agglomération a eu pour mission de construire un projet territorial de développement durable, calibrant les orientations des intercommunalités pour six ans. A la fois stratégique et opérationnel, il prend en compte l'ensemble de la problématique climat-air-énergie autour de plusieurs axes d'actions :

- L'adaptation au changement climatique ;
- La qualité de l'air ;
- La sobriété énergétique ;
- La réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) ;**
- Le développement des énergies renouvelables.**

IV.2 La notion de chaleur fatale et ses sources de production

Par chaleur fatale, on entend une production de chaleur dérivée d'un site de production et qui n'en constitue pas l'objet premier, et qui de ce fait n'est pas nécessairement récupérée. Il s'agit par exemple de la chaleur contenue dans les fumées de fours, de chaleur émanant d'un procédé industriel ou comme dans notre étude de capter le pouvoir calorifique des effluents d'un bassin versant. En effet les réseaux d'assainissements présentent aussi un potentiel intéressant, à différents stades.

IV.3 Comment

Dans les zones urbaines et périurbaines, les eaux circulent dans les réseaux d'assainissement avec une température estimée entre 10°C et 20°C. En hiver, les eaux usées sont plus chaudes que l'air ambiant ainsi les calories des eaux usées peuvent être récupérées et exploitées à partir d'une pompe à chaleur pour le chauffage de bâtiment. De manière équivalente, en été, il est possible à partir du delta négatif de température de mettre en place un rafraîchissement de l'air du bâtiment considéré.

L'énergie des eaux usées peut être récupérée dans de nombreux endroits : dans les stations d'épuration, dans les collecteurs du réseau d'assainissement et dans les bâtiments ayant une forte consommation d'eau, comme l'illustre la figure suivante :

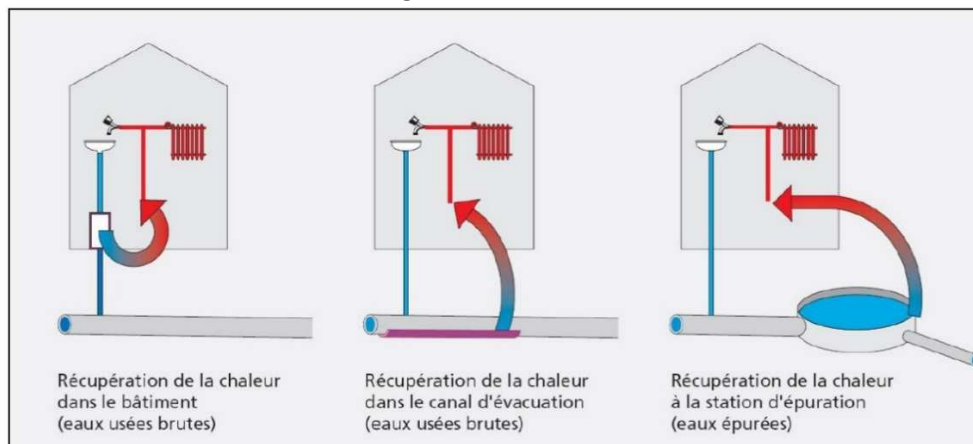


Figure 05 - Les différentes sources de récupération de chaleur de eaux usées

Il est à noter que chaque système présente des avantages et des contraintes. Le choix d'une technologie par rapport à un autre reste orienté par la nature du projet, le contexte du projet et bien évidemment sa gouvernance.

Dans les collecteurs	dans les STEP	dans les stations de relevage	au pied des bâtiments
<ul style="list-style-type: none"> Potentiel de puissance entre 10 kW et 1 MW S'installe dans le réseau public Nécessite d'avoir de longues conduites droites et un gros diamètre Doit vérifier les effets sur le fonctionnement du process de la STEP (abaissement de la T°) Proximité des preneurs de chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> Potentiel de puissance jusqu'à 20 MW Pas de problème de refroidissement Risque d'être éloigné des preneurs de chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> Potentiel de puissance jusqu'à 2 MW Solution indépendante de la taille du collecteur Système encore nouveau avec peu de retour d'expérience 	<ul style="list-style-type: none"> Potentiel de puissance entre 50 kW et 300 kW Solution simple pour l'eau chaude sanitaire, mais qui ne convient pas pour un chauffage à distance Solution individuelle, pour les bâtiments de taille significative (hôtel, hôpital, piscine, industrie)

Tableau 01 – Synthèse des procédés de récupération de chaleur (Source : ADEME)

Les études de potentiel et de faisabilité réalisées dans le cadre de ce projet s'intéresseront uniquement à la récupération de chaleur à l'intérieur des collecteurs

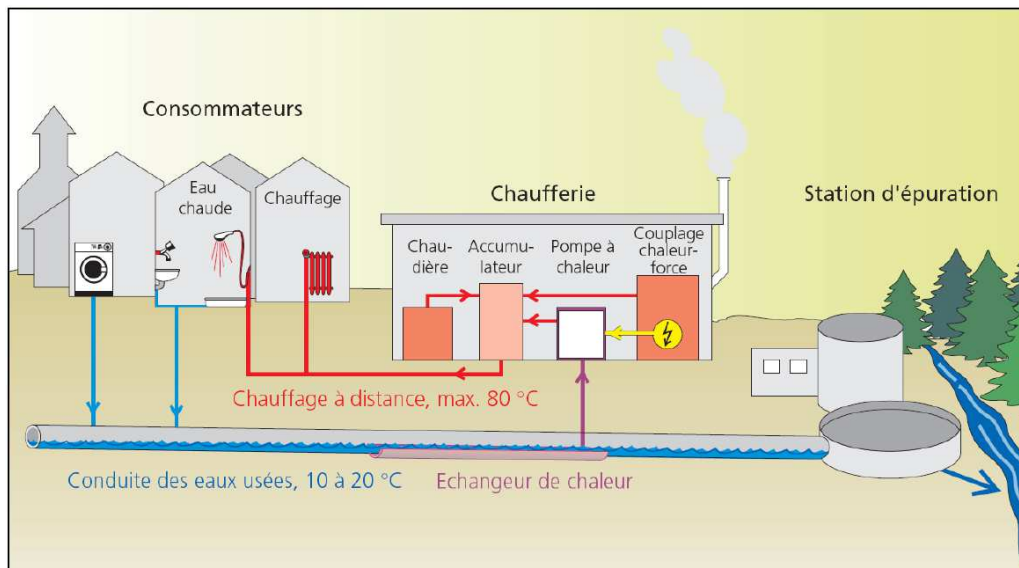


Figure 06 - Le principe de la récupération de chaleur sur collecteur

La technologie s'apparente à de la géothermie en considérant que notre ressource n'est pas une nappe d'eau mais les effluents transitant dans les collecteurs. La récupération de chaleur s'effectue par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur associé à une pompe à chaleur.

IV.4 La législation

La Commission européenne a introduit la récupération de chaleur des eaux usées dans sa refonte de la directive sur la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (RED II), comme étant une "énergie ambiante".

La récupération de chaleur des eaux usées est désormais reconnue par l'Europe comme une énergie renouvelable. Dans sa réécriture de la directive sur les énergies renouvelables (RED II) datant de décembre 2018, la Commission Européenne considère la chaleur fatale des eaux grises, au même titre que l'énergie solaire et éolienne, comme étant source d'énergie renouvelable.

Dans la directive 2018/2001, article 2, paragraphe 2, est considérée "**énergie ambiante, l'énergie thermique naturellement présente et l'énergie accumulée dans un environnement fermé, qui peut être emmagasinée dans l'air ambiant, hors air extrait, dans les eaux de surface ou dans les eaux usées.**"

Ainsi pour l'association européenne Waste Water Heat Recovery, composée de fabricants et distributeurs de cette solution, cette reconnaissance pourra avoir des conséquences importantes sur les politiques d'efficacité énergétique et les codes du bâtiment de chaque pays membre de l'Union Européenne.

V. LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR COLLECTEUR

La proximité entre la ressource (collecteur) et les bâtiments à chauffer est l'un des critères prépondérants pour envisager une opération de récupération de chaleur sur eaux usées. L'autre critère fondamental concerne le potentiel de valorisation des eaux usées : les zones d'urbanisme denses ou en projet sont particulièrement adaptées du fait de l'adéquation entre des besoins élevés et un rejet d'eau important et continu.

Dans ce cas de récupération de chaleur, deux procédés sont particulièrement mis en avant dans l'hexagone, l'un est développé et mise en œuvre par le groupe SUEZ, l'autre est développé et mise en œuvre par le groupe VEOLIA. Cependant une nouvelle société se lance dans le développement de cette technologie en France, il s'agit d'ENERLIS qui a conclu un partenariat en janvier 2017 avec l'entreprise Hongroise Thermowatt. In fine, il s'agit pour ces trois sociétés d'un objectif commun mais avec des procédés sensiblement différents. Par conséquent, dans le paragraphe suivant il est décrit brièvement le fonctionnement de ces trois procédés :

V.1 Les technologies les plus utilisées en métropole

V.1.1 La technologie « Degrés Bleus » exploitée par SUEZ en métropole

Le principe repose sur un échangeur de chaleur placé dans la canalisation d'eaux usées associé à une Pompe A Chaleur (PAC) installée dans le bâtiment à chauffer, à proximité du réseau d'eaux usées. Le circuit caloporteur est constitué de l'échangeur à plaque et d'un circuit de canalisation en boucle fermée qui transporte l'eau ou le fluide caloporteur. Le fluide caloporteur va être réchauffé par les eaux usées lors du passage dans l'échangeur. Ce circuit rejoint alors une pompe à chaleur (PAC), indispensable pour élever la température à un niveau exploitable (entre 50 et 70 °) pour des besoins de chauffage ; la température des eaux usées n'étant pas suffisante pour être utilisée telle quelle. La PAC, installée dans un bâtiment ou dans une chaufferie centrale, permet d'extraire la chaleur du fluide qui passe dans l'échangeur situé dans la canalisation pour la transférer vers le fluide qui alimente le circuit de chauffage. La PAC alimente un réseau qui peut desservir un ou plusieurs bâtiments... réversible, ce principe peut être utilisé également pour rafraîchir les bâtiments. Outre sa fonction essentielle, l'échangeur de chaleur présente un autre avantage : il garantit la séparation du réseau de chauffage et de celui des eaux usées.

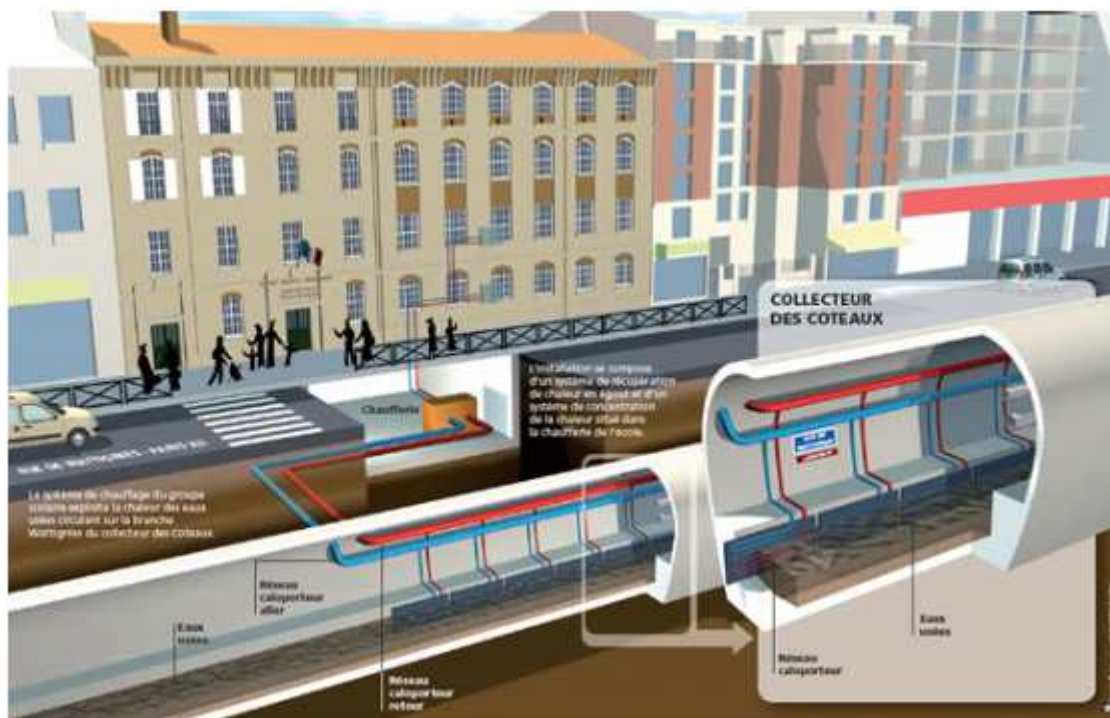


Figure 07 : Le principe de récupération de chaleur SUEZ

Le mot de Nicolas PICARD : Responsable Projet Commerciaux EAU France

« A une époque où les économies d'énergie sont devenues essentielles pour participer à la préservation de notre environnement, le principe DEGRES BLEUS s'inscrit pleinement dans cette optique. Ce principe vertueux de récupération d'énergie fatale, développé chez SUEZ, permet d'un côté de récupérer de l'énergie autre fois perdue, et d'un autre côté d'en économiser par la réduction de la consommation en énergie fossile. DEGRES BLEUS, c'est une vingtaine d'installations sur toute la France, qui depuis ses débuts a permis de récupérer 40 000 MWh et d'économiser l'équivalent de 12 600 Tonnes Equivalent Petrole (TEP). »

V.1.2 La technologie « Energido » exploitée par VEOLIA en métropole

Energido®, est un procédé développé par Veolia, qui consiste à récupérer les calories des eaux usées grâce à un échangeur de chaleur, puis d'en 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. La mise en place de la technologie Energido répond à un double objectif : réduire la part des énergies fossiles consommées pour les besoins thermiques du site et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Principe du procédé ENERGIDO®

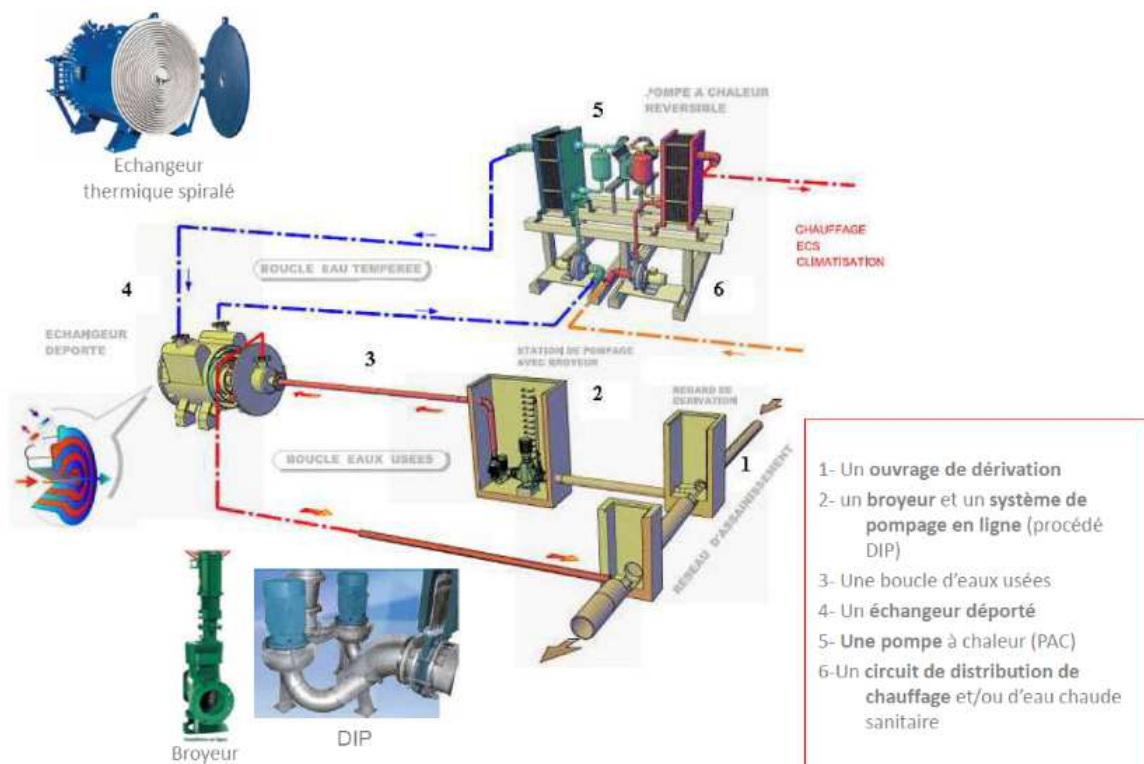


Figure 08 - Le principe de récupération de chaleur VEOLIA

Le mot de Jean Paul CHALOIN : Responsable Département Ingénierie, Réseaux d'Eau, Patrimoine

"Depuis le Grenelle de l'Environnement, la France s'est engagée dans une démarche ambitieuse visant à réduire ses consommations énergétiques et ses émissions de gaz à effet de serre (GES). En récupérant l'énergie naturellement contenue dans les eaux usées, la solution brevetée Energido exploite au niveau local une ressource abondante pour chauffer ou rafraîchir les bâtiments.

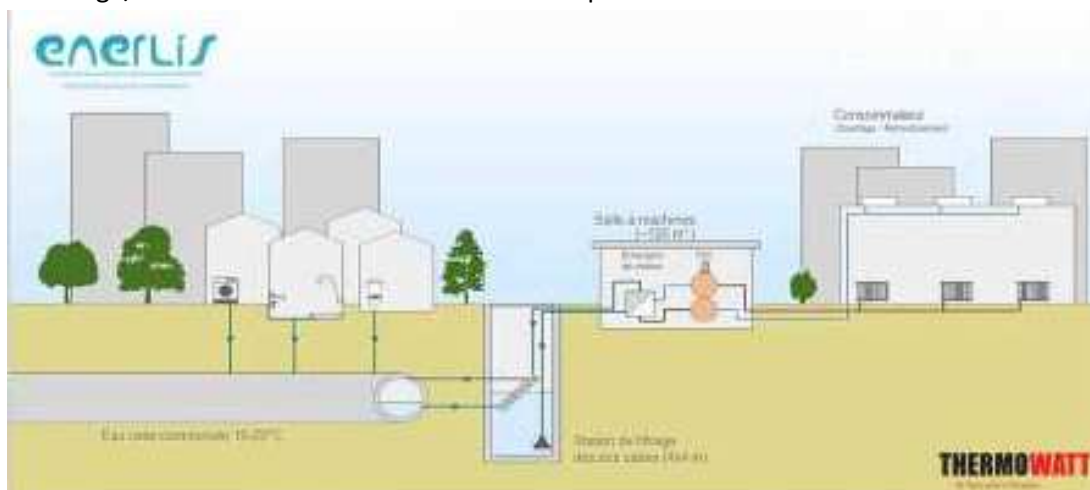
Facile à intégrer dans le paysage urbain, la solution Energido peut être développée à de nombreuses occasions : construction ou agrandissement de bâtiments, modernisation d'une installation de chauffage, mise en place d'un système de climatisation, rénovation d'une canalisation d'eaux usées à proximité du bâtiment concerné... et pour des usages variés : piscines et centres aquatiques, éco-quartiers, centres commerciaux, bâtiments tertiaires, écoles, hôpitaux, ...

En exploitant localement une ressource disponible tout au long de l'année, la solution Energido permet de produire une énergie renouvelable et ainsi de réduire la facture énergétique et les émissions de gaz à effet de serre."

V.1.3 La technologie « Thermowatt » développée en métropole par ENERLIS

Le procédé THERMOWATT se connecte en dérivation d'un système de collecte des eaux usées (réseaux ou ouvrages de transit et de traitement). Le dispositif permet de valoriser les calories des eaux usées pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments. Le principe s'appuie sur un échangeur qui transfère les calories vers une pompe à chaleur, raccordée aux circuits de chauffage, refroidissement et eau chaude sanitaire du bâtiment.

- ✓ Les effluents sont déviés vers une fosse de filtration équipée d'un dispositif de filtration. Ce dernier assure :
 - La filtration de l'effluent brut à une maille de 5 mm ;
 - Le renvoi dans le réseau de collecte des refus de dégrillage.
- ✓ L'effluent traité est refoulé vers le système d'échange de chaleur. Les calories sont alors transférées au fluide caloporteur ;
- ✓ Le fluide caloporteur transite jusqu'à la PAC où ses calories sont absorbées par le fluide frigorigène au niveau de l'évaporateur ;
- ✓ Le fluide frigorigène assure le dernier échange thermique avec le système de chauffage/refroidissement en restituant ou en captant les calories au niveau du condensateur.



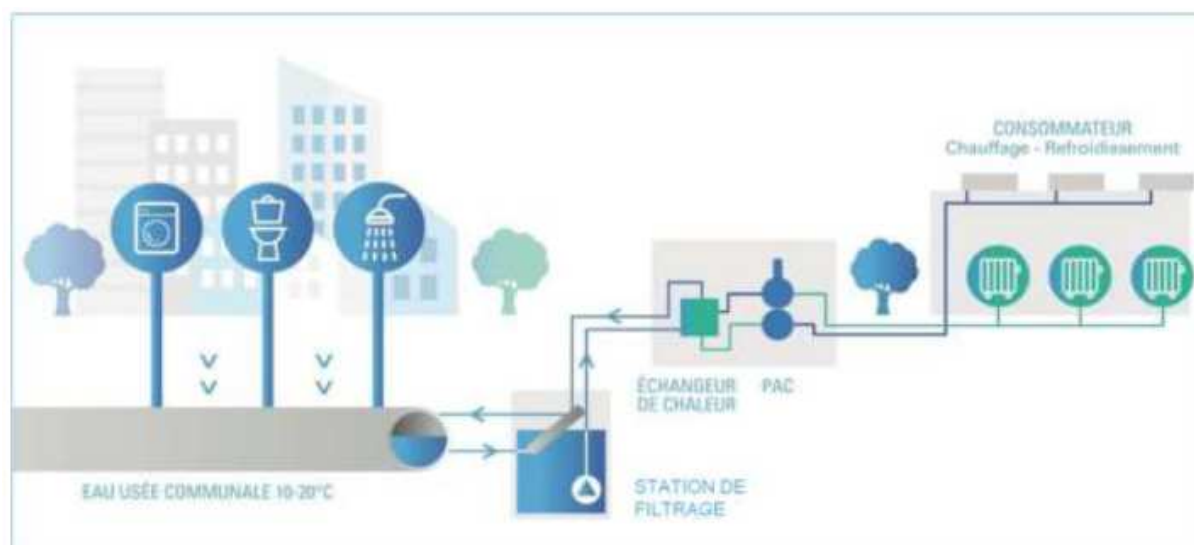


Figure 09 - Le principe de récupération de chaleur ENERLIS

Les conditions favorables :

Pour le procédé THERMOWATT, cette consommation locale doit être à minima de 1 MW.

S'agissant d'un procédé d'échange de calories entre fluides, la distance entre le point de collecte des eaux usées et le point final de consommation des calories doit être inférieur à 250-300m.

Le potentiel minimum est fonction de la température de l'effluent et du débit disponible, conformément au tableau suivant :

	Min 90 m3/h	100 m3/h	150 m3/h et plus
Min 10°C			X
15°C		X	X
20°C et plus	X	X	X

Tableau 02 – Critères de fonctionnement du procédé Thermowatt

Le mot de Stéphane VIALETES : Business Développeur (le 18/10/2019)

« Je viens d'avoir la confirmation que notre société ne représente plus la société Thermowatt sur la France et que je n'ai pas connaissance du nouveau distributeur. »

V.2 Les échangeurs thermiques

V.2.1 Qu'est-ce qu'un échangeur thermique

Il s'agit d'un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface de l'échange (ou surface de contact) qui sépare les fluides. La plupart du temps, on utilise cette méthode pour refroidir ou réchauffer un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou difficile de refroidir ou chauffer directement. Dans notre cas il est effectivement impossible de monter directement en température les eaux usées chargées de leurs polluants.

V.2.2 Les échangeurs couramment utilisés

V.2.2.1 L'échangeur à plaques

Il s'agit d'un dispositif composé de d'un grand nombre de plaques disposées en forme de mille-feuilles et séparées les unes des autres d'un petit espace (quelques millimètres) où circulent les fluides. L'échangeur à plaques est l'un des modèles les plus efficaces compte tenu de sa taille. L'avantage de ce type d'échangeur est sa simplicité, ce qui en fait un échangeur peu onéreux et facilement adaptable par ajout/retrait de plaques afin d'augmenter/réduire la surface d'échange en fonction des besoins.

V.2.2.2 L'échangeur à tube :

Il s'agit de l'assemblage de deux tubes concentriques. Le tube intérieur est traversé par un premier fluide tandis que le tube extérieur enveloppant est traversé par le deuxième fluide. Le sens de l'écoulement des deux fluides peut être le même (on parle d'échangeur co-courant) ou opposé (échangeur contre-courant).

V.2.3 Les échangeurs utilisés sur les réseaux d'assainissement

V.2.3.1 L'échangeur sur réseau existant :

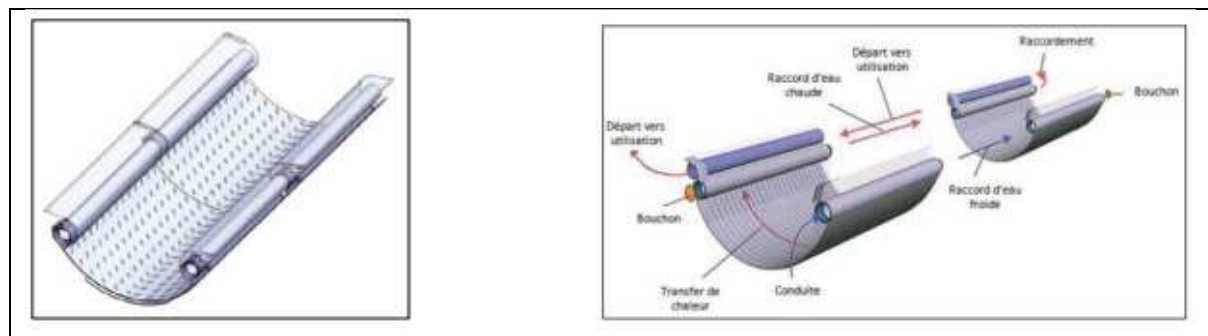


Figure 10 – Echangeur à plaques sur mesure (Source : SUEZ)

V.2.3.2 L'échangeur sur un réseau neuf



Photographies 03 et 04 – Echangeur à plaques intégré au collecteur (Source : Rabtherm)

V.2.3.3 L'échangeur déporté/spiralé



Photographies 05 et 06 – Echangeur déporté spiralé (Source : VEOLIA)

VI. L'ETUDE DE POTENTIEL

VI.1 Qu'est-ce qu'une étude de potentiel

Il s'agit à travers d'une étude bibliographique et/ou des relevés terrains de définir les aménagements et/ou investissements pouvant être réalisés pour satisfaire à un besoin préalablement identifié et ce en obtenant un bénéfice pour les parties concernées. Dans le présent cas, il s'agit d'identifier le potentiel des eaux usées de la ville de Versailles dans le but d'utiliser leur capacité calorifique pour chauffer un édifice public à travers un système de type pompe à chaleur. Ce procédé est reconnu sous le terme CLOACOTHERMIE.

VI.2 La topographie et l'hydrographie de Versailles

De par sa topographie, la ville de Versailles ne compte aucun cours d'eau important. Le réseau hydrographique est formé de trois (3) bassins versants principaux :

- **Le bassin versant Ouest** du ru Gally, il se rejette par les collecteurs intercommunaux, vers la station d'épuration du Carré de Réunion à Saint Cyr ayant une capacité de traitement 215 000 équivalent-habitants (EH) en temps sec et 340 000 EH en temps de pluie. Cette station est gérée par Hydreaulys-Ouest.
- **Le bassin versant Est** emprunte les collecteurs intercommunaux d'Hydreaulys qui traversent Viroflay, Chaville et Sèvres, longent ensuite la Seine pour aller jusqu'à la station d'Achères (5 000 000 EH). Cette station est gérée par le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP).
- **Le bassin versant Sud** du ru de la Bièvre est constitué par le Plateau de Satory dont les eaux ruissellent vers le Syndicat Intercommunal d'Assainissement de la Vallée de la Bièvre (SIAVB) pour rejoindre la STEP de Valenton gérée par le SIAAP.

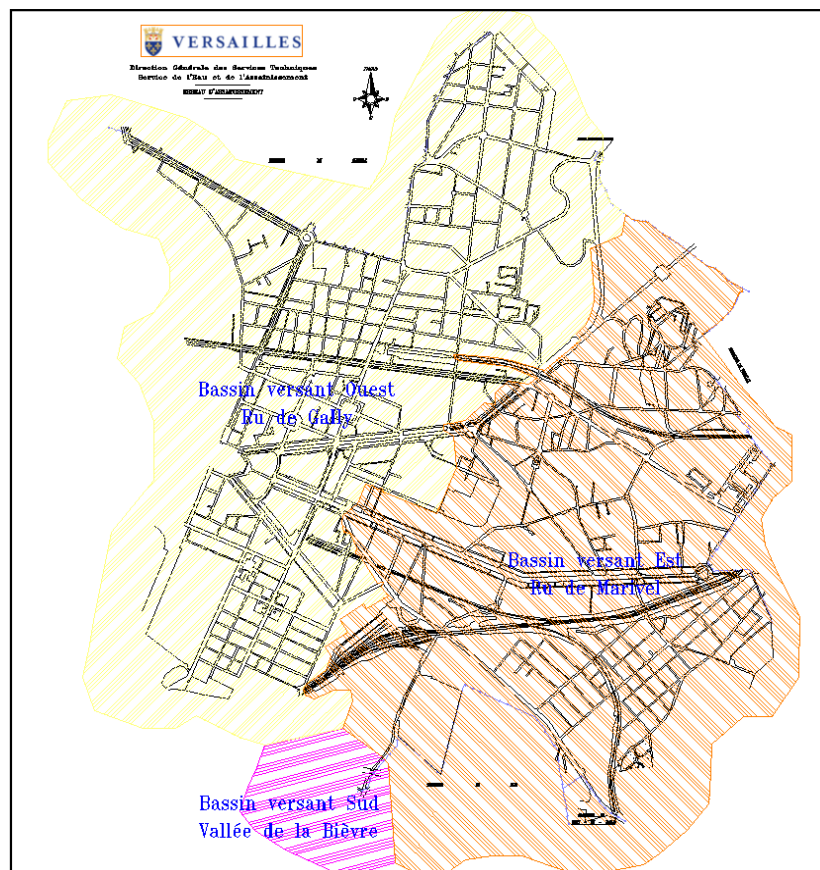


Figure 11 - Délimitation des bassins versants

VI.3 Le réseau d'assainissement de la ville

La ville de Versailles possède un réseau d'assainissement de type principalement gravitaire. Le linéaire total communal de 137 km est composé de 45 km entièrement visitables et de 92 km de canalisations non visitables. Ce réseau compte aussi 7 km de réseau d'eau pluviale.

Le réseau Versaillais comporte un tiers d'ouvrages et canalisations de hauteur supérieure à 1 mètre.

La quasi-totalité du réseau fonctionne en gravitaire avec un auto-curage relativement satisfaisant et trois siphons en Ø400 mm et Ø600 mm. Ce réseau ne comporte aucun déversement direct en milieu naturel.

Les chiffres clés du réseau d'assainissement de la ville :

Type de réseau	Versailles BV Est	Linéaire Versailles BV Ouest	Linéaire Versailles (total)
Unitaire	52 533 ml (soit ≈ 40% du linéaire	77 620 ml (soit ≈ 60% du linéaire	130 153 ml
Eaux usées	428 ml	78 ml	506 ml
Eaux pluviales	2 353 ml	4 619 ml	6 972 ml
TOTAL	55 314 ml	82 317 ml	137 631 ml

Tableau 03 : Chiffres clés du réseau de la ville de Versailles

VI.4 Axes de collecte principaux

Le réseau de la Ville de Versailles est divisé en deux entités indépendantes non connectées selon un axe orienté (Nord-est / Sud-ouest) illustré **Figure suivante n°12**. Les effluents collectés dans la partie Nord-ouest sont acheminés vers le réseau du bassin versant Ouest du ru de Gally, ceux collectés dans l'autre partie sont acheminés vers le bassin versant Est du ru de Marivel.

Le bassin versant Ouest du ru de Gally compte **quatre axes de collecte principaux** :

- Ouvrage de l'axe de la rue de l'Orangerie-avenue du Général Leclerc ;
- Ouvrage de l'axe du boulevard de la Reine ;
- Ouvrage de l'axe rue du maréchal Foch-rue d'Angivillier ;
- Ouvrage de l'axe de l'avenue de Saint Cloud - rue des Réservoirs ;

Le bassin versant Est du ru de Marivel compte **trois axes de collecte principaux** :

- Ouvrage le long du réseau du chemin de fer de la ligne Versailles Rive Droite ;
- Ouvrage de l'axe du boulevard de la République, rue de l'École des Postes ;
- Ouvrages de l'avenue de Paris.

Ces ouvrages assurent la collecte des effluents du réseau secondaire pour les acheminer vers les exutoires dédiés.

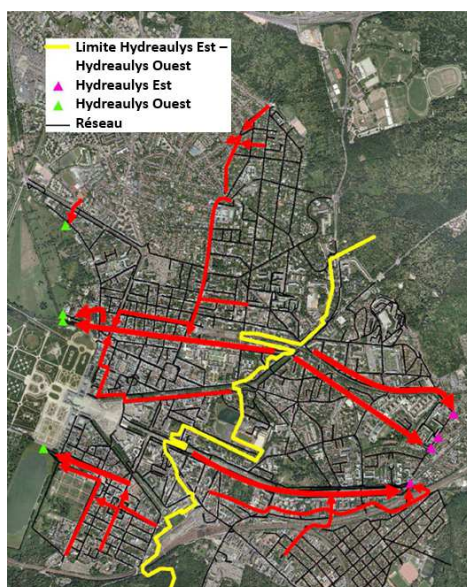


Figure 12 - Réseaux unitaires avec collecteurs principaux par bassin versant de collecte

VI.5 Les bâtiments de la Ville et de la CAVGP

La ville de Versailles possède 260 bâtiments dont 180 logements qui représentent environ 192 000 m² surface plancher – alors que sur l’emprise de Versailles, la CAVGP possède 3 bâtiments qui représentent environ 6 000 m².

Dont pour la Ville, les secteurs :

- ✓ Scolaire (39 écoles) et Petite Enfance (12 crèches ou multi-accueil) ;
- ✓ Administratif (10 bâtiments) ;
- ✓ Sportif (4 stades et 5 gymnases) ;
- ✓ Culturel (7 établissements) ;
- ✓ Culte (5 églises) ;
- ✓ Socio-culturel (8 maisons de quartier) ;
- ✓ 180 logements

Dont pour la CAVGP (4 bâtiments), les secteurs :

- ✓ Culturel (2 bâtiments) ;
- ✓ Administratif (2 bâtiments).

La gestion du patrimoine immobilier de la ville est réalisée par la Direction des Bâtiments, concernant les travaux de rénovation une programmation pluriannuelle est mise en place. Ce type de programmation n’est pas réalisée dans le cadre des travaux sur les installations de chauffage qui sont quant à eux réalisés en cas de panne, ce qui conduit la ville à travailler sur une politique de redondance des équipements.

VI.6 Les prérequis

VI.6.1 Le collecteur d’assainissement

Au cours de ma recherche bibliographique, une des premières étapes fut d’identifier les prérequis indispensables au bon fonctionnement des techniques précédemment citées. Pour ce faire au-delà de la recherche bibliographique, j’ai provoqué des entretiens avec des représentants de SUEZ pour la

technologie « Degrés Bleus » et des représentants de VEOLIA pour la technologie « Energido ». Ces entretiens se sont déroulés au cours de la première quinzaine du mois de juin et à partir de ceux-ci j'ai pu identifier les prérequis concernant le réseau d'assainissement.

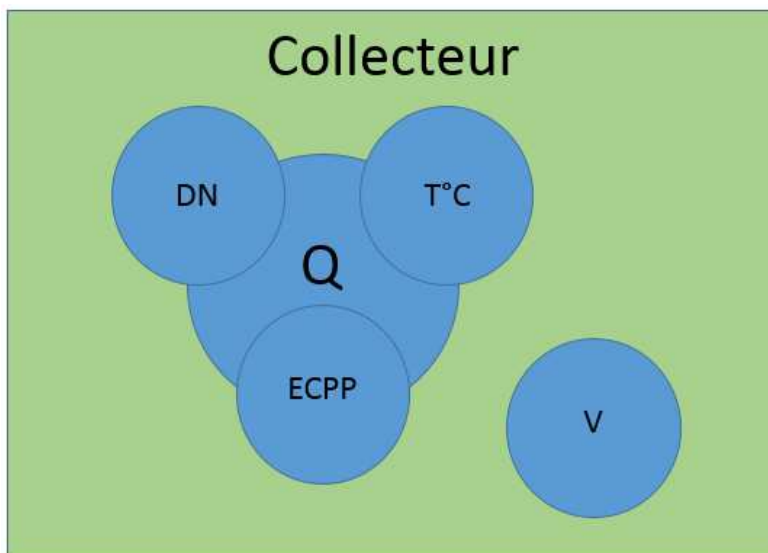


Figure 13 - Schéma de principe prérequis des collecteurs

Le débit minimum de temps sec : Dans la bibliographie, l'ensemble des données converge vers la nécessité d'avoir un débit minimal de temps sec de 10 l/s soit 36 m³/h ou 864 m³/j ce qui représente un bassin versant de pour la ville de Versailles de :

Consommation	159 l/hab/j	0.159 m ³ /hab/j
Volume nécessaire		864 m ³ /j
Equivalent Habitant		5 434 EH

Tableau 04 – Equivalent Habitant minimum à la ville de Versailles

Le diamètre ou la géométrie du collecteur : Dans le cadre d'un nouveau réseau ou d'un remplacement complet du collecteur, il existe sur le marché des collecteurs pré-équipés de diamètre 500 mm, cependant dans le cas d'une réhabilitation le diamètre minimum sera pris de 800 mm afin de satisfaire aux contraintes de mise en place du système à l'intérieur de l'ouvrage.

La température des effluents : L'une des données importantes est également la température des effluents, en effet plus la température de ceux-ci est élevée meilleure sera le Coefficient de Performance (COP**) de la pompe à chaleur, en réduisant l'écart de température entre celle de l'effluent et celle à atteindre pour le confort de chauffage.

COP :** La performance énergétique d'une pompe à chaleur se traduit par le rapport entre la quantité de chaleur produite par celle-ci et l'énergie électrique consommé par le compresseur. Plus le chiffre est élevé, plus le système est performant (max 7).

La part d'eaux claires parasites et leurs origines : Une donnée parfois mal appréhendée ou oubliée est la part d'eaux claires parasites. En effet suivant leurs origines, les eaux parasites pourront faire diminuer la température de l'effluent et par conséquent réduire la performance de la pompe à chaleur. Il est préférable d'avoir des entrées d'eaux claires inférieures à 40%.

La vitesse de l'effluent : Selon la technique utilisée, l'une des problématiques est la formation d'un biofilm sur l'échangeur réduisant considérablement l'échange thermique, la bibliographie concède un

abattement pouvant aller jusqu'à 50% du transfert thermique. Cependant des solutions restent possibles même en cas de faible vitesse avec la mise en place de chasse ou la mise place de consignes d'exploitation. (tel qu'un nettoyage / balayage à fréquence donnée).

Tableau de synthèse des prérequis sur collecteur :

Désignation	Unité	Valeur
Débit Min. Temps Sec	l/s	10
Min. Température	°C	10 à 12
Géométrie	mm	500 neuf / 800 existant
Eaux Claires Parasites	%	<40
Vitesse	f(DN)	Autocurage

Tableau 05 - Synthèse de principe prérequis des collecteurs

VI.6.2 Le bâtiment

Cependant, le réseau d'assainissement n'est pas le seul prérequis à étudier, en effet l'aspect bâtiminaire est tout aussi important avec les critères suivants :

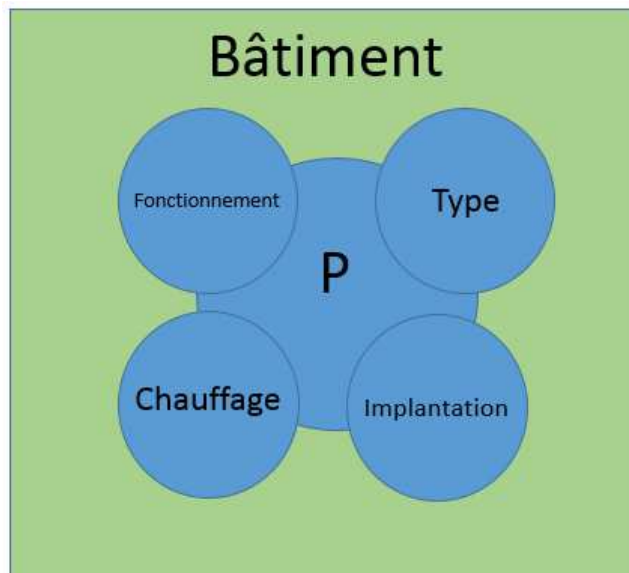


Figure 14 - Schéma de principe prérequis du bâtiment

Type de bâtiment : le type de bâtiment est à prendre en compte dans l'étude de potentiel, un gymnase n'est généralement pas un bâtiment à fort potentiel en raison de ses grands volumes à chauffer, cependant il faut rapporter les besoins en énergie au potentiel du collecteur.

Fonctionnement du bâtiment : Comme l'étude se base sur le débit de temps sec, il est préférable d'orienter l'étude sur des bâtiments ayant des besoins réguliers en chauffage, des logements, écoles, bâtiments de bureaux, piscine.

Mode de chauffage du bâtiment : Comme évoqué lors de la partie collecteur, le COP sera fonction de l'écart de température entre l'effluent et le besoin en chauffage. Par conséquent il est préférable d'orienter l'étude vers des bâtiments à chauffage basse température ou des bâtiments dont la restructuration est envisagée et possible.

Puissance de chauffage nécessaire : Suivant les technologies et la puissance de chauffage requise est de minimum 100 kW, il est important de mettre en adéquation l'étude technico-économique pour faire le parallèle entre le coût de revient et le gain généré.

Implantation du bâtiment : L'une des données importantes au niveau bâtementaire est l'implantation du bâtiment par rapport au collecteur, même si la bibliographie permet une distance de 200 mètres linéaire entre le bâtiment et son collecteur, chaque cas est à étudier avec intérêt. En effet, l'éloignement signifie, tranchée, canalisation pour le fluide caloporteur, pompes et également contrainte forte pour zone densifiée.

Tableau de synthèse des prérequis bâtementaire :

Désignation	Unité	Valeur
Type de bâtiment		BBC
Fonctionnement		constant
Mode de chauffage		Basse Température
Puissance requise	KW	>100
Implantation // collecteur	ml	< 200

Tableau 06 - Synthèse de principe prérequis bâtementaire

VI.6.3 La synthèse

Dans le cas d'un projet sur des ouvrages existants, la finalité est de pouvoir croiser les données issues des caractéristiques des bâtiments avec les données des caractéristiques des collecteurs pour identifier le ou les bâtiments à fort potentiel.

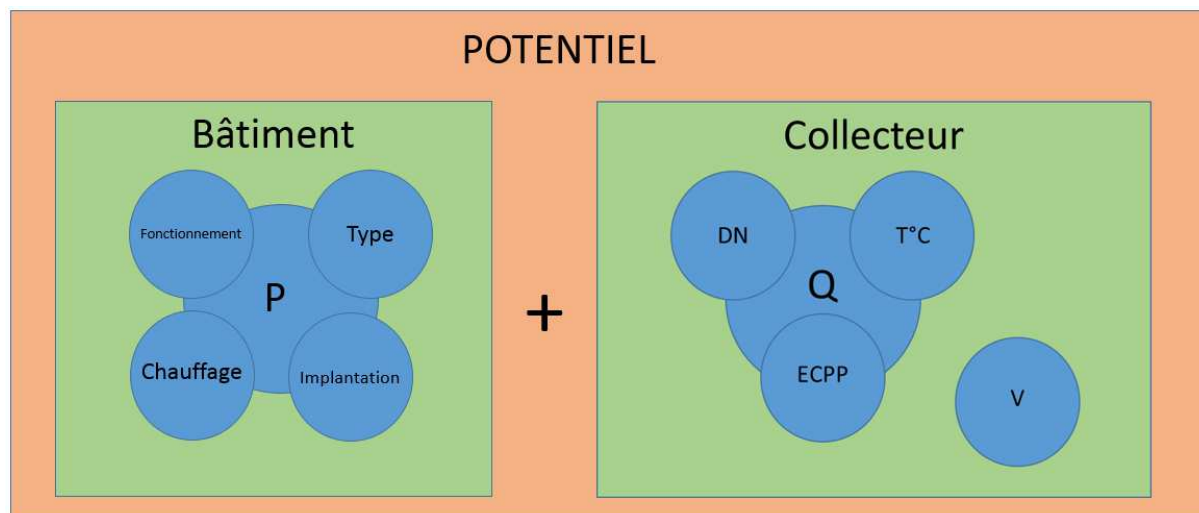


Figure 15 - Schéma de principe prérequis (synthèse)

Enfin d'une manière concomitante à l'étude des paramètres précédemment cités au profit du bâtiment et des collecteurs, j'ai étudié la planification ou la programmation des travaux d'entretien ou de maintenance. En effet, d'un point de vue économique, il est opportun de planifier la mise en place en place de cette technologie avec la programmation de remplacement des chaudières, une rénovation énergétique des bâtiments ou encore avec les travaux de maintien en conditions des collecteurs si ceux-ci entrent dans la programmation pluriannuelle.

VI.7 Le cas de la ville de Versailles - Les données d'entrées

Afin de mener à bien cette étude, j'ai ainsi dû croiser les informations que j'avais à ma disposition. Dans un premier temps, furent étudiées les données du schéma directeur d'assainissement de 2012 donnant des indications sur les collecteurs ayant les débits les plus favorables. Dans un second temps, une fois les collecteurs identifiés, les bâtiments à proximité furent étudiés à leur tour.

VI.7.1 L'étude du réseau d'assainissement (débit, vitesse, température, ECPP).

Il est cependant établi que la source de cette première étude bibliographique de fonctionnement du réseau d'assainissement, se base uniquement sur le schéma directeur d'assainissement réalisé en 2012.

VI.7.1.1 Le débit de temps sec

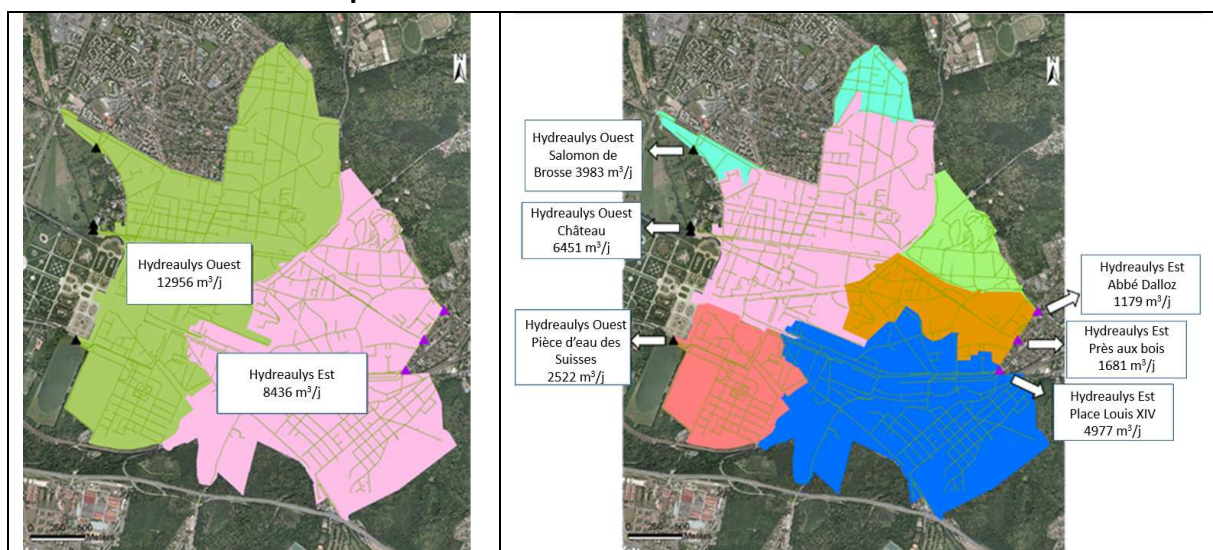


Figure 16 - Représentation des bassins versants et exutoires

Afin de s'assurer qu'il existait un potentiel au profit de la ville de Versailles, la première étape fut de vérifier qu'aux exutoires de la ville le débit minimum de temps sec répondait au minima de mise en place des technologies précédemment citées, ainsi à partir du schéma directeur de 2012 les débits aux exutoires furent examinés.

Bassin Versant	Localisation	Débit m ³ /j	Débit l/s	Indicateur
Hydreaulys Ouest	Salomon de Brosse	3983	46,10	😊
Hydreaulys Ouest	Château	6451	74,66	😊
Hydreaulys Ouest	Pièce d'eau des suisses	2522	29,19	😊
Hydreaulys Est	Abbé Dalloz	1779	20,59	😊
Hydreaulys Est	Près aux bois	1681	19,46	😊
Hydreaulys Est	Place Louis XIV	4977	57,60	😊

Tableau 07 - Synthèse du moyen de temps sec aux exutoires

A noter que la campagne qui a donné ces résultats a été effectuée entre le 18 mai et le 22 juillet 2011.

Dans le schéma directeur et comme il est d'usage, le bureau d'étude SAFEGE a réalisé le calage du modèle. Une fois ce calage réalisé, différentes simulations ont été effectuées qui ont données lieu à la réalisation de cartographie de temps sec simulées à partir du logiciel MikeUrban.

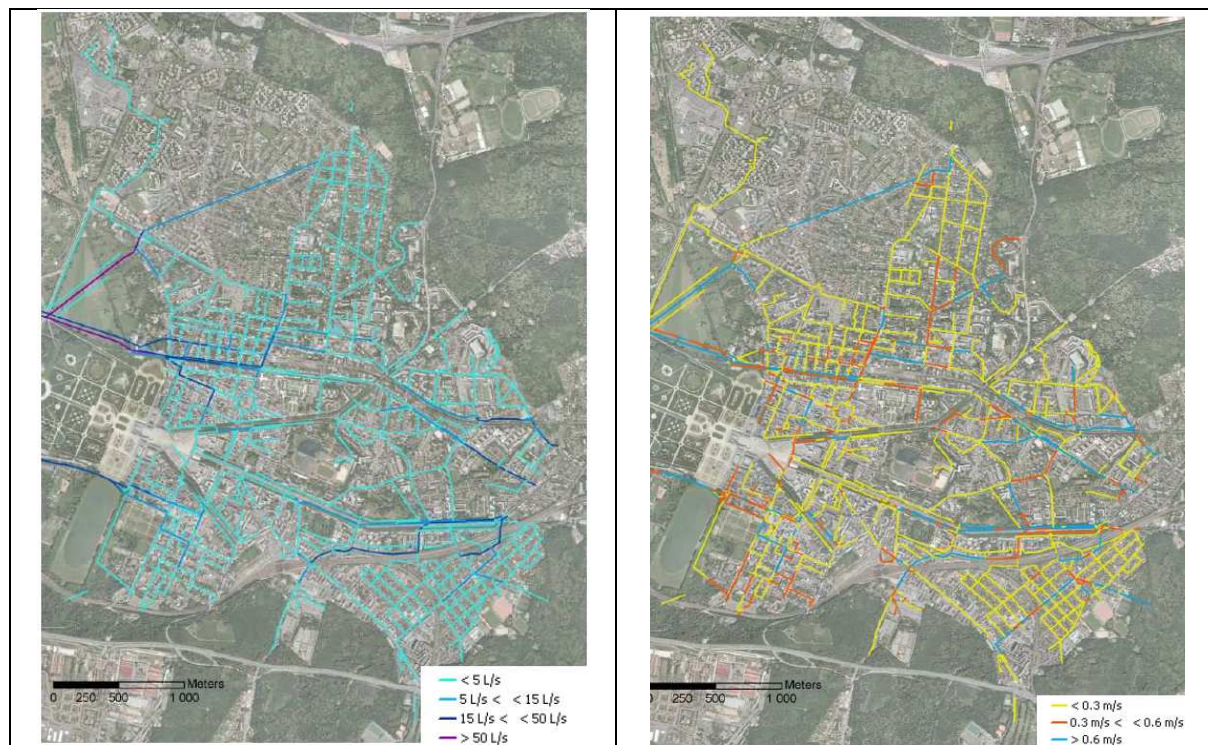


Figure 17 - Représentation des débits (à gauche) et vitesses (à droite) (Source SDA 2012)

En première approche, il est constaté que les débits les plus importants se situent au niveau des exutoires ce qui est cohérent par rapport au fonctionnement du système Versaillais. A partir de ces cartographies et des plans de récolements AUTOCAD du réseau de la ville, nous avons retenu 21 collecteurs qui présentaient les conditions préalables à la récupération de chaleur, ces conditions étant le débit et la vitesse.

La liste des 21 collecteurs identifiés est jointe en annexe A

Ainsi, afin de faciliter la poursuite de l'étude de potentiel, les données du schéma directeur de 2012 ont été reportées sur le Système d'Information Géographique (SIG) de la Communauté d'Agglomérations de Versailles Grand Parc.

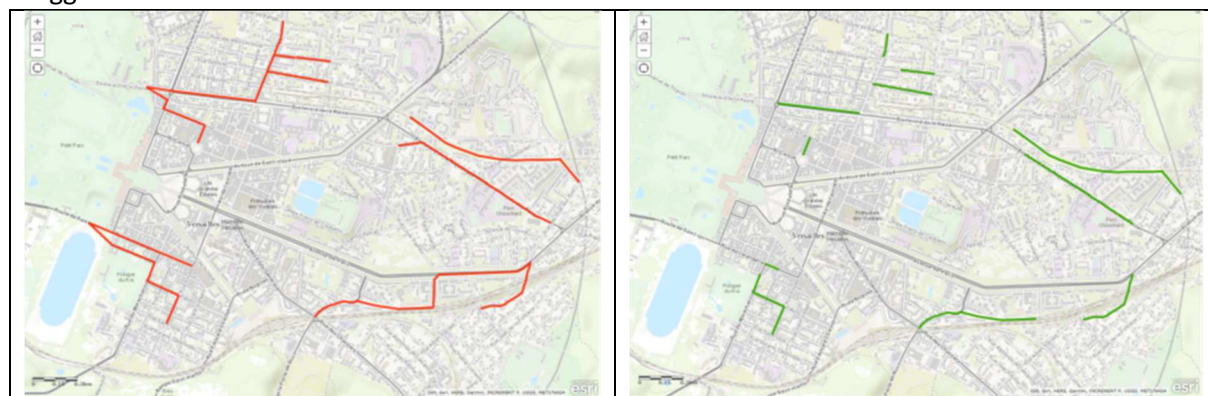


Figure 18 - Report des collecteurs aux prérequis de débits (à gauche) et vitesses (à droite) sur le SIG

VI.7.1.2 La part d'ECPP

La cartographie des ECPP issue du schéma directeur de 2012

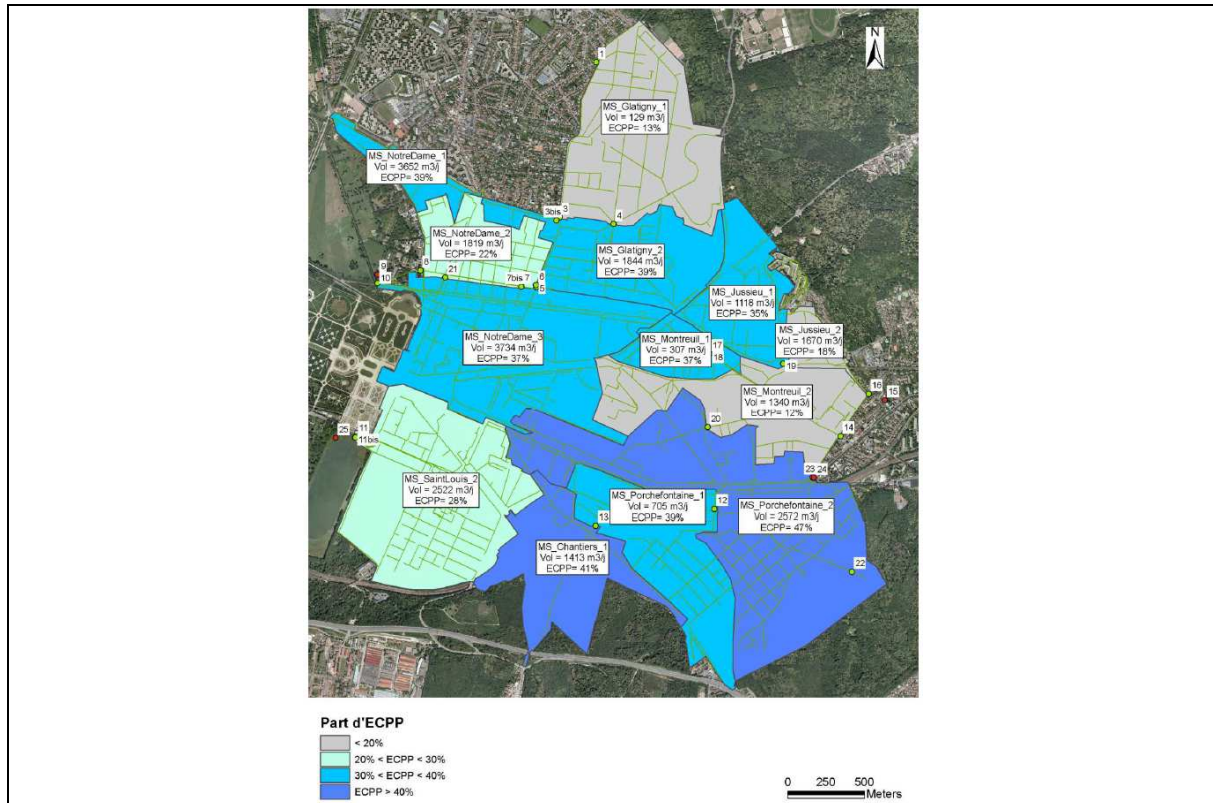


Figure 19 - Représentation de la part des ECPP (Source SDA 2012)

VI.7.1.3 La température

La campagne de mesure réalisée dans le cadre du schéma directeur d'assainissement de 2012, ne faisait apparaître aucune donnée de température.

VI.7.2 L'étude du patrimoine immobilier

A partir du SIG de Versailles Grand Parc, il a pu être identifié les bâtiments propriétés de Versailles Grand Parc et de la Ville de Versailles sur le territoire de la Ville de Versailles. De plus, à partir des collecteurs préalablement identifiés et supposés réunir les conditions de débit, de vitesse et de dimension auxquels ont été créées des zones tampons de 150 m, il a été possible de déterminer l'ensemble du patrimoine bâti public dans l'emprise de nos sites d'études. La ville de Versailles étant particulièrement densifiée comme le sont les grandes agglomérations françaises, le parti a été pris de se limiter aux bâtiments situés à proximité immédiate des collecteurs considérés et de ne pas proposer de bâtiments qui nécessiteraient de faire cheminer sur plusieurs centaines de mètres le réseau de fluide caloporteur ou la dérivation des effluents.

La construction des zones d'intérêts de notre étude est schématisée sur la figure ci-après.



Figure 20 - Construction des zones d'intérêts

La liste des bâtiments à l'intérieur des zones d'intérêts est transmise en annexe B

VI.8 La réalisation d'une campagne de mesure

VI.8.1.1 Le choix de la campagne de mesure

N'ayant pas en ma possession le logiciel MikeUrban qui fut utilisé lors de l'élaboration du schéma directeur, j'ai pris contact avec des bureaux d'études spécialisés en hydraulique des réseaux pour réaliser une campagne de mesure sur les collecteurs qui semblent répondre aux exigences des procédés et qui sont à proximité de bâtiments publics.

Extrait du guide de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) concernant le choix de la modélisation ou de la mesure :

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Modélisation : Conversion hauteur-débit	<ul style="list-style-type: none"> • Peu coûteux en investissement (sauf pour la modélisation 3D) ; • Exploitation peu contraignante ; • Bonne fiabilité des capteurs ; • Peu de manipulation humaine ; • Taux de disponibilité des données élevé ; • Utilisation possible en commande. 	<ul style="list-style-type: none"> • Validité des hypothèses de calcul difficile à vérifier ; • Une campagne de mesures temporaire reste nécessaire la plupart du temps pour le calage des données ; • Les phénomènes de dépôt et de sédimentation sont difficilement pris en compte.

	AVANTAGE	INCONVENIENT
Mesure simultanée de hauteur et de vitesse	<ul style="list-style-type: none"> • Moins d'hypothèses de calcul que la modélisation ; • Fournit davantage d'informations sur le fonctionnement hydraulique de l'ouvrage ; • Certaines techniques sont faciles d'installation ; • Certains appareils mesurent en même temps la hauteur et la vitesse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Souvent inadaptée aux sites complexes (bulles, turbulences, singularité) ; • Souvent coûteux en investissement (hors Doppler) ; • Travaux de génie civil (hors Doppler) ; • Contraignant en maintenance (Doppler) et fiabilité moindre que pour les capteurs en hauteur d'eau.

Tableau 08 – Méthode de modélisation ou mesure (Source guide AERM)

VI.8.1.2 La localisation

Ce marché passé sous le code des marchés publics a donné lieu à des prises de mesure durant 15 jours dans 7 collecteurs sis : (collecteurs à proximité de bâtiments aux puissances de chauffage > 100kW)

- Boulevard de la Reine Sud ;
- Avenue de Paris ;
- Rue de l'école des postes ;
- Rue de l'Orangerie ;
- Passage SNCF Est ;
- Passage SNCF Ouest ;
- Passage SNCF – Place Touraine.

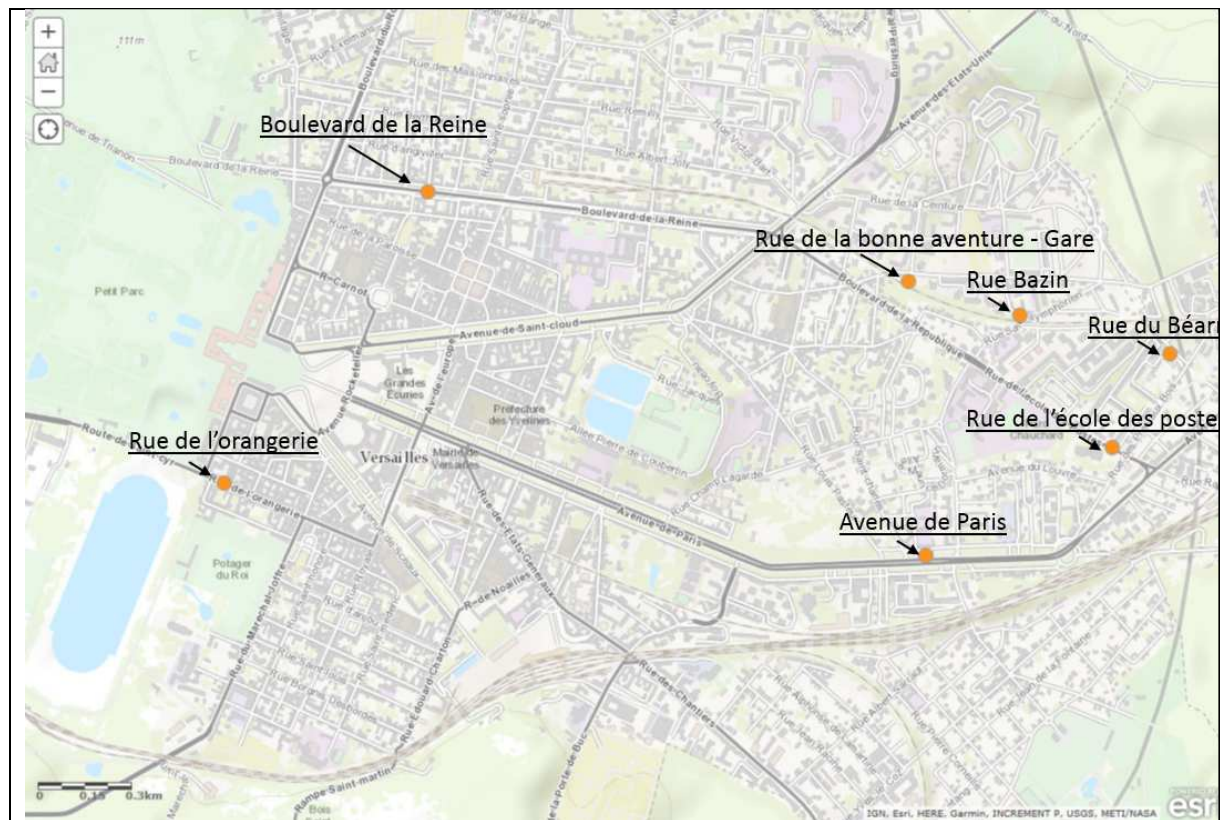


Figure 21 - Localisation des points de mesure

A noter, qu'initialement l'étude portait sur 21 collecteurs conformément à l'annexe A.

Cette campagne de mesure a débuté le 25 juillet 2019 (pic de la canicule 2019 en IDF) pour se terminer le 08 août 2019.

VI.8.1.3 Le calendrier de réalisation de la campagne de mesure :

VI.8.1.3.1 Déroulement de la campagne :

- Repérage de la localisation des points de mesure à mettre en place ;
- Mise en place des points de mesure J1 et J2 ;
- Vérification du bon fonctionnement des points J3 ;
- Prise de mesure entre J3 et J18.

VI.8.1.3.2 Les équipements mis en place :

Dans cette étude, c'est particulièrement les faibles débits et la température que nous cherchons à avoir, en effet comme précisé au §VI.6.1 les technologies utilisées nécessitent un débit minimum de temps sec de 10 l/s et une température de 10°C minimum.

Débitmètre à effet doppler Mainstream IV :

Hauteur : par mesure de pression.
Utilisation d'une sonde de niveau piézorésistive

Vitesse : par effet Doppler
Un faisceau d'ultrasons est émis par une sonde immergée, suivant l'axe de la canalisation. Ces ondes sont réfléchies par toutes les particules en suspension dans l'eau. Elles sont analysées pour déterminer la vitesse moyenne de l'eau.

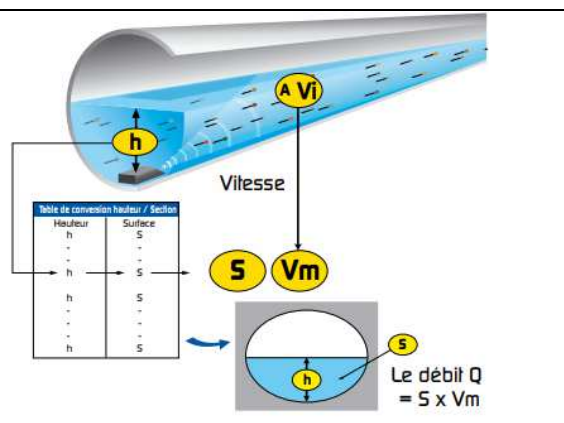


Figure 22 - Principe DOPPLER issu de la documentation HYDREKA

Le capteur de température Tinytag Splash 2 :

Il permet la prise de température sur une plage de -30°C à + 105°C avec une résolution de 0,01°C





Figure 23 – Image de la sonde température Tinytag Splash 2

VI.8.1.3.3 L'incertitude des mesures :

Dans notre étude, nous allons baser le dimensionnement de notre installation sur le débit minimum de temps sec, cette valeur minimale nous intéressant particulièrement.

Cependant la hauteur d'eau est une source d'incertitude pour la mesure de vitesse par effet doppler. Néanmoins en consultant la documentation technique du Mainstream IV, on peut lire les informations suivantes :

 <p>Capteur de vitesse de type Doppler</p>	Matériau	PVC usiné.
	Méthode	Double faisceau acoustique de mesure de vitesse.
	Plage de mesure	1 cm/s à 5 m/s dans les deux sens.
	Données	Vitesse moyenne.
	Résolution	1 mm/s.
	Hauteur d'eau mini	Mesure de vitesse à partir de 15 à 20 mm au dessus du capteur.
 <p>Capteur de hauteur de type Piézorésistif</p>	Matériau	Titane ou Inox 316 L.
	Capteur	Sonde de hauteur piézorésistive, immergée 4-20 mA (12-24V) passif.
	Plage de mesure	Au choix.
Option	Capteur de hauteur	Ultrasons aériens 4-20 mA (12-24V) actif.

Moinsleom IV version 4 - Novembre 2012 - DAUDIN - 3 24 5316 26

Figure 24 – Description technique du Doppler

Il est bien précisé qu'il est utilisable à partir de 1.5 – 2 cm, et le fabricant ne fait en aucun cas mention d'incertitude. Le parti a été pris de se rapprocher du constructeur pour obtenir des informations plus précises à ce sujet.

Cependant la réponse du constructeur quant à la précision de la mesure pour les faibles hauteurs pourrait permettre de déterminer si la mise en place d'une rétention à l'aval du point est nécessaire. Encore faut-il s'assurer que cette rétention ne provoque pas de tourbillons (des vitesses négatives seraient comptées).

Après contact avec un technicien de la société HYDREKA, il m'a été précisé que l'intervalle de confiance sur la mesure de la vitesse est de 0,001 m/s et qu'il est de 0,001 m sur la mesure de hauteur à partir du capteur piézorésistif et ce à partir d'une hauteur d'eau de 1,5 cm.

Néanmoins lorsqu'on regarde les autres technologies de mesures disponibles pour la mesure du débit, il y a :

- ✓ Le radar (solution trop chère, surtout pour des points de mesures non permanents et qui nécessite un écoulement torrentiel) ;
- ✓ La mesure par corde de vitesse (qui nécessite du génie civil et donc ne convient pas à de la mesure ponctuelle) ;
- ✓ Les capteurs à corrélations d'écho.

Dans le cas d'une prise de mesure à une période plus représentative, il serait préconisé de minorer les résultats de l'étude de 10 à 15%, cependant en raison de la période sur laquelle a pu être réalisée la campagne nous avons décidé de ne pas minorer les résultats aux risques d'écarter certains points à potentiel.

Les références :

Dans le cas de cette étude des données des collecteurs, le parti a été de comparer ces incertitudes et les technologies proposées avec des guides en vigueur. En l'occurrence nous avons pris comme référence, le guide de l'autosurveillance des réseaux d'assainissement GRAIE et le guide de mise en place de l'autosurveillance de l'AERM.

VI.8.1.3.4 La mise en œuvre

Le marché a été contractualisé avec la société SEVESC, la mise en œuvre a été quant à elle réalisée les 23 et 24 juillet 2019 avec une visite de contrôle hebdomadaire des équipements. En parallèle, il a été effectué un suivi de la pluviométrie et des températures sur Versailles.



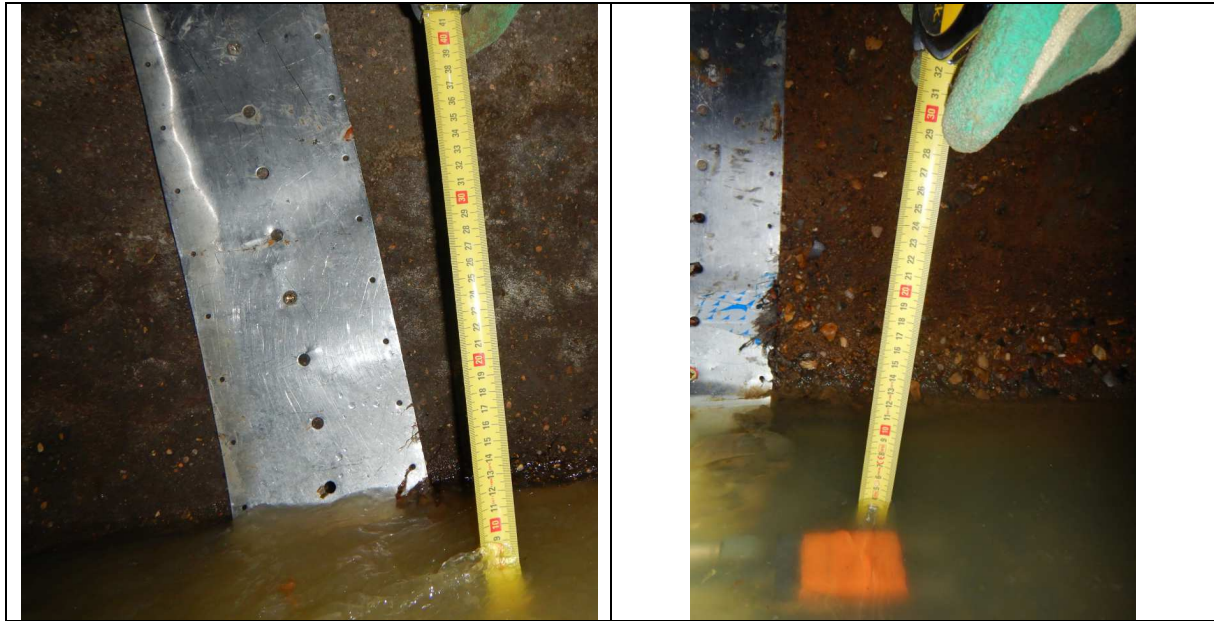
Photographies 07 et 08 - Mise en œuvre du capteur de vitesse

VI.8.1.3.5 La vérification de la bonne exécution

Afin de s'assurer de la bonne mise en place des équipements et que la hauteur d'eau était suffisante à une période de faible consommation, nous avons parcouru quelques points de mesure avec le responsable de la régie assainissement le mardi 30 juillet 2019 en prenant soin de noter les horaires des prises de mesure.

Suivi intermédiaire interne du 30 juillet 2019 :			
Localisation	Heure d'intervention	Hauteur d'eau mesurée	Hauteur d'eau Capteur (données brutes)
Place Touraine	15h30	7,0 cm	61,59 mm
Rue de l'école des postes	15h45	6,5 cm	53,13 mm
Rue de la bonne Aventure - Gare	16h00	3,5 cm	25,25 mm
Avenue de Paris	16h15	13,5 cm	123,57 mm

Tableau 09 – Tableau de comparaison relevé terrain et hauteur capteur



Photographies 09 et 10 - Vérification interne des hauteurs d'eau dans certains collecteurs

Une attention particulière devra être apportée à l'analyse des résultats du point Rue de la bonne Aventure – Gare de Montreuil.

A l'origine du projet nous avons prévu d'autres moyens de vérifications des mesures en raison d'une part de la période, d'autre part de la technologie mise en œuvre.

- Notre première action a été de prendre contact avec le délégataire du syndicat en charge de l'exploitation des données permanentes aux exutoires afin de comparer ceux-ci à nos résultats sur la période considérée. Malheureusement celui-ci n'a jamais voulu communiquer à la ville, les résultats de ces points de mesure permanents.

- Notre seconde action a été d'étudier la programmation d'une seconde campagne de mesure sur les points à potentiel élevé avec une technologie plus adaptée. Malheureusement la communication tardive des résultats de l'étude, n'a pas permis la réalisation d'une seconde étude.

VI.8.1.3.6 Le financement

Suite au montage avec l'ADEME d'une demande de subvention sur le Fonds Chaleur 2019, la ville de Versailles a obtenu par décision de financement du 27 septembre 2019, une subvention d'un montant maximal de 10 000 € dans le cadre de la réalisation de ce marché notifié pour un montant de 14 400 €.

VI.8.1.3.7 Les premiers résultats

Le tableau ci-après regroupe les principaux résultats de la campagne de mesure effectuée ainsi que leurs interprétations.

Etude de métrologie synthèse des collecteurs avec mini.TS








Désignation	Période	Nbre d'heures d'analyse	Nbre jours d'analyse	Nbre d'heures inférieur à 10 l/s	Nbre de jour inférieur à 10 l/s	Pourcentage temps <10l/s	MiniTS (l/s)	AVIS
Boulevard de la Reine	23/07 au 08/08	347,58	14,48	347,58	14,48	100,0	0,22	
Rue Bonne Aventure - Gare	23/07 au 08/08	310,25	12,93	270,92	11,29	87,3	0,00	
Rue Bazin	30/07 au 12/08	276,92	11,54	242,00	10,08	87,4	0,25	
Rue du Béarn	23/07 au 04/08	314,17	13,09	57,67	2,40	18,4	3,46	
Rue école des Postes	30/07 au 12/08	382,33	15,93	362,75	15,11	94,9	0,05	
Rue de l'Orangerie	29/07 au 12/08	292,42	12,18	165,83	6,91	56,7	0,36	
Avenue de Paris	25/07 au 06/08	383,17	15,97	9,58	0,40	2,5	1,52	

Tableau 10 - Synthèse des principaux éléments de l'étude de métrologie

A partir de ces données, il est identifié que seulement 2 collecteurs répondent aux prérequis de 10 l/s en temps sec, cependant pour la suite de l'étude il est nécessaire d'analyser plus précisément le fonctionnement de ces collecteurs à partir d'un profil moyen horaire.

Cependant il est important de prendre le recul nécessaire sur la période sur laquelle a été effectuée cette étude. En effet pour des raisons de calendrier, celle-ci a été menée entre le 23 juillet et 12 août soit au pic de la période estivale. Ces résultats sont par conséquent particulièrement minorants.

A ce stade de l'étude, il serait préconisé de refaire une campagne de mesure sur les deux collecteurs identifiés. Afin de confirmer les premières données, il serait souhaitable d'utiliser une technologie telle que la corrélation d'échos sur une période d'un mois alliant congés et période travaillée. Enfin il est à privilégier cette nouvelle campagne au cœur de la période hivernale afin d'avoir un retour plus fiable sur la température et les débits.

VI.8.1.3.8 L'analyse détaillée des collecteurs retenus.

En traitant les données brutes reçues ainsi que les données de pluviométrie, il a été possible d'établir un profil moyen horaire de temps sec pour les deux collecteurs considérés. Ensuite l'analyse détaillée des collecteurs passe par l'étude :

- Des débits minimums de temps sec ;
- Des vitesses minimums de temps sec ;
- Des hauteurs d'eaux minimums de temps sec ;
- Des périmètres des surfaces mouillées ;
- Des débits d'eaux claires parasites.

VI.8.1.3.9 Les apports d'Eaux Claires Parasites Permanentes

Les pénétrations des eaux parasites dans les réseaux sont dues, suivant les cas :

- ✓ Aux infiltrations d'eau de nappe au travers de collecteurs insuffisamment étanches, lorsque ceux-ci se situent à un niveau piézométrique inférieur à celui de la nappe,
- ✓ Aux captages de sources, de ruisseaux...
- ✓ Aux raccordements de réseaux de drainage agricole, aux rejets d'eaux industrielles, ou au trop plein de château d'eau...

Au niveau de chaque point de mesures, les ECPP ont été estimées à l'aide de 2 méthodes différentes.

Méthode 1 : Extrapolation des débits minimums nocturnes

Celle-ci s'appuie sur le principe que les débits minimums nocturnes dans les réseaux (entre minuit et six heures) correspondent aux débits d'ECPP, du fait de l'absence d'activité humaine.

Méthode 2 : Quantification des apports d'Eaux Claires Météoriques

Les apports aléatoires d'origines pluviales correspondent aux introductions d'eaux dont la variabilité est directement liée aux précipitations, avec un temps de réponse très court (de quelques minutes à une ou plusieurs heures).

VI.8.1.3.10 Analyse de la pluviométrie :

Parallèlement à la campagne de mesures deux pluviomètres ont été suivi sur la commune de Versailles afin de mieux interpréter les réactions des réseaux.

Le cumul des précipitations durant la campagne de mesure a été de 58,4 mm pour le pluviomètre Montbauront et 62.2 mm pour celui de la Fourrière.

On observe sur les résultats quelques différences notamment pour la période du 28 juillet.

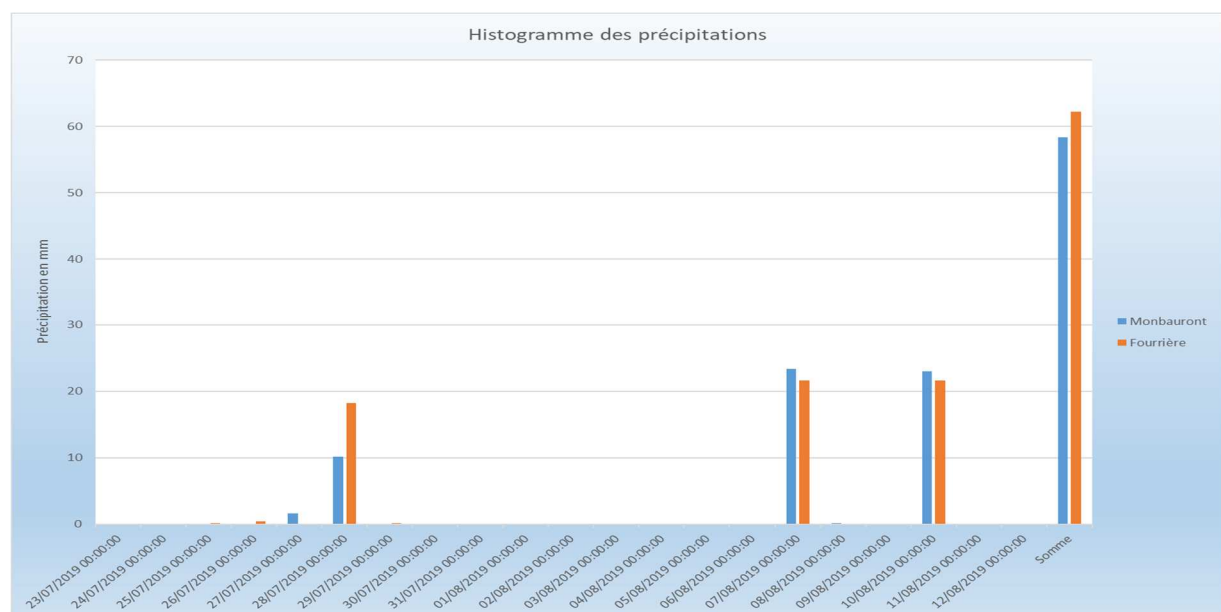


Figure 25 – Histogramme des précipitations (source : Rapport SEVES)

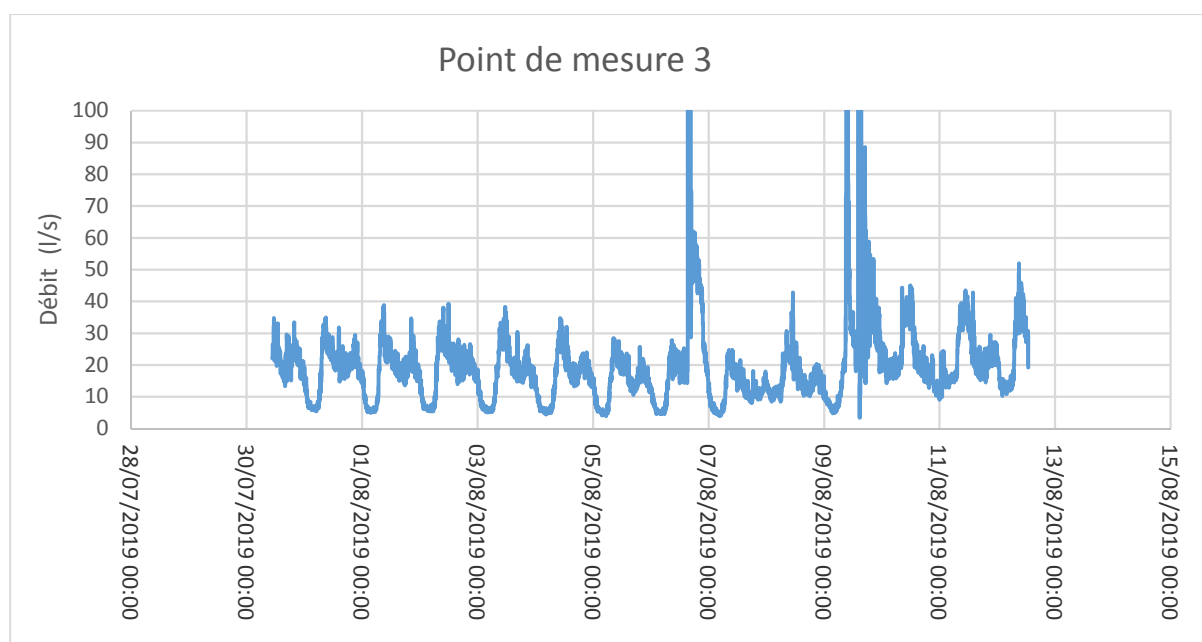


Figure 26 – Exemple courbe de débit point de mesure n°3 (source : Rapport SEVESC)

Les données brutes transmises par le Bureau d'Etudes permettent de tracer le profil moyen des collecteurs. Cependant il est important de toujours rester vigilant face aux données transmises. Dans le cas de notre étude, une erreur d'horodatage des données est particulièrement visible avec un histogramme des pluies indiquant une pluie le 07/08 et une mise en charge des collecteurs le 06/08 !! Il est important de conserver un regard critique vis-à-vis des résultats obtenus.

Les résultats présentes des apports non négligeables notamment sur les points 1, 3 et 7, (cf. les données ci-dessous.)

Pour information, certains jours ont été écartés pour le calcul des ECPP en fonction des aléas de mesures (pertes d'informations incohérence de mesures etc...).

	Minimum Nocturne	Rapport Nycthémeral	Minimum Nocturne	Rapport Nycthémeral
	l/s	l/s	%	%
Point 1	15,39	11,54	27	65
Point 2	0,28	0,04	0	0
Point 3	5,19	2,68	9	15
Point 4	1,22	0,4	2	2
Point 5	0,1	0,07	0	0
Point 6	0,3	0,33	1	2
Point 7	3,72	2,6	7	15

Tableau 11 - Synthèse des débits d'eaux claires parasites

Localisation des collecteurs ayant un potentiel

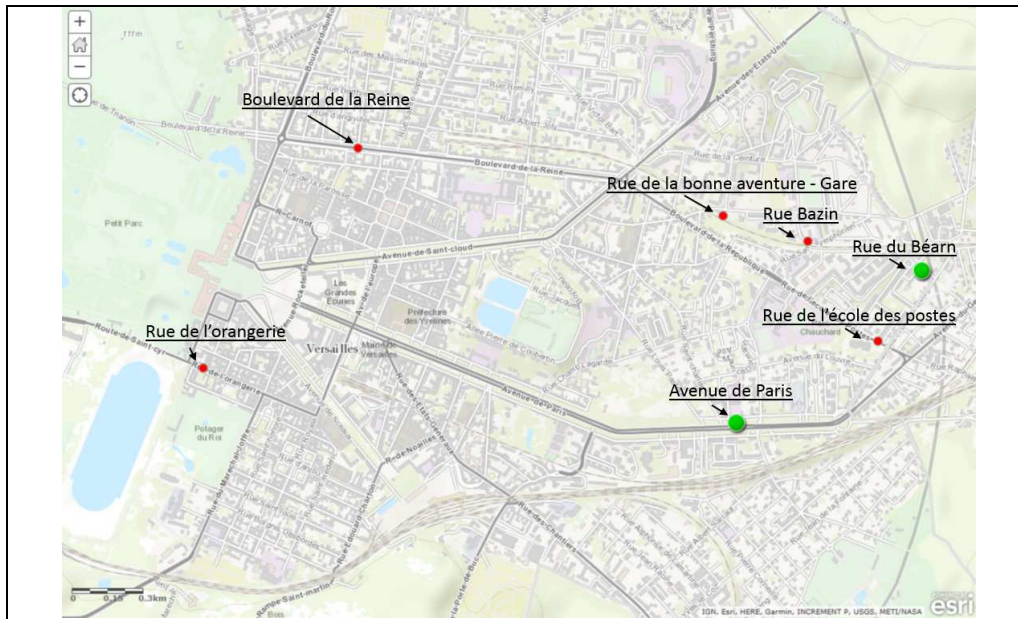


Figure 27 – Localisation des points de mesure avec potentiel

Suite à cette première analyse, et comme évoqué ci-dessus, nous avons retenu pour une analyse plus fine, le collecteur sis Avenue de Paris et le collecteur sis rue du Béarn.

Rappel des conditions d'autocurage sur collecteurs unitaires : (source mémento ASTEE 2017)

En réseaux unitaires, la pente des ouvrages doit permettre pour des débits pluviaux atteints assez fréquemment, l'entraînement des sables, et pour le débit moyen des eaux usées, celui des vases organiques fermentescibles.

On tend vers la satisfaction de ces conditions dans les ouvrages calculés pour l'évacuation du ruissellement de fréquence décennale en y réalisant des vitesses de l'ordre de :

- 0,60 m/s pour 1/10 du débit à pleine section ;
- 0,30 m/s pour 1/100 de ce même débit ;
- vitesse de 0,30 mètre par seconde pour le débit moyen de temps sec quel que soit le taux de remplissage.

Ces limites sont respectées toutes deux avec des vitesses à pleine section de l'ordre de 1 m/s dans des canalisations circulaires (par l'application directe de la formule de Manning Strickler). Pour les autres profils, il faut reprendre la formule et vérifier les conditions pour les trois débits évoqués ci-dessus.

Collecteur Avenue de Paris :

Avenue de Paris			
Caractérisation hydraulique	Débit minimal (l/s)	Hauteur d'eau (mm)	Vitesse (m/s)
de 0h00 à 6h00			
valeurs basses	16,28	107,82	0,31
valeurs hautes	36,27	141,64	0,59
valeurs moyennes	21,29	120,73	0,39
de 8h00 à 12h00			
valeurs basses	24,04	124,57	0,41
valeurs hautes	56,42	169,93	0,76
valeurs moyennes	40,77	152,79	0,56
de 16h00 à 22h00			
valeurs basses	28,19	128,42	0,42
valeurs hautes	49,18	161,75	0,60
valeurs moyennes	34,28	146,89	0,49

Tableau 12 - Synthèse des principaux éléments du collecteur Avenue de Paris

Préconisations : Pour le bon fonctionnement de l'échangeur et du réseau d'une manière plus générale, la hauteur d'eau est garantie et faible. La vitesse minimum mesurée est de 0.31 m/s à la période la plus critique de la journée soit entre 0h00 et 6h00 du matin.

Collecteur Rue du Béarn :

Rue du Béarn			
Caractérisation hydraulique	Débit minimal (l/s)	Hauteur d'eau (mm)	Vitesse (m/s)
de 0h00 à 6h00			
valeurs basses	4,54	31,33	0,35
valeurs hautes	19,63	62,39	0,61
valeurs moyennes	8,66	46,20	0,45
de 8h00 à 12h00			
valeurs basses	15,35	40,14	0,47
valeurs hautes	39,03	75,58	1,29
valeurs moyennes	25,93	57,91	0,97
de 16h00 à 22h00			
valeurs basses	9,41	32,45	0,62
valeurs hautes	24,55	66,17	0,99
valeurs moyennes	17,59	56,74	0,77

Tableau 13 - Synthèse des principaux éléments du collecteur Rue du Béarn

Préconisations : Pour le bon fonctionnement de l'échangeur et du réseau d'une manière plus générale, la hauteur d'eau est garantie et très faible. La vitesse minimum mesurée est de 0.35 m/s à la période la plus critique de la journée soit entre 0h00 et 6h00 du matin.

Dans le cas présent et toujours en raison de la période à laquelle nous avons réalisé la campagne de mesure, il a été demandé au responsable de la régie assainissement si les collecteurs étudiés étaient particulièrement assujettis à encrassement et/ou ensablement. Aussi, malgré les faibles vitesses constatées, ces collecteurs ne sont pas identifiés comme des points d'ensablement du système d'assainissement de la ville de Versailles.

VI.8.1.3.11 Analyse du fonctionnement des collecteurs :

A partir des données brutes transmises suite à l'étude de métrologie, (débit pas de temps 5 min ; hauteur d'eau pas de temps 5 min, relevé de température pas de temps 1 min et vitesse d'écoulement pas de temps 5 min) il a été possible de construire différent profil de fonctionnement des collecteurs identifiés comme à potentiel.

Les profils des deux collecteurs étudiés sont transmis en annexe C.

VI.8.1.3.12 La viabilisation des données

En raison de la période de réalisation de la première campagne, entre le 25 juillet et le 12 août 2019, période estivale, il a été convenu de réaliser sur les points ayant le plus de potentiel, une campagne complémentaire début septembre 2019 à la reprise de la période scolaire et ce avec des équipements différents tel que le débitmètre à corrélation d'écho **NivuFlow mobile 750**.

Malgré la consultation en amont de société en mesure de mettre en place ces équipements, le déroulement de la présente étude et la réception tardive des résultats de la première campagne, n'a pas permis de réaliser cette seconde campagne de mesure qui aurait permis d'affiner les résultats.

VI.9 Les problématiques à éviter

VI.9.1 La vérification du bon fonctionnement à l'aval

Pour le système étudié au titre de cette étude, les rejets se font à l'aval vers deux stations d'épuration des eaux, pour le bassin versant Est la station d'Achères, pour le bassin versant Ouest la station de « Carré de réunion ».

Méthodologie :

Une fois identifié les bassins versants et les stations de collecte, il est indispensable de vérifier que la mise en place d'un système de récupération de chaleur n'entraîne pas de désordre sur le fonctionnement de la biologie du traitement. Pour ce faire, il est important de comparer les données du débit entrant à la station avec le débit transitant par le collecteur considéré. Pour une meilleure estimation, il est souhaitable d'avoir ce débit d'entrée sur la période de mesure des débits du collecteur, sinon on prend les données d'entrée de la station disponible.

Il peut être considéré que si le débit transitant par le collecteur est inférieur à 0,1% du débit entrant à la station, il n'y aura pas d'impact sur la biologie. (Source ENGEES)

VI.9.1.1 La station de « carré de réunion » :

Sa localisation est sur la commune de Saint-Cyr-l'Ecole à une distance d'environ 5 km des exutoires du versant Ouest de la ville de Versailles. Elle est dimensionnée pour traiter 340 000 EH soit 51 000 m³/j par le biais des procédés suivants :

**-Mastère Spécialisé EPA-
Pierre SPIESER**



Figure 28 – Fonctionnement de la station de « carré de réunion »

Après avoir pris contact avec le responsable d'exploitation de la station, nous avons obtenu un entretien sur place. Il s'avère que depuis 2014 une étude est en cours rédigée par Sofies Leading sustainability concernant le développement de réseaux de chaleur sur le territoire de la Plaine de Versailles dans laquelle l'une des zones choisie pour une étude préliminaire est la « STEP du Carré de la Réunion » avec la valorisation des eaux épurées rejetées par l'entremise d'une pompe à chaleur pour un débit moyen en sortie de station de 46 000m³/jour. L'étude conclut que le potentiel de récupération de chaleur est de l'ordre de 4.36 MW pour un investissement en énergie électrique d'environ 1.10 MW. C'est pourquoi, le groupe SUEZ actuel exploitant de la STEP du Carré de la Réunion ne donne aucune suite favorable au projet de récupération de chaleur des bassins versants alimentant sa station. Cependant, cette affirmation n'était pas audible vis-à-vis de notre projet aussi nous avons cherché à obtenir un argumentaire plus scientifique avec par exemple la loi de mélange de deux corps liquide à une température différente pour mesurer l'impact de notre projet sur la rentabilité énergétique de la STEP du Carré de Réunion. Pour ce faire, nous avons demandé sur la période considérée les volumes en entrée de STEP pour estimer l'incidence de notre projet, aussi nous avons reçu les débits en m³/h au pas de temps minute par minute. Le traitement des données donne les valeurs suivantes :

Volumes arrivée à la station de "Carré de réunion" entre le 23 juillet et le 08 août 2019									
Date	23-juil	24-juil	25-juil	26-juil	27-juil	28-juil	29-juil	30-juil	31-juil
V(m ³)	20176	19966	19865	22855	45478	18801	20467	19258	19382
Date	01-août	02-août	03-août	04-août	05-août	06-août	07-août	08-août	
V (m ³)	18874	17966	17195	16316	17184	67899	33336	18480	

Tableau 14 – Volumes en entrée de la station « carré de réunion »

A l'issue de la réception de ces résultats et en raison de la période de données transmise, il a été demandé au responsable de la station si les résultats étaient cohérents avec une journée type de temps sec. Il a été convenu que ces résultats sont minorés et qu'il arrive environ 30 000 m³/j sur une journée de temps sec hors vacances soit un delta de -33%.

Aucun collecteur n'a de débits suffisant identifiés, à l'issue de la campagne de mesure sur le bassin versant Ouest alimentant la station « carré de réunion », cependant pour un projet à venir qui alimenterait cette station il faudrait s'assurer que les calories prélevées ne génèrent pas un abaissement de la température générant une problématique pour le fonctionnement de la biologie de la station.

VI.9.1.2 La station d' « Achères » :

Sa localisation est sur la commune d'Achères à une distance d'environ 20 km des exutoires du versant Est de la ville de Versailles. Elle est dimensionnée pour traiter 10 000 000 EH soit 1 500 000 m³/j par le biais des procédés suivants :



Photographie 11 – Vue aérienne de la station d'Achères

Après les étapes de traitement physique, l'eau clarifiée est envoyée vers le traitement biologique

Ce sont près de 150 biofiltres qui permettent l'élimination des pollutions dissoutes. (67% de la charge entrante).

Concernant la dépollution des 33 % de volume restants, le SIAAP a choisi la technologie de l'ultrafiltration membranaire. Ainsi, 462 000 m² de membranes agissent comme une barrière physique pour obtenir une eau d'une qualité conforme aux exigences environnementales les plus strictes.

Les eaux épurées sont ensuite rejetées dans la Seine.

Après avoir tenté une prise de contact avec la sous-directrice du site de la station d'épuration qui n'a pas donné suite à mes demandes d'entretiens et de renseignements, j'ai pris le parti de comparer « brutalement », la différence entre le débit journalier transitant dans les collecteurs étudiés et le débit d'entrée journalier de temps sec à la station.

Débit moyen TS	m ³ /j	%
Station d'Achères (2017)	1 346 255	100
Collecteur Avenue de Paris	2800	0,208
Collecteur Rue du Béarn	1500	0,111

Tableau 15 – Débits et pourcentages des collecteurs par rapport à la station

Dans la poursuite du projet, au-delà de l'étude de faisabilité, il faudrait s'assurer que la mise en place de cette technologie sur le collecteur Avenue de Paris n'a pas d'impact sur le fonctionnement à l'aval de la station d'Achères et que d'autres systèmes ne sont pas déjà en place à l'amont des stations étudiées.

- Vérification au niveau de l'étude par une loi de rapport sur les débits ;
- Vérification plus fine par une loi de mélange des fluides à température différente.

VI.9.2 La formation de biofilms

Autant la formation des biofilms joue un rôle important dans les stations d'épuration et notamment dans le cadre des procédés par boues activées dans lequel les bactéries forment des floccs.

Cependant, dans le cas des systèmes de récupération de chaleur, le développement du biofilm devient une problématique. En effet, favorisés par la richesse des effluents, il se forme à la surface de l'échangeur thermique dont il peut considérablement réduire l'efficacité. Plusieurs études sur les matériaux ont été menées, or jusqu'à aujourd'hui la meilleure solution pour contrer ce phénomène reste la vitesse de l'effluent.

Le développement du biofilm peut être limité. Lorsque l'eau usée s'écoule sur l'échangeur de chaleur, la surface de ce dernier commence à être colonisée au bout de quelques heures seulement. Au bout de quelques jours et suivant la richesse des effluents, un biofilm dont l'épaisseur peut représenter plusieurs centaines de microns peut être observable. Ce biofilm oppose une résistance au flux de chaleur de l'eau usée vers l'échangeur thermique dont il réduit l'efficacité. La figure 29 ci-dessous montre comment l'efficacité de l'échangeur thermique diminue avec le temps suite à la formation du biofilm. Elle ne représente plus que 50 % du rendement de l'échangeur au bout de 18 jours dans le cas de l'expérience menée par Eawag.

Aussi ces essais ont montré que l'augmentation de la vitesse et par conséquent l'intensification des forces de frottement exercées par l'eau sur le biofilm induit l'arrachement d'une partie du biofilm et permet une reprise de l'efficacité de l'échangeur de chaleur. Il a été conclu qu'un maintien de la vitesse d'écoulement à la valeur de 1 m/s permet de limiter la perte de rendement. Dans le cas des essais menés, celle-ci n'a jamais dépassé 20%.

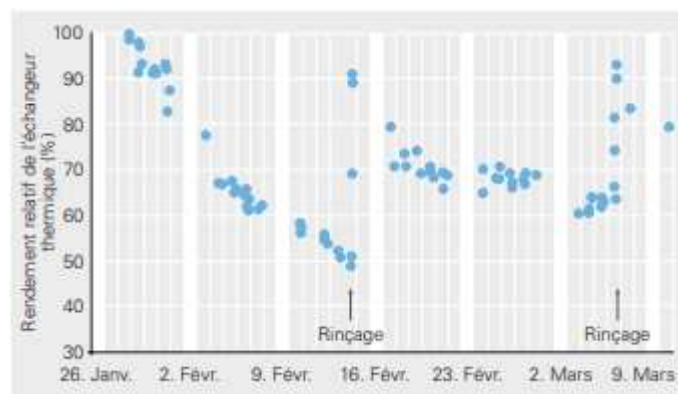


Figure 29 - Evolution du rendement de l'échangeur thermique dans le temps (Source EAWAG : Suisse)

VI.9.3 La vitesse de l'écoulement

Dans notre cas, il est difficile de faire varier les pentes des collecteurs en place pour obtenir la vitesse d'écoulement souhaitée. Aussi d'autres solutions peuvent être envisagées. Dans un premier temps le lessivage naturel par les eaux de pluies, en effet comme évoqué dans le **paragraphe VI.3**, les tronçons de réseaux étudiés sont des réseaux unitaires donc intégrant les précipitations. Il est à considérer que la période de chauffe s'inscrit entre le 15 octobre et le 15 avril, dans une ville où les événements

pluvieux arrivent 118,5 jours avec une fréquence d'une fois tous les trois jours sur la période 1981-2010 (source météo France).

	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Nb Jours de précipitations	10,4	10,9	11,7	11,1	10,1	10,9	9,6
Précipitations mm	68,8	57,1	65,9	59,4	50,0	53,7	54,9

Tableau 16 – Données climatiques 1981-2010 station Villacoublay (météo France)

Cependant une solution peut également être la préconisation d'interventions directes par nettoyage mécanique réalisée par la régie de ville de Versailles dans le cas où le rendement de l'échangeur thermique venait à se dégrader au-delà d'une valeur seuil.

Enfin la dernière solution peut être d'augmenter de manière ponctuelle et automatique la vitesse d'écoulement des effluents qui peuvent être obtenues par des aménagements produisant une chasse d'eau.



Photographie 12 - Dispositif de chasse amont (Source : Dr. Jan Butz, Klinger et Partner)

VI.10 Les retours d'expériences des maitres d'ouvrage

Au cours de cette étude, une des demandes légitime des élus et des services techniques fut de s'assurer de la pérennité de l'investissement. En effet, à ce stade nous n'avons ciblé aucun bâtiment en particulier et une rupture de l'alimentation en chauffage d'un bâtiment quel qu'il soit pendant la période hivernale serait une perte de crédibilité et aurait une conséquence lourde en terme d'électorat. Par conséquent, nous avons pris attache avec des collectivités aillant déjà mis en place ce type de technologie :

Visite le 11 octobre 2019, à Arras dans le département du Pas-de-Calais (62) où la technologie ENERGIDO, procédé breveté par VEOLIA a été mise en place dans le cadre du chauffage du centre nautique Aquarena.

La solution technique :

Les eaux usées de la communauté urbaine d'Arras sont acheminées vers un broyeur, depuis un bassin à proximité du centre, dirigées vers un échangeur thermique spiralé, puis retournent au réseau. Un fluide caloporteur récupère l'énergie des eaux usées, dans l'échangeur, et la restitue, via une pompe à chaleur qui alimente la chaufferie. L'eau chaude (40 à 60°C) sert à chauffer les radiateurs, les bassins du centre aquatique, le SPA et l'eau chaude sanitaire.

- Puissance totale PAC : 500 kW thermiques

- Surface chauffée : bassins + 4000 m²
- Coeff. de performance : COP>4
- Poste de relevage : 110 à 150 m³/h
- Economie énergie fossile : 150 000 kwh/an
- Economie de CO₂ : 280 T par an



Photographies 13 et 14 – Visite de l'Aquarena d'ARRAS (ENERGIDO)

Au cours de la visite, il a été rapporté par les utilisateurs que le fonctionnement de l'échangeur thermique spiralé ne nécessita qu'un seul démontage par an dans le cadre de son entretien et lavage sans pour autant réduire sa performance quotidienne.

De plus, il a été observé que bien que dimensionné pour un débit de 110m³/h, le fonctionnement quotidien est assuré avec seulement 20m³/ à 25 m³/h.

Enfin la station à l'aval a une capacité de 140 000 EH soit 21 000 m³/j, ce qui représente :

Station à l'aval	140 000 EH	21 000 m ³ /j	100 %
Projet – fonctionnement – 110 m ³ /h		2 640 m ³ /j	11,71 %
Actuel – fonctionnement – 25 m ³ /h		600 m ³ /j	2,85 %

Visite le 03 octobre 2019, à Saulx-Les-Chartreux dans le département de l'Essonne (91) où la technologie DEGRES BLEUS, procédé breveté par SUEZ a été mise en place dans le cadre du chauffage et du rafraîchissement du siège du Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement Hydraulique de la Vallée de l'Yvette.

Le Syndicat Intercommunal en quelques chiffres :

Le Syndicat œuvre pour 276 530 habitants répartis sur 36 communes et ce sur une surface de 280 km². Il gère 105 km de cours d'eau et 104 km de réseau d'assainissement. Il s'est installé dans l'ancien moulin du village de Saulx-Les-Chartreux, en imaginant un projet limitant au maximum son empreinte écologique par le biais de la production d'électricité et de la récupération de chaleur.

Le système de récupération d'énergie sur eaux usées installés dans leurs bureaux est réversible et couvre l'intégralité des besoins en chaleur et rafraîchissement. Les échangeurs sont réalisés dans un bypass DN1000 du réseau d'assainissement situé en fond de parcelle.

-Mastère Spécialisé EPA-
Pierre SPIESER



Photographies 15, 16 et 17 – Mise en œuvre échangeur à plaques SIAHVY

Le collecteur sur lequel est mis en place la technologie est un collecteur de transport.

- Puissance totale PAC : 180 kW thermiques – 180 kW frigorifiques
- Surface chauffée : 2600 m²
- Coeff. de performance : 4,5
- Echangeurs à plaques de 47 modules – soit 47 ml – pour 40 m² d'échange
- Débit : 500 l/s
- Economie énergie fossile : 110 000 PCS kwh/an
- Economie de CO₂ : 24,8 T par an soit la captation annuelle de 3260 arbres



Photographies 18 et 19 – Visite du siège du SIAHVY de SAULX LES CHARTREUX (DEGRES BLEUS)

Lors de notre visite, le syndicat fait part que depuis la mise en œuvre du système (2015) aucune opération de maintenance de l'échangeur à plaques n'a été réalisée et que la performance du système n'est pas altérée.

VII. L'ETUDE DE FAISABILITE

VII.1 Les bâtiments retenus

A partir de l'étude de potentiel qui a été réalisée seulement deux complexes existant de la ville de Versailles sont susceptibles de recevoir ces technologies. Il s'agit du complexe scolaire Lully-Vauban sis 85 avenue de Paris et du complexe maison des associations, pépinière d'entreprises VGP et gymnase SEVIGNE sis 2 place de Touraine.

Le complexe scolaire Lully-Vauban est situé au 87/89 avenue de Paris à Versailles, il se compose de l'école élémentaire Jean Baptiste Lully et de l'école élémentaire Vauban et du conservatoire régional de danse.



Figure 30 – Localisation du collecteur et du complexe Lully-Vauban

Les locaux scolaires de ce complexe représentent :

Conservatoire régional	: 936 m ² ;
Ecole Jean Baptiste Lully	: 1316 m ² ;
Ecole Vauban	: 1577 m ² .

La pépinière d'entreprises VGP :

La pépinière d'entreprises est située au 4 place Touraine. La chaufferie est quant à elle située dans la maison des associations située au 2 bis Place de Touraine, elle alimente la Pépinière, la maison des associations et le gymnase Sévigné.



Figure 31 – Localisation du collecteur et du complexe Pépinière d’entreprises

L’ensemble de ces locaux représentent :

Pépinière VGP	: 1085 m2
Maison des associations	: 1085 m2
Gymnase Sévigné	: 344 m2

VII.2 Les tendances de consommation d’énergie des années antérieures

A partir du logiciel ENERGISME mis en place en 2018, dont une capture d’écran est présentée ci-dessous, il a été aisément possible de réaliser les analyses des consommations sur les périodes de chaufes 2017/2018 et 2018/2019 pour les complexes considérés.

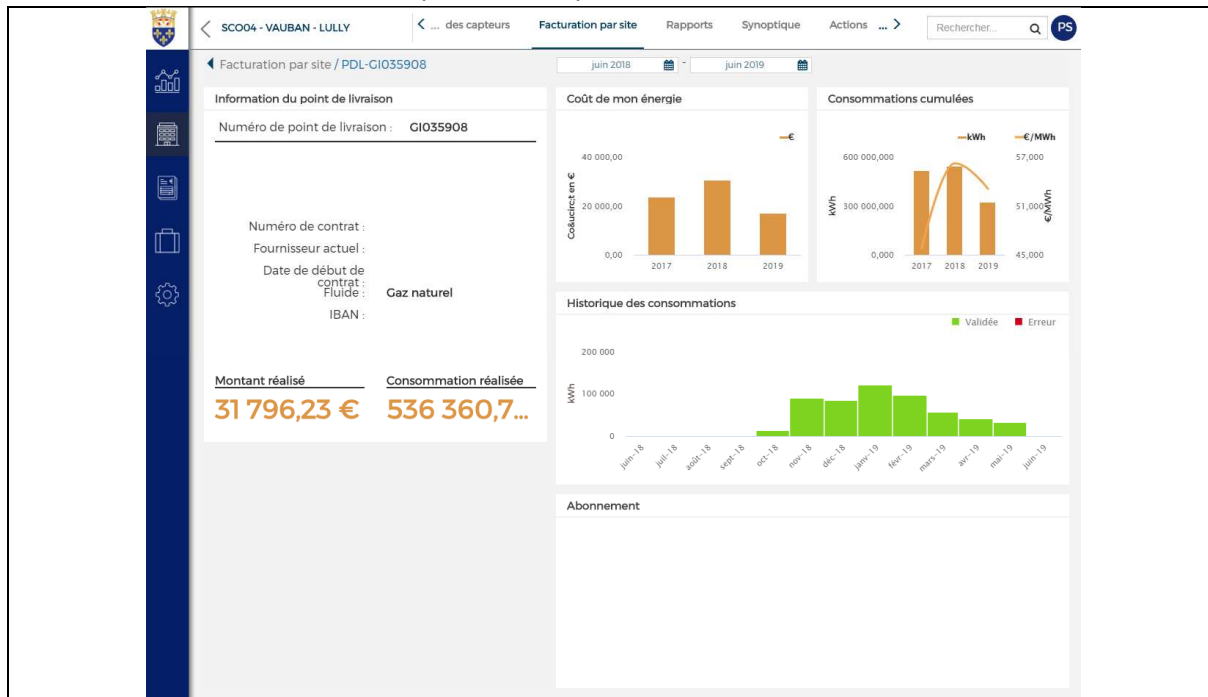


Figure 32 : Capture d’écran logiciel Energisme

Cependant, il est à noter que seules les années à compter de 2017 ont été reportées dans la base de données.

Le complexe scolaire Lully-Vauban :

Consignes de chauffe du complexe scolaire Lully-Vauban

SECTEUR SCOLAIRE		CON	PRE	ECO	COURBE		CON	PRE	ECO	JOUR		
14	gs vauban lully	STUDIO LULLY	19		17	30	70	6H30		18H00	LUNDI	VENDREDI
		PREAU	16	16	16	30	70	6H30		18H00	LUNDI	VENDREDI
		REFECTOIRE	19		17	30	70	6H30		18H00	LUNDI	VENDREDI
		CDL	19		17	30	70	6H30		18H00	LUNDI	VENDREDI
		MATERNELLE	19		17	30	70	6H30		18H00	LUNDI	VENDREDI
		PRIMAIRE	19		17	30	70	6H30		18H00	LUNDI	VENDREDI
		LULLY	19		17	30	70	6H30		18H00	LUNDI	VENDREDI
		EXTANSION	20		17	40	80	6H30		18H00	LUNDI	VENDREDI

Tableau 17 - Extrait tableau de consignes températures complexe Lully-Vauban

Le complexe est actuellement chauffé au GAZ à partir de deux chaudières, son réseau est déterminé comme suit : **CHAUFFERIE**

- 1 Chaudière GUILLOT OPTIMAGAZ, B22, AN 2001, 348 kW
- 1 Pompe de recyclage EURAMO C 1220 N
- 1 Chaudière GUILLOT OPTIMAGAZ, B22, AN 2002, 232 kW
- 1 Pompe de recyclage EURAMO C 1220 N
- 4 Soupapes 4 bars 1"
- 1 Bouteille casse pression
- 1 Pressostat manque d'eau
- 1 Vase expansion 300litres AN 2010
- 1 DISCO SOCLA FIG 266
- 3 Armoire de commande
- 1 télésurveillance OCI600 + modem + ligne téléphonique



Photographies 20 et 21 – Chaufferie complexe Lully-Vauban

Sur les deux périodes de chauffe dont les données étaient disponibles la consommation moyenne est de 606 640 kWh/an.

La pépinière d'entreprises VGP :

Consignes de chauffe du complexe pépinière d'entreprises VGP

ADMINISTRATIF			CON	PRE	ECO	COURBE		CON	PRE	ECO	JOUR	
6	la pepiniere	GYMNASE	16	16	16	30	70	6H00	7H00	22h00	LUNDI	VENDREDI
		BATIMENT	19	18	17			6H00		22h00	LUNDI	DIMANCHE
		PEPINIERE	20		18			6H00		19H00	LUNDI	DIMANCHE
		PEPINIERE	20		18			6H00		19H00	LUNDI	DIMANCHE

Tableau 18 - Extrait tableau de consignes températures complexe Pépinière d'entreprises

Ce complexe est actuellement chauffé au GAZ à partir de de deux chaudières son réseau est déterminé comme suit : **CHAUFFERIE**

- 2 Chaudières : DE DIETRICH type GT 408, année 2004, 250-310 kW
- 2 Bruleurs : DE DIETRICH
- 2 Pompes de recyclage : SALMSON SXM 32-45
- 1 Récupérateur à condensation : DE DIETRICH en dérivation type RCI 300V
- 2 Régulateur RMH 760 + module complémentaire RMH 782
- 3 V3V motorisées SQK 33 Ø 40
- 2 Pompes double Salmson CX2400 Maison des associations / Pépinière VGP
- 1 Pompe double Salmson DCX 40-40 Gymnase
- 1 Pompe relevage SALMSON type GV 27
- 2 Vases d'expansion : EXTROL d'une contenance unitaire de 300 litres
- 1 Armoire électrique de commande
- 1 Pressostat de manque d'eau
- 1 Disconnecteur
- 1 Split système DAIKIN (local informatique)



Photographies 22 et 23 – Chaufferie complexe maison des associations

Sur les deux périodes de chauffe dont les données étaient disponibles la consommation moyenne est de 317 201 kWh/an.

VII.3 Le calcul des Degrés Jours Unifiés

VII.3.1 Méthode numérique via les données du site internet météociel

Au-delà des consommations de chauffage sur les saisons de chaufferes 2017/2018 et 2018/2019, nous avons évalué les besoins en énergie des bâtiments par la méthode dite des degrés jours unifiés (DJU). Pour ce faire, il est préalablement défini deux températures, la température moyenne d'une journée (Tmoy) et la température de référence à l'intérieur du bâtiment (Tref ; cette dernière est fixée par le maître d'ouvrage)

- Si $T_{moy} > T_{ref}$, DJU = 0
- Si $T_{moy} < T_{ref}$, DJU = $T_{moy} - T_{ref}$

Les températures sont prises aux maximum et au minimum pour chaque jour la période considérée.

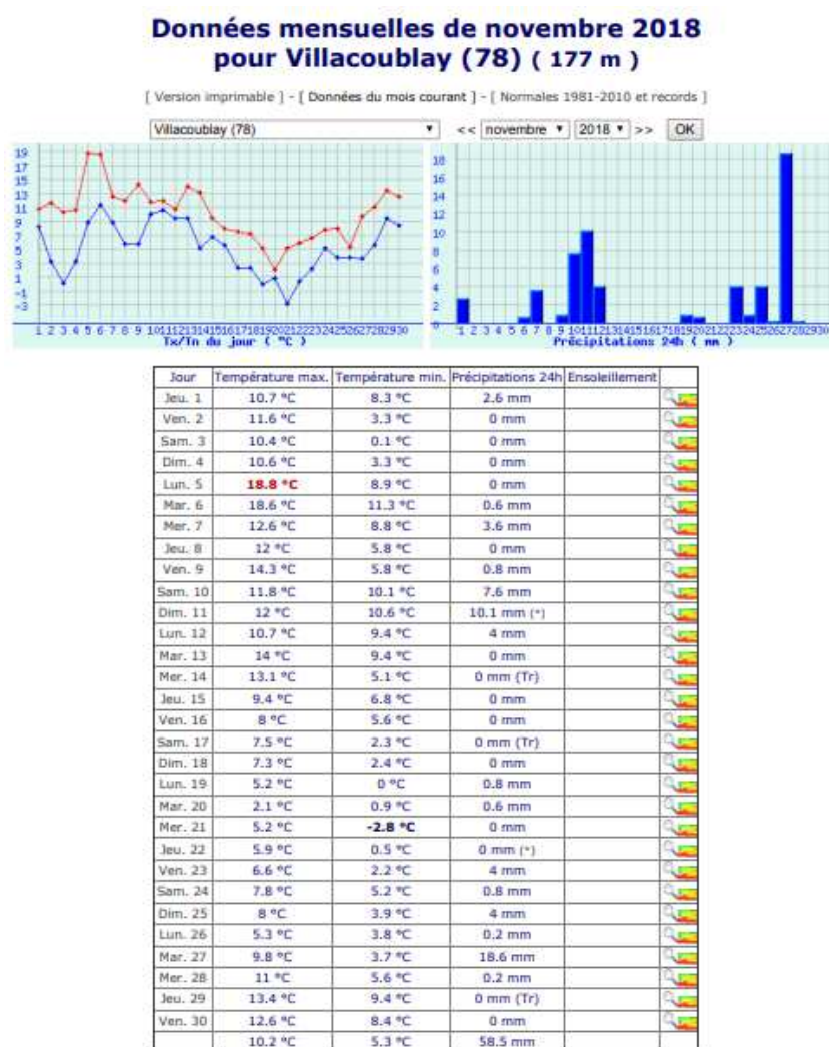


Figure 33 - Capture d'écran du site Météociel

Il est important de prendre en compte la chaleur résiduelle produite par le fonctionnement des équipements du bâtiment (poste informatique, éclairage...) et par l'occupation du bâtiment. Pour cela au lieu de 20°C en Tref, nous prenons un abattement de 2°C soit Tref = 18°C.

Le détail des DJU par la méthode numérique est transmis en annexe D.

La valeur des DJU mensuelle est ensuite obtenue en sommant les DJU journaliers sur l'ensemble de la période de chauffe (tableau ci-dessous) :

DJU 2017 (18)					
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
502,80	309,55	236,85	227,65	95,70	18,80
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
5,85	19,45	90,45	131,40	314,40	406,10
TOTAL DES DJU 2017				2359	

Tableau 19 - Synthèse des DJU 18 pour l'année 2017

DJU 2018 (18)					
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
334,75	464,65	347,10	157,40	113,85	24,75
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
0,00	9,80	28,35	147,70	307,80	361,50
TOTAL DES DJU 2018				2297,65	

Tableau 20 - Synthèse des DJU 18 pour l'année 2018

VII.3.2 Méthode via le simulateur CEGIBAT de GRDF

« Ces données permettent aux bureaux d'études thermiques de réaliser des bilans thermiques. En revanche, pour des missions d'exploitation de chauffage, il est recommandé d'utiliser le service DJU du COSTIC (conformément au guide de rédaction des clauses techniques des marchés publics d'exploitation de chauffage avec ou sans gros entretien des matériels et avec obligation de résultat - édition 2007, Observatoire Economique de l'Achat Public). »

CEGIBAT L'expertise efficace énergétique de GRDF													
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
2017	503	310	237	226	96	19	6	20	91	130	314	406	2 356
2018	335	465	347	151	85	16	0	10	50	148	308	362	2 275

Figure 34 - Synthèse des DJU (18) pour les années 2017 et 2018 (source : CEGIBAT)

A partir de ces deux méthodes nous constatons que les valeurs annuelles des DJU sont relativement proche avec un écart de moins de 1%.

Pour rappel : Le DJU est un paramètre destiné à permettre d'évaluer les besoins en chauffage d'un bâtiment en fonction d'une température intérieure souhaitée. Ainsi dès lors que la température passe en dessous de cette température de référence, le chauffage doit être allumé. Dans le cas de notre étude, il est constaté que la consommation en GAZ est valide d'octobre à mai pour les deux périodes de chauffe considérées, ainsi nous obtenons : (exemple)

Pour la période de chauffe 2017/2018 : (octobre 2017 à mai 2018) (méthode numérique)

$$131,4 + 314,4 + 406,1 + 334,75 + 464,65 + 347,10 + 157,40 + 113,85 = 2269,65 \text{ DJU}$$

Pour la période de chauffe 2018/2019 : (octobre 2018 à mai 2019) (méthode numérique)

$$147,7 + 307,8 + 361,5 + 447,95 + 317,75 + 278,65 + 218,25 + 161,45 = 2241,05 \text{ DJU}$$

Suivant les consignes de chauffe et pour la suite de notre étude nous prendrons la valeur moyenne de ces deux périodes, soit :

Valeur DJU (18) :	2255 pour le complexe pépinière VGP
Valeur DJU (17) :	2112 pour le complexe scolaire Lully-Vauban

Evaluation des besoins en énergie de climatisation :

Dans le cas du dimensionnement d'un besoin en climatisation, un cheminement inverse peut être établi et il faudrait utiliser la formule de calcul des DJU comme suit :

- Si $T_{moy} > T_{ref}$, $DJU = T_{ref} - T_{moy}$;
- Si $T_{moy} < T_{ref}$, $DJU = 0$.

VII.4 Dimensionnement des organes de chauffage

Le détail des moyennes annuelles de consommation de chauffage est transmis en annexe E.

VII.4.1 Complexe scolaire Lully-Vauban

Collecteur avenue de Paris :

Moyenne annuelle des consommations sur les périodes de chauffe 2017 à 2019 : 606 640 kWh/an PCS

PCS : Le Pouvoir Calorifique Supérieur : Il s'agit de l'énergie dégagée par la combustion du charbon, du bois, du gaz, du fioul, du pétrole en récupérant la chaleur latente de la vapeur d'eau produite par la combustion.

Tableau des unités de comptage pour les différentes énergies			
Unité de comptage	PCS (1)	Conversion PCS en PCI	PCI (2)
1 kWh électrique	1	divisé par 1.00	1
1 litre de fioul domestique	10.667	divisé par 1.07	9.97
1 kWh (PCS) de gaz naturel	1	divisé par 1.11	0.9

Figure 35 - Extrait tableau de comptage pour les différentes énergie (source PICBLEU)

Moyenne annuelle des consommations sur les périodes de chauffe 2017 à 2019 : 546 522 kWh/an PCI

PCI : Le PCI est le Pouvoir Calorifique Inférieur du combustible : Il indique la quantité de chaleur qu'il va libérer lors de la combustion par unité de volume ou de masse.

Les chaudières ne transmettent à l'eau qu'une partie de l'énergie chaleur délivrée par le combustible. Leur rendement sur le PCI se calcule par comparaison entre la chaleur fournie à l'eau et celle libérée lors de la combustion.

Prise en compte du rendement de la chaudière à 0,9.

$$(Conso\ PCI\ kWh/an) \times Rendement = 491\ 870\ kWh\ PCI/an$$

Déperdition par degrés d'écart entre l'intérieur et l'extérieur :

$$Puissance\ de\ chauffage\ requise / (24h/j) / Degré\ Jour\ Unifié = 9,70\ kW/°C$$

Etude du delta de température avec :

Référence température basse IDF :	-7°C
Température de chauffe :	19°C
Delta de température :	26°C

Puissance de chauffage requise :

$$Déperdition\ par\ degrés\ d'écart\ entre\ l'intérieur\ et\ l'extérieur \times Delta\ de\ température : 252\ kW$$

Pour mémoire aujourd'hui, la chaufferie est équipée de :

- 2 Chaudière GUILLOT OPTIMAGAZ, B22, AN 2001-2002, 348 kW - 232 kW

Ces équipements répondent aux besoins en chauffage, de plus la ville de Versailles assure la redondance pour les établissements d'enseignements.

VII.4.1.1 Dimensionnement de la Pompe A Chaleur (PAC)

La Pompe A Chaleur appelée couramment PAC est une machine thermodynamique qui prélève de l'énergie à une source froide pour la restituer à une source chaude.

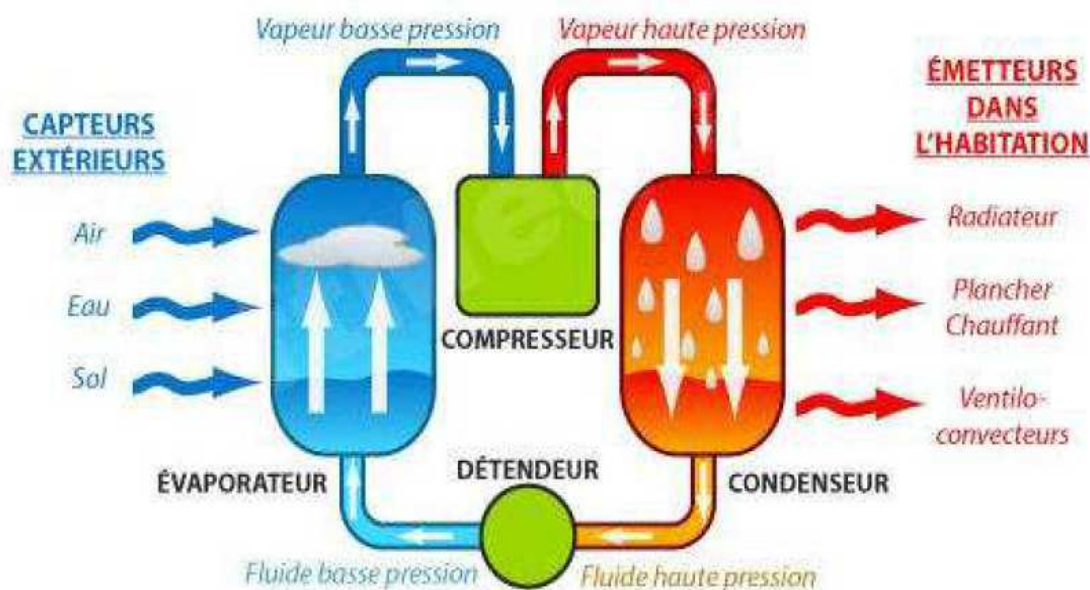


Figure 36 – Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur (source : VEOLIA)

VII.4.1.2 La courbe monotone des besoins thermiques

Dans le cas d'une installation existante, le dimensionnement d'une PAC s'effectue généralement en traçant la courbe monotone des besoins en chaleur. Cette courbe permet de trouver l'optimum de rendement à prendre pour le dimensionnement vis-à-vis de la totalité des besoins en chauffage, sachant que la pointe de la courbe sera traitée par une énergie fossile. Tracer cette courbe nécessite des données de consommation heures par heures qui ne sont pas disponibles.

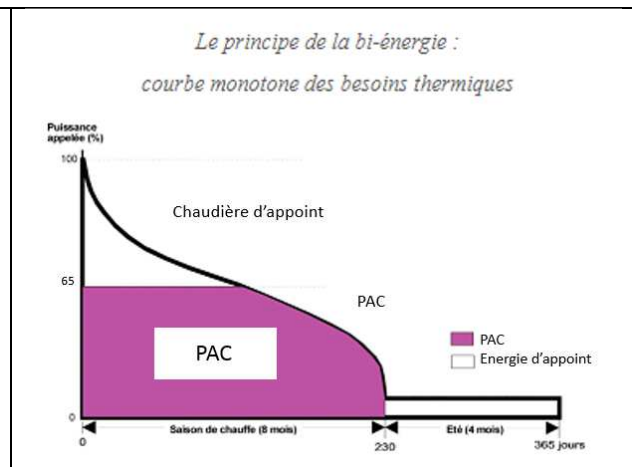


Figure 37 - Exemple de courbe monotone (Source - SENAT Energies Renouvelables)

Par conséquent, nous allons partir sur un dimensionnement de la PAC à hauteur de 65 %.

Puissance nécessaire de la PAC :

Puissance de chauffage requise X Taux de couverture : 164 kW

Le dimensionnement d'une PAC s'établit autour de deux valeurs, le dimensionnement électrique et le dimensionnement de l'échangeur. Dans notre cas pour un **COP de 4**, on prend 25% pour l'électrique et 75 % pour l'échangeur soit pour notre étude :

Puissance électrique requise : 0,25 X Puissance nécessaire de la PAC : 41 kW

Puissance échangeur requise : 0,75 X Puissance nécessaire de la PAC : 123 kW

VII.4.2 Complexe pépinière d'entreprise VGP

Collecteur rue du Béarn :

Moyenne annuelle des consommations sur les périodes de chauffe 2017 à 2019 : 317 200 kWh/an PCS

Moyenne annuelle des consommations sur les périodes de chauffe 2017 à 2019 : 288 365 kWh/an PCI

Prise en compte du rendement de la chaudière à 0,9.

(Conso PCI kWh/an) X Rendement = 259 528 kWh PCI/an

Déperdition par degrés d'écart entre l'intérieur et l'extérieur :

Puissance de chauffage requise/ (24h/j) / Degré Jour Unifié = 4,80 kW/°C

Etude du delta de température avec :

Référence température basse IDF : -7°C

Température de chauffe : 20°C

Delta de température : 27°C

Puissance de chauffage requise :

Déperdition par degrés d'écart entre l'intérieur et l'extérieur X Delta de température : 130 kW

Pour mémoire aujourd'hui, la chaufferie est équipée de :

- 2 Chaudières :DE DIETRICH type GT 408, année 2004, 250-310 kW

Ces équipements répondent aux besoins en chauffage, de plus la ville de Versailles assure la redondance. Il est cependant à noter que le bâtiment accueillant la pépinière d'entreprise VGP a été totalement réhabilité en 2012 et ce aux normes Bâtiment Basse Consommation, c'est pourquoi aujourd'hui la chaufferie en place paraît surdimensionnée aux regards des besoins calculés.

Dimensionnement de la Pompe A Chaleur (PAC) :

Rendement de la PAC à hauteur de 65 %.

Puissance nécessaire de la PAC :

Puissance de chauffage requise X rendement de la PAC : 84 kW

Le dimensionnement d'une PAC s'établit autour de deux valeurs, le dimensionnement électrique et le dimensionnement de l'échangeur. Dans notre cas pour un **COP de 4**, on prend 25% pour l'électrique et 75 % pour l'échangeur soit pour notre étude :

Puissance électrique requise : 0,25 X Puissance nécessaire de la PAC : 21 kW

Puissance échangeur requise : 0,75 X Puissance nécessaire de la PAC : 63 kW

Le détail des calculs du dimensionnement des organes de chauffage est transmis en annexe F.

Les techniques pouvant être utilisées pour la ville de Versailles :

SUEZ	VEOLIA	ENERLIS
Degrés Bleus	Energido	Thermowatt
		Chaufferie >1MW

Pour rappel, quelques exemples de dimensionnement actuellement en place :

Installation	Piscine de Levallois	Hôtel de la Communauté urbaine de Bordeaux	Mairie de Valenciennes
Type Canalisation	Ovoïde T180/100	Circulaire 2500 mm	Pseudo Ovoïde 2000x2000 mm
Débit	15 L/s	140 l/s	33 l/s
Longueur de l'échangeur	80 m	200 m	84 m
Puissance fournie par l'échangeur	90 kW	640 kW	225 kW

Tableau 21 – Exemple de réalisation de récupération de chaleur

VII.4.3 Les PAC à mettre en œuvre

Suite au pré-dimensionnement effectué, contact a été pris avec des fabricants, fournisseurs de pompe à chaleur, HITACHI, DAIKIN, CARRIER puis via l'AFPAC « association Française pour la Pompe A Chaleur ».

Il est à noter que le statut de stagiaire ne facilite pas les prises de contact avec les fournisseurs et installateurs. De plus très peu de données chiffrées sont disponibles sur internet pour effectuer un chiffrage de ce type d'installation. Seul la société HITACHI a donnée suite à nos sollicitations.

VII.4.4 Le dimensionnement de l'échangeur de chaleur

VII.4.4.1 Cas d'un échangeur à plaques

Dans le cas d'un échangeur à plaques, le dimensionnement s'effectue à partir du périmètre mouillé, en effet la longueur de l'échangeur sera dimensionnée par la hauteur d'eau minimum dans le collecteur.

Dans notre cas les deux collecteurs sont de type ovoïde :

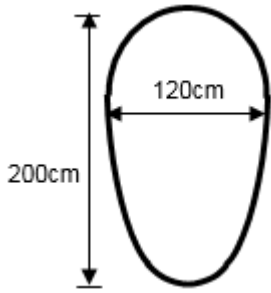
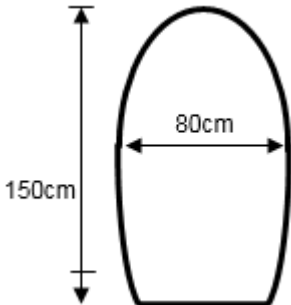
Avenue de Paris	Rue du Béarn
	
A partir des règles suivantes, il a été possible de déterminer les périmètres mouillés :	
Pour une hauteur d'eau :	
comprise entre 0 et 30 cm :	simplification en trapèze :
$80 * \cos^{-1}\left(\frac{40 - h}{40}\right)$	jusqu'à 110 cm :
comprise entre 0 et 140 cm :	$50 + h * 2\sqrt{1 + 0.136^2}$
$80 * \cos^{-1}(0,25) + 2 * (h - 30) * \sqrt{1 + 0,19336^2}$	

Tableau 22 – Détails du calcul des périmètres mouillés

Collecteur avenue de Paris :

D'après le tableau de **synthèse n°12** page 43, la hauteur minimum dans le collecteur sis avenue de Paris est de 107,82 mm soit 10,78 cm, nous appliquons par conséquent la formule de la hauteur d'eau comprise entre 0 et 30 cm, ce qui donne :

Périmètre mouillé minimum : P_{min.} = 60,13 cm

Par conséquent la surface d'échange est égale à 0,60 m²/ml.

D'après le constructeur les données de pré-dimensionnement par rapport à l'échangeur sont de 2,50 à 3,00 kWh/m² ce qui nous conduirait à une longueur d'échangeur pour 123 kW :

2,50 kW/m ²	3,00 kW/m ²
49,2 m ²	41 m ²
82 ml	68 ml

Tableau 23 – Dimensionnement échangeur à plaques complexe Lully-Vauban

Coût de fourniture et pose d'un échangeur en plaques, fabrication UHRIG (2600 € HT/ml), ce prix ne concerne que l'échangeur. En sus, il faut prévoir le dévoiement des effluents, la pose des canalisations en naissance de voute et l'éventuelle création d'un puit d'accès si les dimensions des échangeurs ne permettent pas de les introduire par les regards existants.

Soit un coût estimé pour l'échangeur Avenue de Paris de : 213 000 € HT – 256 000€ TTC

Collecteur rue du Béarn :

D'après le tableau de **synthèse n°13** page 43, la hauteur minimum dans le collecteur sis Rue du Béarn est de 31,33 mm soit 3,13 cm, nous appliquons par conséquent la formule simplifiée du trapèze :

Périmètre mouillé minimum : P_{min.} = 56,32 cm

Par conséquent la surface d'échange est égale à 0,56 m²/ml.

D'après le constructeur les données de pré-dimensionnement par rapport à l'échangeur sont de 2,50 à 3,00 kWh/m² ce qui nous conduirait à une longueur d'échangeur pour 63 kW :

2,50 kW/m ²	3,00 kW/m ²
25,2 m ²	21 m ²
45 ml	38 ml

Tableau 24 – Dimensionnement échangeur à plaques complexe Maison des associations

Soit un coût estimé pour l'échangeur Rue du Béarn de : 117 000 € HT – 140 400 € TTC.

VII.4.4.2 Cas d'un échangeur spiralé :

Dans le cas de la technologie ENERGIDO, il est préconisé la mise en place d'un échangeur de la puissance totale requise.

Collecteur avenue de Paris :

Puissance de chauffage requise : 252 kW

Collecteur rue du Béarn :

Puissance de chauffage requise : 130 kW

VII.5 Les travaux à réaliser

VII.5.1 Cas d'un échangeur à plaques : la mise à sec du réseau

Dans la perspective de la mise en œuvre d'échangeurs à plaques dans les collecteurs précédemment identifiés, il serait nécessaire de mettre ces mêmes collecteurs à sec, c'est-à-dire d'étudier la possibilité de dévier les effluents ou créer un by-pass souple. Pour ce faire plusieurs techniques sont envisageables :

Le mise en place d'un batardeau : procédé couramment effectué à la ville de Versailles pour les opérations de remise à niveau des ovoïdes, consistant à dévier en amont du chantier les effluents vers un autre collecteur capable de reprendre l'ensemble du débit sans risquer un débordement.

La mise en place d'un by-pass souple : Procédé mis en œuvre lors de l'opération menée à Bordeaux (Source Bordeaux Métropole). Afin d'assurer la mise au sec, le collecteur a été bouché et le flux refoulé via une pompe et une canalisation souple. Dans ce cas une attention particulière doit être apportée face à la pollution sonore (fonctionnement H24 de la pompe de refoulement) et face au temps de pluie pour le cas des réseaux unitaires.

La création d'une nouvelle conduite en parallèle : Comme effectué dans le projet du SIAHVY, suivant le débit et maillage du réseau, il peut être opportun de créer un réseau en parallèle du collecteur existant. D'une part pour travailler au sec, d'autre part cette technique asservie à un système de vanne pourrait permettre de doubler la surface d'échangeur.

VII.5.2 Cas d'un échangeur spiralé : Le dévoiement du réseau

La construction d'un local échangeur en dérivation du collecteur sera nécessaire dans notre cas, la problématique réside dans les réserves foncières ou la densification des ouvrages souterrains.

Dans nos cas, il est nécessaire d'adresser au service de l'urbanisme via la rédaction demande de certificat d'information dont un modèle est transmis en **Annexe** du présent rapport.

De plus, pour les deux technologies, il est nécessaire de réaliser une Déclaration de projet de Travaux (DT) auprès des concessionnaires afin de connaître le positionnement exact des réseaux et de définir si l'ouvrage pourrait être enterré à proximité. A noter que pour un échangeur de 200 à 300 kW, un local de 25 m² est requis (source VEOLIA).

VII.6 La faisabilité technique du projet

Collecteur avenue de Paris :



En raison de la localisation de la chaufferie et des récents travaux exécutés au sein de l'enceinte de l'école (réfection de la cour et des aires de jeux), il a été convenu de ne pas poursuivre sur la faisabilité financière de l'opération et de ne pas donner suite pour le complexe scolaire Lully-Vauban.

Figure 38 – Avis sur la faisabilité technique au profit du complexe Lully-Vauban

Collecteur rue du Béarn :



En raison du potentiel établi entre le réseau d'assainissement de la Ville de Versailles et des besoins en chauffage du complexe de la pépinière d'entreprise, il a été décidé de poursuivre l'étude pour estimer la faisabilité financière de l'opération à travers la mise en place des deux technologies.

Figure 39 – Avis sur la faisabilité technique au profit du complexe Maison des associations

Un modèle de notice d'information d'urbanisme est en annexe G.

Il est important de ne pas faire l'impasse sur les contraintes des sites considérés dans la poursuite des études (périmètre classé, réfection des structures horizontales, réserve foncière, envoi des déclarations de projet de Travaux...)

VII.7 Le bilan économique de l'opération

VII.7.1 Le fond chaleur de l'ADEME

La Géothermie très basse énergie (encore appelée géothermie de surface ou intermédiaire) recouvre l'ensemble des techniques développées pour valoriser l'énergie du sous-sol peu profond.

Elle concerne principalement deux technologies :

- Les opérations avec pompe à chaleur sur aquifères superficiels (profondeur inférieure à 200 mètres), dites opérations « PAC sur eau de nappe ».
- Les opérations avec pompe à chaleur sur champs de sondes géothermiques.

Nota : Bien que ne relevant pas directement de la géothermie, d'autres types d'opérations peuvent être assimilés à la géothermie très basse énergie :

- **Les opérations valorisant l'énergie des eaux usées via des pompes à chaleur (sur réseaux d'eaux usées ou en station de traitement des eaux usées STEP) ;**
- Les opérations valorisant l'énergie de l'eau de mer via des pompes à chaleur ;
- Les opérations valorisant l'énergie thermique de l'eau d'exhaure de mines ou de tunnels ou des eaux thermales.

La géothermie très basse énergie s'adresse donc à tous types de bâtiments : neuf, déjà existant (voire très ancien), résidentiel, tertiaire, agricole, industriel, de la maison individuelle jusqu'à des bâtiments de plusieurs dizaines de milliers de m². Elle est également très bien adaptée aux éco-quartiers car elle peut être couplée à des réseaux (appelés boucles d'eau tempérée) destinés à desservir plusieurs bâtiments pour couvrir simultanément des besoins de chaud et de froid.

VII.7.2 L'éligibilité de l'opération

	Eligibles	Non Eligibles (non exhaustif)
Système de captage de chaleur	Les organes de captage : <ul style="list-style-type: none"> • Les hottes (pour pièces de refroidissement par exemple), • Les échangeurs pouvant être : liquide / liquide (à plaques) ; gaz / liquide (caloduc...) ; gaz / gaz (plaques, tubes...) ; à contact direct (lit fluidisé...). Dans le cas spécifique des unités d'incinération : soutirage vapeur sur la turbine, échangeur vapeur/eau. Les éléments constituant la boucle intermédiaire.	Les équipements situés en amont de l'échangeur de récupération de chaleur
Système de remontée du niveau thermique	<ul style="list-style-type: none"> - Les pompes à chaleur électriques ou à absorption - Les recompressions de vapeur - Les machines à éjection 	<ul style="list-style-type: none"> - Le simple remplacement d'équipement - Les équipements installés sur une source d'énergie fatale déjà valorisée
Système de stockage	<ul style="list-style-type: none"> - Les accumulateurs de vapeur - Les ballons réservoirs d'eau chaude 	Les équipements de stockage de chaleur seuls
Distribution et valorisation de la chaleur	Les canalisations, pompes primaires et sous-stations	<ul style="list-style-type: none"> - Les équipements secondaires situés en aval de la sous-station (radiateurs, séchoir...) - La limite de prestation est identique à celle du document « <i>Fonds chaleur-Secteur Réseaux de chaleur ; Schéma de la limite de prestation primaire / secondaire au niveau de la sous station : (source IGD AMF) »</i> » www.ademe.fr/fondschaleur
Production de froid	<ul style="list-style-type: none"> - Les pompes à chaleur en montage Thermofrigopompe - Les groupes à absorption 	<ul style="list-style-type: none"> - Les pompes à chaleur très haute température - Les groupes à adsorption Dépôt dans le cadre de l'appel à projet « NTE 2018 » de l'ADEME.
Génie civil et coûts d'intégration	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux divers de maçonnerie / gros œuvre - Système de régulation et équipements électriques associés à l'installation de récupération de chaleur 	
Ingénierie	L'assistance à maîtrise d'ouvrage. Dans le cas où ces tâches sont réalisées par le bénéficiaire, les dépenses éligibles sont limitées à 10% de l'ensemble des dépenses totales.	
Dispositif de suivi des performances	L'investissement du système de comptage de l'énergie (voir paragraphe 4).	

Tableau 25 – Éligibilité de l'opération par le fond chaleur de l'ADEME

VII.7.3 Le retour sur investissement

Dans le cadre de cette étude et comme évoqué au paragraphe VII.6, il a seulement été étudié le volet financier pour l'installation d'un récupérateur de chaleur sur eaux usées, **au profit du complexe pépinières d'entreprises VGP**. Cette étude a été menée en comparant, le remplacement poste pour poste les organes de chauffe actuels, par un système 100 % et un système d'énergie renouvelable avec 65% EnR&R et 35% GAZ.

Les coûts de maintenance, de déconstruction et d'enlèvement de la chaufferie actuelle ayant été pris comme une constante pour les deux solutions, cela nous conduit à prendre en compte dans notre calcul les coûts suivants :

INVESTISSEMENT

- Réalisation de diagnostics préalables ;
- Travaux de voirie et de construction d'ouvrages ;
- Travaux d'aménagement de la chaufferie existante (cas d'un ERP) ;
- Fourniture et pose d'organes de chauffages ;
- Essai de mise en service ;
- Divers et aléas ;
- Aide du fond chaleur ADEME

FONCTIONNEMENT :

- Coût du GAZ ;
- Coût de l'électricité.

MAINTENANCE : K

Les solutions présentées sont:

- **La solution de Base – 100% GAZ ;**
- **La solution VARIANTE 1 - PAC avec échangeur à plaques ;**
- **La solution VARIANTE 2 - PAC avec échangeur déporté.**

L'aide forfaitaire de l'ADEME pour les installations de PAC produisant du chaud et de tailles suivantes :

Technologie	Aide en €/MWh EnR/an (sur 20 ans)
Pompe à chaleur sur eaux usées	20

Tableau 26 – Méthode de calcul aide ADEME (Source : Fonds Chaleur 2019)

Application numérique :

- Consommation total en kwh/an PCS : 320 000
- Consommation pris par la PAC (65 %) en kwh/an : 208 000
- Consommation pris sur EnR&R pour COP 4 en kwh/an : 156 000
- **Soit une aide probable de : 156 x 20 x 20 : 62 k€ + 6 k€ pour les prestations intellectuelles**

	Solution de Base (€/HT)	VARIANTE 1 (€/HT)	VARIANTE 2 (€/HT)
PI + TRAVAUX	90 000	349 000	428 000
DIVERS ET ALEAS (15%)	12 750	49 800	61 650
AIDE ADEME	0	68 000	68 000
COUT PLAFOND	102 750	330 800	421 650
FONCTIONNEMENT* 20 ans	860 000	573 000	573 000
DUREE RI		19 ANS	21 ANS

Tableau 27 – Synthèse Retour sur Investissement

*Sur les hypothèses d'augmentation du GAZ de 8%/an et 5%/an pour l'ELECTRICITE.

Le détail du calcul du tableau de retour sur investissement est en annexe H.

VII.8 Le bilan carbone

La France, qui fait déjà partie des pays les moins émetteurs de CO₂ par habitant en Europe grâce à son système électrique très décarboné, s'est engagée à poursuivre la réduction de ses émissions. Ainsi la Loi pour la Transition Énergétique et la Croissance Verte du 17 août 2015 (LTECV) fixe comme objectif une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de 40 % entre 1990 et 2030 et leur division par quatre entre 1990 et 2050. Par ailleurs la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) définit les grandes orientations à moyen et long terme pour y parvenir et les trajectoires des budgets carbone par secteur à respecter. Il est demandé en particulier au secteur du bâtiment une réduction de 87 % de ses émissions directes, liées à sa consommation d'énergie fossile, entre 2013 et 2050.

Sur le total des émissions de GES de la France, environ les deux tiers sont liées à la consommation d'énergie (5 % sont liées à l'électricité, 40 % au pétrole et 20 % au gaz). Pour les réduire, il est bien évidemment souhaitable de chercher à réduire ces consommations notamment en promouvant l'utilisation des énergies renouvelables.

Comment mesure-t-on le contenu en CO₂ des énergies ?

Suite aux retours d'expériences depuis des années, il est aisé de quantifier les émissions associées à la production et à la combustion d'une tonne de charbon, de pétrole ou de gaz naturel qui sont connues. En revanche, s'agissant de l'électricité, le sujet est plus complexe et suppose une méthodologie adaptée pour éviter des erreurs de fond dans l'analyse. Dans notre projet, il a été pris le parti de considérer que 100% de l'électricité nécessaire au fonctionnement du système était d'origine nucléaire. Cependant dans le cadre d'une démarche bilan carbone de bout en bout, il existe des méthodes de références, telles que :





	Méthode réglementaire	ISO 14064-1	Bilan Carbone®	GHG Protocol
Origine	France Article 75 - Loi ENE	Norme internationale ISO	France Association Bilan Carbone	USA – développée par le WBCSD et WRI
Date	2011	2006 ; en cours de révision	2004.	1998
Spécificités	Couvre les Scopes 1 et 2 Méthode complémentaire dédiée aux collectivités (Patrimoines et compétences)	Principes généraux s'appliquant à l'ensemble des méthodes	Couvre l'ensemble des SCOPES Méthodes disponibles pour les Entreprises, les établissements publics, les collectivités (Patrimoine et compétences) et les territoires	Couvre l'ensemble des SCOPES Depuis 2014, méthode disponible pour les territoires (Global Protocol for Community)
Liens	 MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE	 International Organization for Standardization	 BC BILAN CARBONE®	 GREENHOUSE GAS PROTOCOL

Tableau 28 – Méthode bilan carbone, les plus utilisées en France (Source : Bilans GES ADEME)

A noter que notre démarche se veut être une sensibilisation et indicative dans le cas d'une assistance à la décision.

Aussi, l'ADEME a mis en place le site base carbone :

<http://www.basecarbone.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/70>

Il contient les bilans carbone de nombreuses énergies dont l'électricité.

On retrouve sur cette base les chiffres de :

- 418 gCO₂/kWh pour l'énergie gaz incluant la combustion en elle-même mais aussi la phase amont de production du gaz ;
- 236 gCO₂/kWh pour l'énergie fournie par le réseau de chaleur de la ville de Versailles.

Dép.	Nom du réseau	Localisation	Chaleur (C) ou froid (F)	gCO ₂ / kWh
78	Les Nouveaux Horizons	Elancourt	C	349
78	Le Val Fourré	Mantes la Jolie	C	95
78	Réseau SVCU de Versailles	Versailles	C	236
78	Parly II-Le Chesnay	Le Chesnay	C	227

Tableau 29 – Valeur carbone réseau de chaleur Versailles (Source : Bilans GES (ADEME))

D'autres sources présentent la part de CO₂ par filière de production électrique :

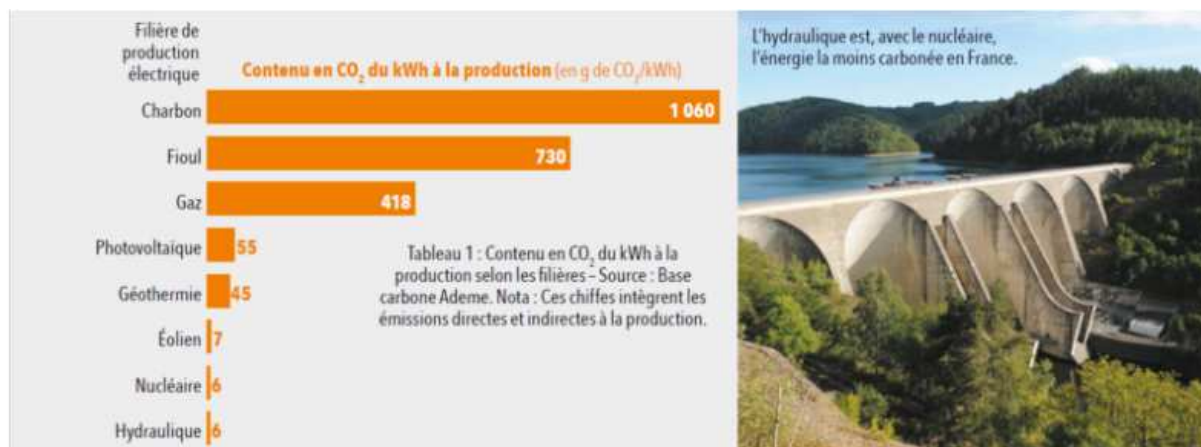


Figure 40 – Contenu en CO₂ du kWh d'énergie (Source : Equilibre des énergies)

Le tableau ci-dessous présente une approche de la réduction du bilan carbone dans le cas de notre projet en comparant les trois solutions suivantes :

Cas n°01 - Chauffage 100% GAZ

Cas n°02 - 65 % PAC et 35% GAZ

Cas n°03 - 100% RESEAU DE CHALEUR

Rappel : Besoin en chauffage pour le complexe pépinière d'entreprise : 317 201 kWh/an.

	BILAN GAZ			BILAN ELECTRICITE			BILAN RESEAU DE CHALEUR			TOTAL (tCO ₂ /an)
	GAZ (kwh/an)	gCO ₂ /kWh	TOTAL (tCO ₂ /an)	ELECTRICITE (kwh/an)	gCO ₂ /kWh	TOTAL (tCO ₂ /an)	RESEAU DE CHALEUR (kwh/an)	gCO ₂ /kWh	TOTAL (tCO ₂ /an)	
CAS n°01	317 201		133	0		-			-	133
CAS n°02	111 020	418	46	51 545	6	0		236	-	47
CAS n°03	-		0			-	317 201		75	75

Tableau 30 – Bilan carbone annuel approché pour chauffage (Complexe pépinière d'entreprises)

La mise en place d'un système de récupération de chaleur générerait une réduction des GES de la ville de Versailles de l'ordre de 80 T eq CO₂/an, en comparant le bilan de la solution 100% GAZ, à celui de la solution PAC + GAZ

Sachant qu'un arbre adulte stocke 30 kg de CO₂ par an (source E-RSE), l'économie représenterait environ 2 300 arbres adultes par an.

VIII. CONCLUSION

La mission qui m'était confiée consistait à réaliser l'étude de potentiel de récupération de chaleur sur le réseau des eaux usées de la ville de Versailles et à s'assurer de la faisabilité d'une telle opération.

Il est possible de conclure qu'il existe un potentiel calorifique et technique de récupération de chaleur sur l'emprise de la ville de Versailles. Cependant, il est important d'intégrer nombre de précautions avant d'avancer dans le développement de cette technologie.

- Dans un premier temps, il est indispensable de prévoir une seconde campagne de mesures dans les collecteurs sur une période plus représentative en terme de présence de la population et également en terme de température des eaux usées.
- Dans un deuxième temps, il faudra réaliser un diagnostic thermique des bâtiments et s'assurer auprès du bureau d'études que le raccordement à la chaufferie actuelle et aux émetteurs des bâtiments est compatible avec la mise en place d'une pompe à chaleur.
- Enfin d'un point de vue technique, il faudra s'assurer que la puissance électrique supplémentaire requise pour le fonctionnement de la PAC est disponible.

Le modèle économique de mise en place d'un tel dispositif ne repose que sur l'augmentation du coût des énergies fossiles (le GAZ dans notre cas) et les dispositifs d'accompagnement de l'Etat. Par conséquent, il est important pour le porteur du projet de s'inscrire au-delà d'une réflexion de la simple rentabilité financière car ce type d'opération s'inscrit surtout dans une démarche de préservation de notre environnement en réduisant les émissions de carbone et par conséquent en contribuant à diminuer l'effet de serre.

Ainsi le coût des travaux se situerait entre 300 000 et 450 000 euros, dont il pourrait être soustrait environ 65 000 € d'aide de l'ADEME pour un retour sur investissement entre 19 et 21 ans en fonction des hypothèses d'évolutions du coût des énergies retenues.

Finalement, bien que mise en place depuis 10 ans en métropole, sur une vingtaine de sites cette technologie paraît encore novatrice et expérimentale. De plus, son dimensionnement semble encore difficile à appréhender eu égard des retours d'expériences des maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvre que nous avons rencontrés.

Cependant, la réalisation d'un tel projet au profit d'une école ou d'une maison des associations pourrait revêtir également un aspect pédagogique avec la possibilité de dédier une salle à la présentation des énergies renouvelables afin que les générations futures y soient sensibilisées avec un projet concret.

BIBLIOGRAPHIE

- **SAFEGE. Elaboration d'un schéma directeur d'assainissement pour la ville de Versailles :**
Rapport phase 1, mai 2011, 109 pages
Rapport phase 2, septembre 2011, 185 pages
Rapport phase 3, mai 2012, 117 pages
Rapport phase 4, juillet 2012, 117 pages
Rapport Phase 5, août 2012, 39 pages
- **SOFIES Leading sustainability, Etude relative au développement de réseaux de chaleur sur le territoire de la plaine de Versailles,** Juillet 2014, 29 pages
- **CSTB, Avis technique 17 / 15-290 degrés bleus.** MARS 2012, 12 pages
- **DE BATZ S., VAN DEN BOSSCHE H. La production d'énergie renouvelable par les systèmes d'épuration, quelques exemples.** 2017 ASTEE, TSM
- **GIBERT J-L, 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'écoquartier du Mousse à Dax.** 20 septembre 2013. Présentation powerpoint.
- **AZAM M-H., HORSIN MOLINARO H., La cloacothermie ou l'énergie des eaux usées,** école normale supérieure Paris Saclay, 22 septembre 2017. Support de cours.
- **AZAM M-H., HORSIN MOLINARO H., Cloacothermie, une solution pour les EcoQuartiers,** école normale supérieure Paris Saclay, 06 octobre 2017. Support de cours.
- **DE SA C., WALTHER E., HORSIN MOLINARO H., Régulation des installations énergétiques – gestion thermique du bâtiment,** école normale supérieure Paris Saclay, 19 février 2018.
- **HORSIN MOLINARO H., MULTON B., Ressources énergétiques et énergie électrique,** école normale supérieure Paris Saclay, 19 février 2018.
- **DERIEUX A., DUVIVIER A., GRACEFFA A., MAILLOT V., RYCKELYNCK C., Développement de la cloacothermie : Réseau de chaleur urbain sur la ZAC de la SAULAIE,** Ecole nationale des Travaux Publics de l'Etat., Rapport de projet 20 pages
- **HUBER TECHNOLOGY, Echangeur de chaleur pour Eaux Usées HUBER RoWIN.** 2011 Documentation technique entreprise.
- **RABTHERM ENERGY SYSTEMS, Energie à partir des eaux usées.** Documentation technique entreprise.
- **DE KERNVENOEL M., BIDEUX G., FERY G., degrés bleus,** cleanTuesday Eau, Paris, le 10 mars 2019, Documentation technique entreprise.
- **VEOLIA, Récupération d'énergie sur les systèmes d'assainissement, Technologie Energido,** Documentation technique entreprise.
- **Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte,** LEGIFRANCE, JORF n°0189 du 18 août 2015 page 14263 texte n°1.
- **Directive (UE) 2018/2001 du parlement européen et du conseil du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (refonte).** Journal Officiel de l'Union Européenne du 21 décembre 2018.
- **BEAUCHENE S. Le Smart Thermogène Grid : étude des potentiels de récupération, de stockage et de redistribution des énergies fatales et renouvelables, optimisation et gestion**

d'un système intelligent intégrant l'ensemble des énergies disponibles dans le bâtiment.

Ecole nationale supérieure des Mines d'Albi-Carmaux conjointement avec l'INP Toulouse,
Thèse. 189 pages

- OSKAR W. , BAUCHROWITZ M. institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l'Eau, EawagNews 60 : **Les Biofilms**, juillet 2006 , 36 pages.
- KHOURY J. & Services Industriels de Genève & ville de Genève. **Récupération de la chaleur des eaux usées : Etude de cas de la Cité-Jonction (GE)**. Genève : Juillet 2009. 97 pages.
- MAILLARD V. : **Mise en place d'échangeur à chaleur dans les égouts parisiens**, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, août 2014, mémoire de fin d'étude. 99 pages.

ANNEXES

ANNEXE A : Synthèse des collecteurs à potentiel	page 73
ANNEXE B : Synthèse des immeubles publics dans la zone d'étude	page 74
ANNEXE C : Profils moyens des collecteurs	page 76
ANNEXE D : Calcul des Degrés Jours Unifiés	page 84
ANNEXE E : Bilans de consommations GAZ 2017/2018 et 2018/2019	page 87
ANNEXE F : Calcul de dimensionnement des organes de chauffage	page 89
ANNEXE G : Modèle demande d'informations d'urbanisme	page 91
ANNEXE H : Calcul Retour sur Investissement	page 97

ANNEXE A

Désignation	Débit MTS (l/s)	Vitesse (m/s)	Section (hxl)	Longueur (m)	Part ECPP %
Rue Remilly	15<<50	V>0,6	T120 X 75	220	39
Rue Albert Joly	15<<50	V>0,6	T120 X 75	400	39
Boulevard de la Reine	15<<50	V>0,6	T170 X 115	550	37
Rue Hoche	15<<50	V>0,6	T135 X 100	120	37
Rue Maréchal Foch	15<<50	V>0,6	T120 X 75	160	39
Rue Général Leclerc	15<<50	V>0,6	T160 X 125	80	28
Rue Joffre	15<<50	V>0,6	T170 X 90	120	28
Rue d'Anjou	15<<50	V>0,6	T150	230	28
Rue Royale	15<<50	V>0,6	T150	200	28
Rue Bonne aventure - Gare	15<<50	V>0,6	T155 X 90	800	12
Rue Jean Mermoz	15<<50	V>0,6	T150 X 100	550	39
Rue Pierre Currie	15<<50	V>0,6	T180	500	47
Rue du Béarn	15<<50	V>0,6	T150 X 80	250	12
Avenue de la République	15<<50	V>0,6	T120 X 75	400	37
Rue Bazin	15<<50	V>0,6	T190 X 105	1300	37
Rue école des Postes	15<<50	V>0,6	T140 X 90	400	12
Rue de la Paroisse	15<<50	0,3<V<0,6	T145 X 100	300	22
Rue Hardy	15<<50	0,3<V<0,6	T180	310	28
Rue de l'Orangerie	15<<50	0,3<V<0,6	T195 X 130	350	28
Impasse Saint Henry	15<<50	0,3<V<0,6	T210 X 180	200	39
Avenue de Paris	15<<50	0,3<V<0,6	T200 X 120	600	47

ANNEXE B

DESIGNATION	LOCALISATION
Ecole primaire Marcel Lafitan	Boulevard de la Reine
Musée Lambinet	Boulevard de la Reine
Crèche du jeu de l'oie	Rue Jean Mermoz
Maison de Quartier Prés aux Bois	Rue de l'école des postes
Ecole maternelle Dunoyer de Segonzac	Rue de l'école des postes
Ecole élémentaire Edme Fremy	Rue Jean Mermoz
Gymnase Edme Fremy	Rue Jean Mermoz
Ecole maternelle les lutins	Rue Jean Mermoz
Bibliothèque l'Octroi	Avenue de Paris
Complexe école Lully Vauban	Avenue de Paris
Conservatoire régionale de danse	Avenue de Paris
Espace Richaud	Boulevard de la Reine
Crèche chat Botté	Boulevard de la Reine
Maison de Quartier Saint-Louis	Rue Royale
Bibliothèque municipale	Rue de l'orangerie
La Rotonde	Rue Royale
La Pépinière VGP	Rue du Béarn
Maison de l'architecture	Rue Royale
Gymnase Henri Simon	Rue Bazin
Ecole maternelle le petit prince	Boulevard de la Reine
Ecole élémentaire Charles Perrault	Boulevard de la République
Gymnase Remilly	Rue Remilly
Maison des associations	Rue du Béarn
Crèche Marie Anne Boivin	Rue Bazin
Maison de la PROVIDENCE	Rue Jean Mermoz
Ecole élémentaire Jean-Baptiste de la Quintinie	Rue Royale
Ecole maternelle La Fontaine	Rue Royale
Salle de sports la Quintinie	Rue Royale

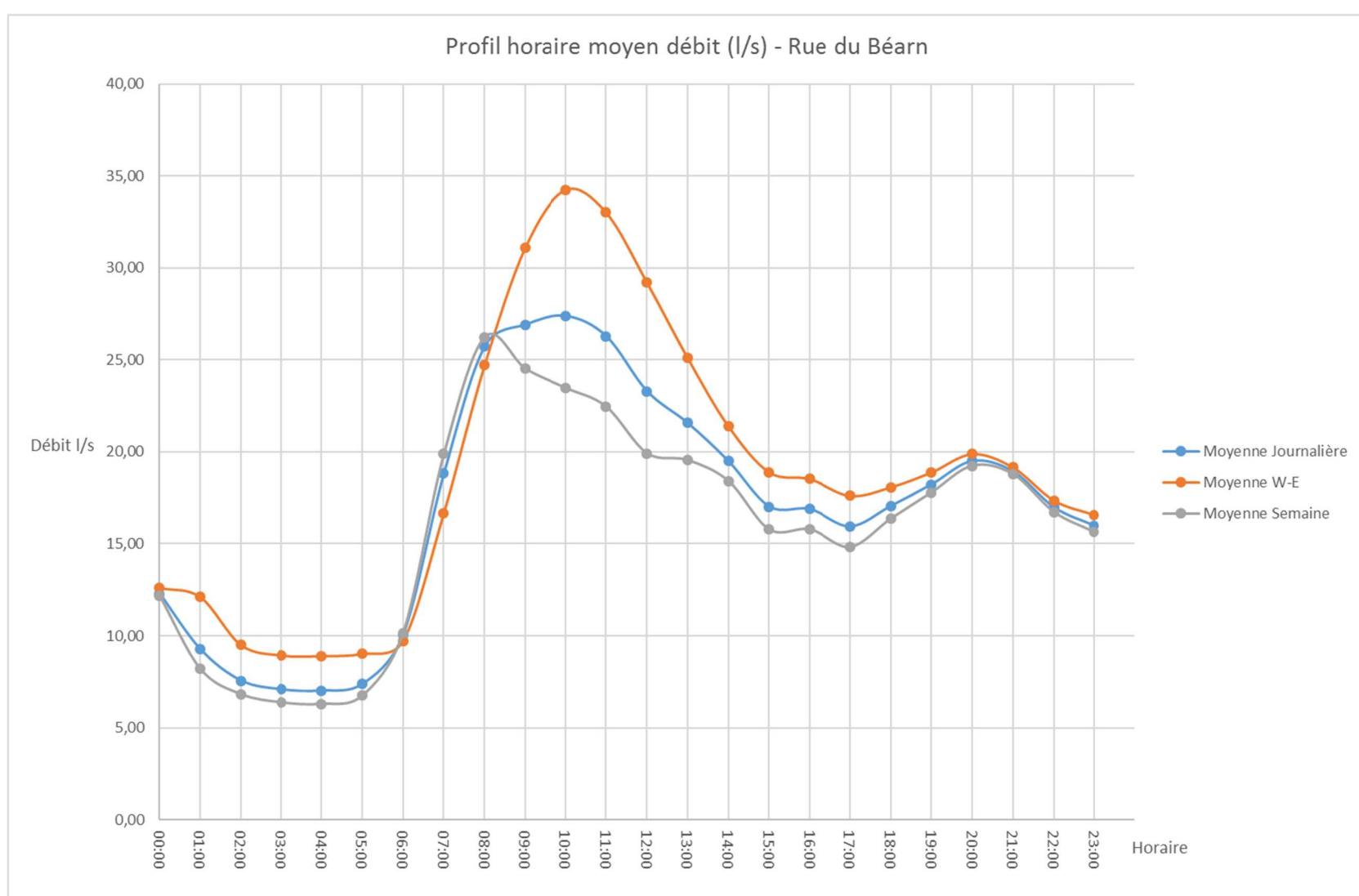
-Mastère Spécialisé EPA-
Pierre SPIESER

Ecole maternelle et élémentaire Albert Thierry des petits bois	Rue des petits bois
Accueil Loisirs Maternel Petits bois	Rue des petits bois
Gymnase Albert Thierry	Rue des petits bois
Foyer EOLE	Rue Jean Mermoz
Dépôt Petits bois	Rue des petits bois
Ecole du colonel de Bange	Rue du maréchal Foch
Dépôt des gonards	Rue Jean Mermoz
Fondation LEPINE	Rue Jean Mermoz
Pavillon du 10 rue Edme Fremy	Rue Jean Mermoz
Salle Polyvalente Antoine Litler	Rue Jean Mermoz

ANNEXE C

ETUDE DES DEBITS à partir des données brutes pas de temps 5 minutes												
RUE DU BEARN												
	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	08/08/2019	09/08/2019	10/08/2019	11/08/2019
00:00	14,01	13,70	13,06	13,42	12,50	12,02	10,95	10,55	13,16	9,94	22,73	11,91
01:00	8,29	8,33	8,11	8,49	8,20	7,35	7,59	6,78	10,74	8,44	20,39	19,63
02:00	7,08	6,10	6,82	6,72	6,13	5,98	5,34	5,84	10,24	7,26	18,26	15,65
03:00	6,59	5,56	6,14	6,33	5,73	5,00	5,27	5,15	11,41	5,96	18,36	14,75
04:00	6,33	5,98	6,02	5,69	5,33	4,83	4,92	4,54	11,71	6,06	18,96	15,67
05:00	7,00	5,88	6,34	5,76	5,36	5,07	5,60	5,40	11,34	7,42	19,91	15,95
06:00	11,65	10,23	11,35	6,94	5,88	8,21	9,61	7,57	13,29	9,42	18,37	16,37
07:00	25,29	24,13	23,73	12,99	9,34	17,13	17,36	16,84	19,43	15,10	20,79	23,62
08:00	31,32	31,84	31,52	19,86	17,22	24,12	23,63	21,59	25,07	20,74	28,26	33,57
09:00	27,02	29,02	27,94	28,39	25,63	23,47	20,03	21,18	22,93	133,68	35,73	34,74
10:00	25,13	24,46	26,69	30,47	29,07	23,27	22,25	18,17	24,33	52,51	38,44	39,03
11:00	23,68	24,94	25,90	31,93	27,48	20,95	20,73	16,55	24,40	31,51	36,04	36,60
12:00	20,81	21,68	23,87	25,64	23,68	19,46	18,01	15,35	20,25	29,19	35,60	31,93
13:00	22,12	20,11	21,46	22,81	22,72	20,07	17,89	17,95	17,21	22,90	27,47	27,39
14:00	21,66	19,25	20,96	19,37	18,10	17,83	19,45	14,37	15,30	537,89	22,77	25,28
15:00	18,29	17,97	18,65	19,02	17,30	14,55	476,22	11,75	13,43	64,52	20,01	19,23
16:00	18,22	17,43	22,40	19,31	16,03	13,54	88,96	10,82	12,30	37,72	18,89	19,86
17:00	18,86	17,09	18,07	17,10	15,57	13,64	53,62	9,41	11,90	43,52	19,83	17,92
18:00	19,53	19,53	19,72	16,52	18,93	15,04	58,17	10,92	13,46	38,20	17,59	19,27
19:00	20,91	20,78	20,19	19,57	20,70	17,43	49,68	12,82	14,63	39,33	16,30	18,98
20:00	23,78	24,55	21,33	20,39	19,80	18,35	45,14	10,24	17,22	37,92	17,37	21,98
21:00	23,10	22,39	20,82	19,36	19,73	17,29	36,07	11,36	17,73	32,23	14,78	22,73
22:00	20,02	19,02	18,52	16,89	17,23	16,00	23,50	12,30	14,52	30,54	12,47	22,84
23:00	16,84	16,71	16,77	16,24	14,80	13,57	17,54	14,40	13,57	24,44	11,23	24,00

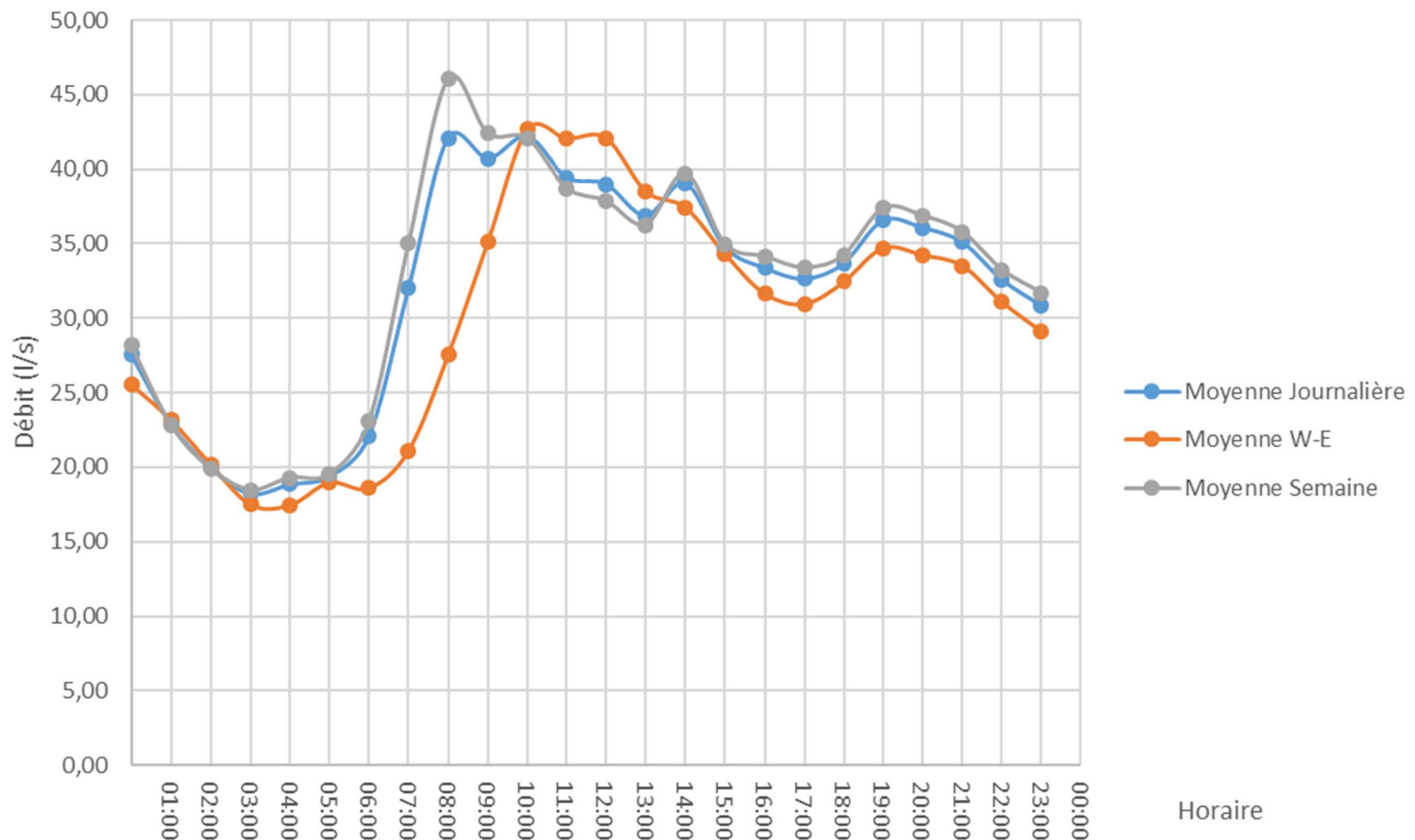
ETUDE DES DEBITS															
RUE DU BEARN SANS EPISODES PLUVIEUX															
	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	08/08/2019	09/08/2019	10/08/2019	11/08/2019	MOYENNE	MOYENNE W-E	MOYENNE SEMAINE
00:00	14,01	13,70	13,06	13,42	12,50	12,02	10,95	10,55	13,16	9,94	22,73	11,91	12,29	12,61	12,17
01:00	8,29	8,33	8,11	8,49	8,20	7,35	7,59	6,78	10,74	8,44	20,39	19,63	9,27	12,11	8,20
02:00	7,08	6,10	6,82	6,72	6,13	5,98	5,34	5,84	10,24	7,26	18,26	15,65	7,56	9,50	6,83
03:00	6,59	5,56	6,14	6,33	5,73	5,00	5,27	5,15	11,41	5,96	18,36	14,75	7,08	8,94	6,39
04:00	6,33	5,98	6,02	5,69	5,33	4,83	4,92	4,54	11,71	6,06	18,96	15,67	7,01	8,90	6,30
05:00	7,00	5,88	6,34	5,76	5,36	5,07	5,60	5,40	11,34	7,42	19,91	15,95	7,37	9,02	6,76
06:00	11,65	10,23	11,35	6,94	5,88	8,21	9,61	7,57	13,29	9,42	18,37	16,37	10,05	9,73	10,17
07:00	25,29	24,13	23,73	12,99	9,34	17,13	17,36	16,84	19,43	15,10	20,79	23,62	18,81	16,68	19,88
08:00	31,32	31,84	31,52	19,86	17,22	24,12	23,63	21,59	25,07	20,74	28,26	33,57	25,73	24,73	26,23
09:00	27,02	29,02	27,94	28,39	25,63	23,47	20,03	21,18	22,93	133,68	35,73	34,74	26,92	31,12	24,52
10:00	25,13	24,46	26,69	30,47	29,07	23,27	22,25	18,17	24,33	52,51	38,44	39,03	27,39	34,25	23,47
11:00	23,68	24,94	25,90	31,93	27,48	20,95	20,73	16,55	24,40	31,51	36,04	36,60	26,29	33,01	22,45
12:00	20,81	21,68	23,87	25,64	23,68	19,46	18,01	15,35	20,25	29,19	35,60	31,93	23,30	29,21	19,92
13:00	22,12	20,11	21,46	22,81	22,72	20,07	17,89	17,95	17,21	22,90	27,47	27,39	21,56	25,10	19,54
14:00	21,66	19,25	20,96	19,37	18,10	17,83	19,45	14,37	15,30	537,89	22,77	25,28	19,49	21,38	18,40
15:00	18,29	17,97	18,65	19,02	17,30	14,55	476,22	11,75	13,43	64,52	20,01	19,23	17,02	18,89	15,77
16:00	18,22	17,43	22,40	19,31	16,03	13,54	88,96	10,82	12,30	37,72	18,89	19,86	16,88	18,52	15,78
17:00	18,86	17,09	18,07	17,10	15,57	13,64	53,62	9,41	11,90	43,52	19,83	17,92	15,94	17,61	14,83
18:00	19,53	19,53	19,72	16,52	18,93	15,04	58,17	10,92	13,46	38,20	17,59	19,27	17,05	18,08	16,37
19:00	20,91	20,78	20,19	19,57	20,70	17,43	49,68	12,82	14,63	39,33	16,30	18,98	18,23	18,89	17,79
20:00	23,78	24,55	21,33	20,39	19,80	18,35	45,14	10,24	17,22	37,92	17,37	21,98	19,50	19,88	19,24
21:00	23,10	22,39	20,82	19,36	19,73	17,29	36,07	11,36	17,73	32,23	14,78	22,73	18,93	19,15	18,78
22:00	20,02	19,02	18,52	16,89	17,23	16,00	23,50	12,30	14,52	30,54	12,47	22,84	16,98	17,36	16,73
23:00	16,84	16,71	16,77	16,24	14,80	13,57	17,54	14,40	13,57	24,44	11,23	24,00	15,97	16,57	15,63



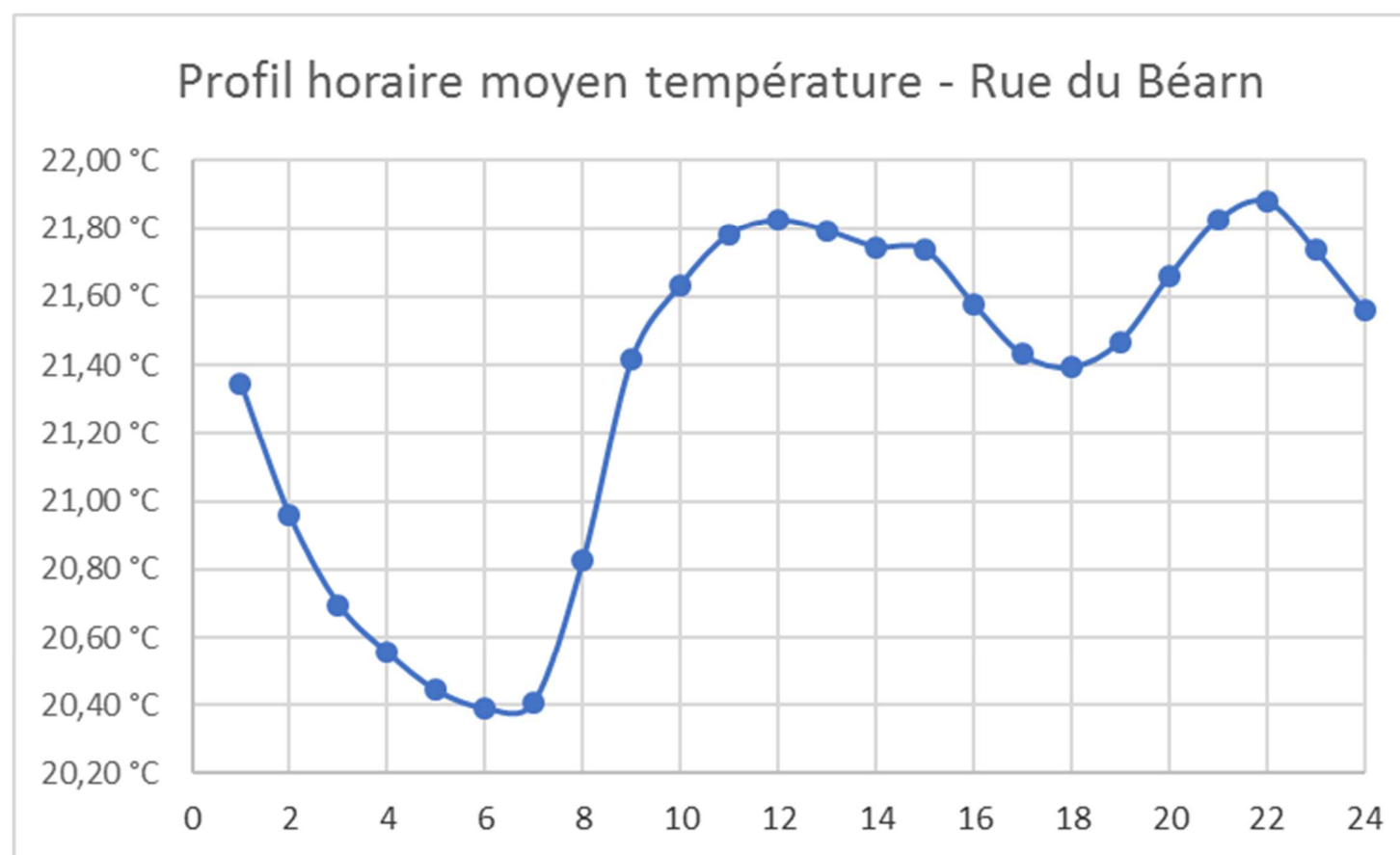
ETUDE DES DEBITS à partir des données brutes pas de temps 5 minutes															
AVENUE DE PARIS															
	24/07/2019	25/07/2019	26/07/2019	27/07/2019	28/07/2019	29/07/2019	30/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019
00:00	36,27	33,67	31,56	231,30	27,28	25,36	24,95	27,14	26,86	25,09	23,93	25,51	25,60	25,10	37,14
01:00	30,51	26,57	24,94	38,28	24,09	20,72	22,47	22,37	20,26	20,86	23,03	22,45	19,20	20,18	32,10
02:00	25,04	24,18	24,94	42,36	20,27	18,99	16,83	19,16	16,96	17,17	19,64	20,66	18,02	17,61	29,34
03:00	21,13	17,86	20,60	80,50	19,83	18,57	18,22	18,60	16,39	17,40	16,42	16,28	17,51	18,45	32,47
04:00	20,11	21,48	23,58	31,51	17,41	17,60	17,89	18,62	18,92	17,61	17,37	17,60	17,85	19,24	29,92
05:00	24,23	22,01	21,05	28,03	20,24	18,40	18,31	20,21	17,42	19,15	18,55	18,19	17,54	16,97	29,56
06:00	28,77	26,33	27,28	228,78	20,81	20,94	20,89	20,85	20,89	20,23	16,79	18,24	19,97	19,31	28,19
07:00	43,84	39,85	38,88	216,29	22,31	34,58	32,29	36,74	32,41	31,09	21,06	20,03	31,04	28,29	35,97
08:00	56,42	50,13	46,54	73,95	29,08	45,06	43,82	48,62	44,79	44,51	29,53	24,04	39,10	40,03	47,49
09:00	49,29	45,69	81,87	46,88	35,46	42,83	39,81	44,90	42,66	42,87	36,02	33,83	38,30	34,22	43,30
10:00	51,35	47,13	49,68	85,96	46,95	38,73	41,14	42,26	38,07	39,45	40,90	40,16	36,62	36,47	41,76
11:00	42,82	45,08	35,29	58,85	45,67	40,67	42,30	38,27	37,93	36,01	41,30	39,22	36,03	33,10	38,50
12:00	44,45	45,20	34,70	48,33	43,74	38,14	36,98	40,98	37,74	33,94	39,65	36,65	34,42	31,14	38,75
13:00	41,95	40,14	39,08	44,81	41,21	37,13	39,22	37,27	36,51	37,81	34,61	33,44	33,71	31,91	24,23
14:00	44,82	43,65	42,35	42,51	40,49	36,90	37,67	36,67	36,03	35,52	34,17	32,55	34,56	48,84	15,56
15:00	40,28	37,04	33,07	39,66	37,34	33,97	38,22	33,78	32,37	32,87	29,88	30,35	33,07	695,18	13,33
16:00	39,90	36,19	32,76	34,70	33,46	35,22	33,68	33,44	31,07	31,35	28,71	29,72	33,58	528,83	10,96
17:00	39,63	38,25	33,36	33,40	33,53	30,38	33,99	32,25	30,79	33,26	28,19	28,79	28,59	155,31	12,83
18:00	40,91	37,66	35,59	36,62	34,47	33,32	34,36	33,16	33,68	28,97	30,28	28,46	30,50	103,82	11,23
19:00	43,59	41,22	35,29	32,52	38,76	37,56	39,76	36,46	36,63	32,38	31,35	36,24	33,56	90,13	15,31
20:00	42,00	39,72	34,32	35,37	38,19	35,00	38,31	36,90	36,67	33,70	29,78	33,65	35,20	65,59	12,22
21:00	41,08	41,46	32,85	34,48	37,17	35,61	36,61	34,65	34,60	31,80	30,55	31,93	33,46	52,50	11,39
22:00	41,50	36,23	31,53	32,23	33,71	31,70	33,59	31,43	31,98	29,72	28,34	30,13	31,54	49,18	10,54
23:00	36,78	35,80	111,55	30,40	32,51	31,24	32,63	31,67	29,78	26,57	25,72	27,86	29,12	43,65	11,56

ETUDE DES DEBITS																		
AVENUE DE PARIS SANS EPISODES PLUVIEUX																		
	24/07/2019	25/07/2019	26/07/2019	27/07/2019	28/07/2019	29/07/2019	30/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	MOYENNE	MOYENNE W-E	MOYENNE SEMAINE
00:00	36,27	33,67	31,56	231,30	27,28	25,36	24,95	27,14	26,86	25,09	23,93	25,51	25,60	25,10	37,14	27,56	25,57	28,16
01:00	30,51	26,57	24,94	38,28	24,09	20,72	22,47	22,37	20,26	20,86	23,03	22,45	19,20	20,18	32,10	22,90	23,19	22,81
02:00	25,04	24,18	24,94	42,36	20,27	18,99	16,83	19,16	16,96	17,17	19,64	20,66	18,02	17,61	29,34	19,96	20,19	19,89
03:00	21,13	17,86	20,60	80,50	19,83	18,57	18,22	18,60	16,39	17,40	16,42	16,28	17,51	18,45	32,47	18,25	17,51	18,47
04:00	20,11	21,48	23,58	31,51	17,41	17,60	17,89	18,62	18,92	17,61	17,37	17,60	17,85	19,24	29,92	18,87	17,46	19,29
05:00	24,23	22,01	21,05	28,03	20,24	18,40	18,31	20,21	17,42	19,15	18,55	18,19	17,54	16,97	29,56	19,41	19,00	19,53
06:00	28,77	26,33	27,28	228,78	20,81	20,94	20,89	20,85	20,89	20,23	16,79	18,24	19,97	19,31	28,19	22,11	18,62	23,06
07:00	43,84	39,85	38,88	216,29	22,31	34,58	32,29	36,74	32,41	31,09	21,06	20,03	31,04	28,29	35,97	32,03	21,13	35,00
08:00	56,42	50,13	46,54	73,95	29,08	45,06	43,82	48,62	44,79	44,51	29,53	24,04	39,10	40,03	47,49	42,08	27,55	46,05
09:00	49,29	45,69	81,87	46,88	35,46	42,83	39,81	44,90	42,66	42,87	36,02	33,83	38,30	34,22	43,30	40,70	35,10	42,39
10:00	51,35	47,13	49,68	85,96	46,95	38,73	41,14	42,26	38,07	39,45	40,90	40,16	36,62	36,47	41,76	42,19	42,67	42,06
11:00	42,82	45,08	35,29	58,85	45,67	40,67	42,30	38,27	37,93	36,01	41,30	39,22	36,03	33,10	38,50	39,44	42,06	38,73
12:00	44,45	45,20	34,70	48,33	43,74	38,14	36,98	40,98	37,74	33,94	39,65	36,65	34,42	31,14	38,75	38,99	42,09	37,86
13:00	41,95	40,14	39,08	44,81	41,21	37,13	39,22	37,27	36,51	37,81	34,61	33,44	33,71	31,91	24,23	36,87	38,52	36,27
14:00	44,82	43,65	42,35	42,51	40,49	36,90	37,67	36,67	36,03	35,52	34,17	32,55	34,56	48,84	15,56	39,05	37,43	39,70
15:00	40,28	37,04	33,07	39,66	37,34	33,97	38,22	33,78	32,37	32,87	29,88	30,35	33,07	695,18	13,33	34,76	34,31	34,96
16:00	39,90	36,19	32,76	34,70	33,46	35,22	33,68	33,44	31,07	31,35	28,71	29,72	33,58	528,83	10,96	33,37	31,65	34,13
17:00	39,63	38,25	33,36	33,40	33,53	30,38	33,99	32,25	30,79	33,26	28,19	28,79	28,59	155,31	12,83	32,65	30,98	33,39
18:00	40,91	37,66	35,59	36,62	34,47	33,32	34,36	33,16	33,68	28,97	30,28	28,46	30,50	103,82	11,23	33,69	32,46	34,24
19:00	43,59	41,22	35,29	32,52	38,76	37,56	39,76	36,46	36,63	32,38	31,35	36,24	33,56	90,13	15,31	36,56	34,72	37,38
20:00	42,00	39,72	34,32	35,37	38,19	35,00	38,31	36,90	36,67	33,70	29,78	33,65	35,20	65,59	12,22	36,06	34,25	36,87
21:00	41,08	41,46	32,85	34,48	37,17	35,61	36,61	34,65	34,60	31,80	30,55	31,93	33,46	52,50	11,39	35,10	33,53	35,79
22:00	41,50	36,23	31,53	32,23	33,71	31,70	33,59	31,43	31,98	29,72	28,34	30,13	31,54	49,18	10,54	32,59	31,10	33,25
23:00	36,78	35,80	111,55	30,40	32,51	31,24	32,63	31,67	29,78	26,57	25,72	27,86	29,12	43,65	11,56	30,84	29,12	31,70

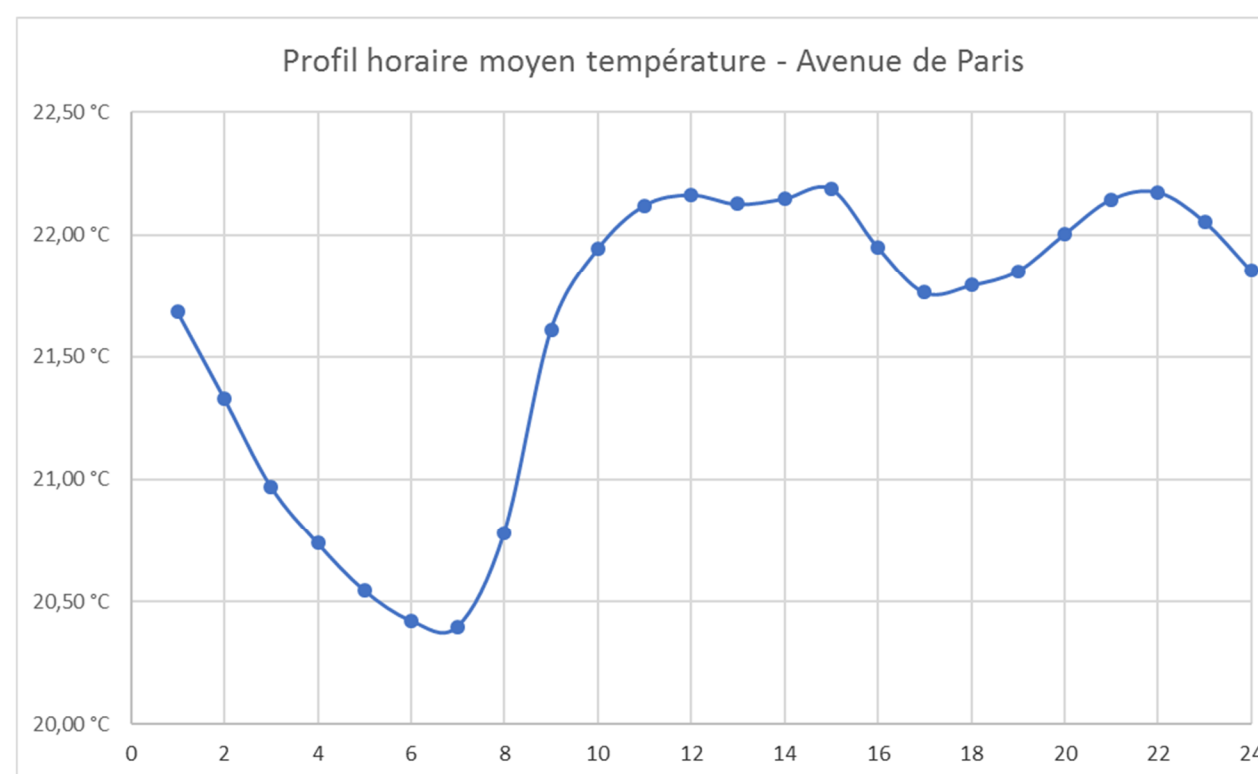
Profil horaire moyen débit (l/s) - Avenue de Paris



		24/07/2019	25/07/2019	26/07/2019	27/07/2019	28/07/2019	29/07/2019	30/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	08/08/2019	09/08/2019	10/08/2019	11/08/2019	Moyenne
0h00	1h00	21,31 °C	22,05 °C	22,19 °C	22,68 °C	20,86 °C	20,74 °C	21,24 °C	20,98 °C	21,11 °C	21,32 °C	21,44 °C	21,14 °C	21,49 °C	21,38 °C	21,16 °C	21,23 °C	21,14 °C	21,31 °C	20,81 °C	21,35 °C
1h00	2h00	20,80 °C	21,40 °C	21,50 °C	21,53 °C	20,80 °C	20,65 °C	21,08 °C	20,62 °C	20,67 °C	20,91 °C	21,07 °C	20,76 °C	21,06 °C	21,11 °C	20,87 °C	21,01 °C	20,74 °C	21,12 °C	20,50 °C	20,96 °C
2h00	3h00	20,42 °C	20,88 °C	21,03 °C	21,22 °C	20,69 °C	20,59 °C	20,82 °C	20,39 °C	20,41 °C	20,61 °C	20,76 °C	20,52 °C	20,78 °C	20,84 °C	20,70 °C	20,81 °C	20,44 °C	20,93 °C	20,37 °C	20,70 °C
3h00	4h00	20,26 °C	20,61 °C	20,73 °C	21,26 °C	20,58 °C	20,55 °C	20,75 °C	20,30 °C	20,28 °C	20,34 °C	20,50 °C	20,41 °C	20,58 °C	20,62 °C	20,63 °C	20,69 °C	20,31 °C	20,75 °C	20,35 °C	20,55 °C
4h00	5h00	20,04 °C	20,45 °C	20,58 °C	20,97 °C	20,50 °C	20,52 °C	20,59 °C	20,26 °C	20,20 °C	20,20 °C	20,30 °C	20,38 °C	20,52 °C	20,51 °C	20,57 °C	20,65 °C	20,20 °C	20,65 °C	20,32 °C	20,44 °C
5h00	6h00	19,98 °C	20,40 °C	20,61 °C	20,90 °C	20,39 °C	20,49 °C	20,48 °C	20,20 °C	20,26 °C	20,16 °C	20,14 °C	20,34 °C	20,48 °C	20,46 °C	20,55 °C	20,59 °C	20,12 °C	20,61 °C	20,26 °C	20,39 °C
6h00	7h00	20,13 °C	20,60 °C	20,76 °C	20,97 °C	20,34 °C	20,49 °C	20,37 °C	20,14 °C	20,28 °C	20,24 °C	20,12 °C	20,30 °C	20,50 °C	20,47 °C	20,48 °C	20,48 °C	20,26 °C	20,54 °C	20,28 °C	20,41 °C
7h00	8h00	21,58 °C	21,62 °C	21,69 °C	21,01 °C	20,38 °C	20,62 °C	20,57 °C	20,86 °C	20,89 °C	20,90 °C	20,31 °C	20,31 °C	20,92 °C	20,83 °C	20,88 °C	20,66 °C	20,80 °C	20,54 °C	20,28 °C	20,82 °C
8h00	9h00	22,51 °C	22,59 °C	22,70 °C	21,05 °C	20,56 °C	21,01 °C	21,07 °C	21,82 °C	21,78 °C	21,76 °C	20,83 °C	20,66 °C	21,50 °C	21,55 °C	21,62 °C	21,42 °C	21,43 °C	20,71 °C	20,32 °C	21,41 °C
9h00	10h00	22,45 °C	22,69 °C	22,68 °C	21,20 °C	20,76 °C	21,05 °C	21,19 °C	21,87 °C	21,67 °C	21,81 °C	21,42 °C	21,37 °C	21,77 °C	21,60 °C	21,90 °C	21,71 °C	22,31 °C	21,07 °C	20,52 °C	21,63 °C
10h00	11h00	22,42 °C	22,80 °C	22,68 °C	21,44 °C	21,09 °C	20,97 °C	21,52 °C	21,87 °C	21,76 °C	21,89 °C	21,92 °C	21,89 °C	21,89 °C	21,88 °C	21,89 °C	21,84 °C	22,04 °C	21,21 °C	20,84 °C	21,78 °C
11h00	12h00	22,44 °C	22,55 °C	22,61 °C	21,38 °C	21,30 °C	21,04 °C	21,90 °C	21,77 °C	21,80 °C	21,95 °C	22,20 °C	22,25 °C	21,87 °C	21,97 °C	21,85 °C	21,76 °C	21,65 °C	21,36 °C	21,02 °C	21,82 °C
12h00	13h00	22,29 °C	22,45 °C	22,48 °C	21,29 °C	21,30 °C	21,27 °C	21,86 °C	21,59 °C	21,90 °C	21,98 °C	22,11 °C	22,11 °C	21,86 °C	21,99 °C	21,76 °C	21,69 °C	21,70 °C	21,44 °C	21,04 °C	21,79 °C
13h00	14h00	22,21 °C	22,36 °C	22,33 °C	21,25 °C	21,33 °C	21,28 °C	21,71 °C	21,60 °C	21,87 °C	21,93 °C	22,05 °C	22,03 °C	21,90 °C	21,94 °C	21,85 °C	21,58 °C	21,64 °C	21,34 °C	20,98 °C	21,75 °C
14h00	15h00	22,02 °C	22,30 °C	22,34 °C	21,25 °C	21,15 °C	21,24 °C	21,43 °C	21,64 °C	21,69 °C	21,83 °C	22,00 °C	21,93 °C	21,87 °C	21,84 °C	21,73 °C	21,55 °C	22,90 °C	21,34 °C	20,97 °C	21,74 °C
15h00	16h00	21,77 °C	22,04 °C	22,25 °C	21,17 °C	21,19 °C	21,23 °C	21,31 °C	21,42 °C	21,50 °C	21,66 °C	21,93 °C	21,77 °C	21,63 °C	21,27 °C	21,60 °C	21,49 °C	22,78 °C	21,16 °C	20,82 °C	21,58 °C
16h00	17h00	21,69 °C	21,97 °C	22,12 °C	21,19 °C	21,19 °C	21,15 °C	21,19 °C	21,34 °C	21,39 °C	21,37 °C	21,72 °C	21,59 °C	21,42 °C	21,05 °C	21,47 °C	21,30 °C	22,22 °C	21,05 °C	20,76 °C	21,43 °C
17h00	18h00	21,74 °C	21,94 °C	22,11 °C	21,08 °C	21,17 °C	21,12 °C	21,18 °C	21,28 °C	21,33 °C	21,38 °C	21,55 °C	21,57 °C	21,32 °C	21,50 °C	21,35 °C	21,22 °C	21,83 °C	20,96 °C	20,86 °C	21,39 °C
18h00	19h00	21,95 °C	22,20 °C	22,18 °C	20,98 °C	21,28 °C	21,16 °C	21,33 °C	21,37 °C	21,46 °C	21,59 °C	21,53 °C	21,70 °C	21,35 °C	21,52 °C	21,45 °C	21,25 °C	21,67 °C	21,01 °C	20,93 °C	21,47 °C
19h00	20h00	22,57 °C	22,46 °C	22,45 °C	20,99 °C	21,37 °C	21,30 °C	21,73 °C	21,69 °C	21,71 °C	21,60 °C	21,57 °C	21,97 °C	21,70 °C	21,65 °C	21,71 °C	21,44 °C	21,58 °C	21,05 °C	20,96 °C	21,66 °C
20h00	21h00	22,84 °C	22,63 °C	22,61 °C	21,05 °C	21,37 °C	21,42 °C	22,10 °C	21,92 °C	21,94 °C	21,86 °C	21,79 °C	22,12 °C	21,84 °C	21,77 °C	21,91 °C	21,72 °C	21,63 °C	21,08 °C	21,06 °C	21,82 °C
21h00	22h00	22,81 °C	22,73 °C	22,43 °C	21,00 °C	21,37 °C	21,55 °C	22,09 °C	22,05 °C	22,08 °C	21,93 °C	21,88 °C	22,07 °C	22,07 °C	21,87 °C	22,07 °C	21,93 °C	21,63 °C	21,19 °C	20,95 °C	21,88 °C
22h00	23h00	22,67 °C	22,51 °C	22,22 °C	20,85 °C	20,99 °C	21,48 °C	21,79 °C	21,86 °C	22,01 °C	21,87 °C	21,81 °C	22,01 °C	21,96 °C	21,74 °C	21,88 °C	21,90 °C	21,55 °C	21,08 °C	20,80 °C	21,74 °C
23h00	24h00	22,46 °C	22,57 °C	22,26 °C	20,88 °C	20,82 °C	21,37 °C	21,47 °C	21,51 °C	21,68 °C	21,68 °C	21,52 °C	21,83 °C	21,76 °C	21,58 °C	21,51 °C	21,67 °C	21,48 °C	20,95 °C	20,65 °C	21,56 °C

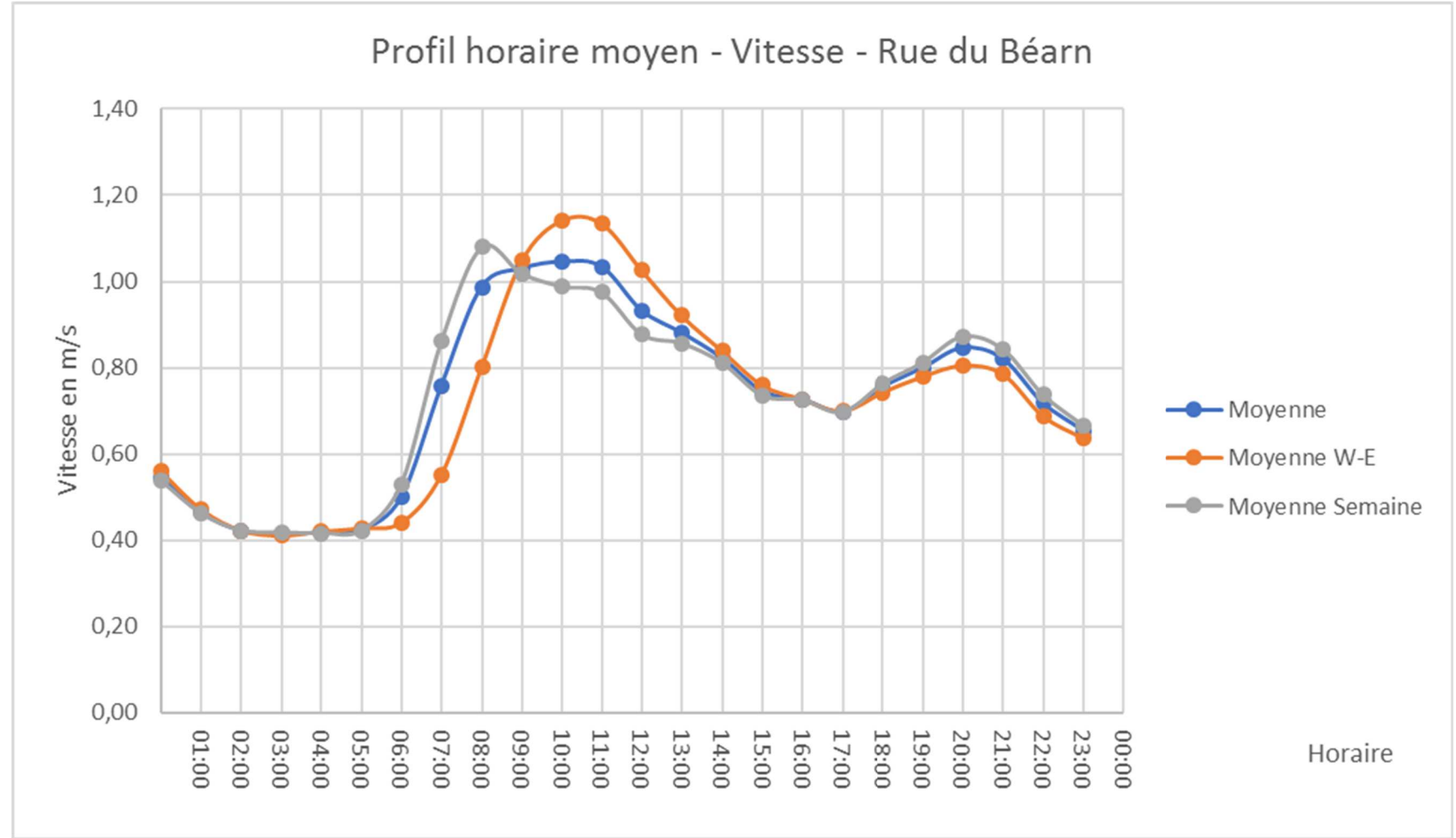


		24/07/2019	25/07/2019	26/07/2019	27/07/2019	28/07/2019	29/07/2019	30/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	Moyenne
0h00	1h00	21,71 °C	21,83 °C	22,49 °C	22,51 °C	21,54 °C	21,68 °C	21,81 °C	21,41 °C	21,52 °C	21,48 °C	21,48 °C	21,33 °C	21,55 °C	21,68 °C	21,22 °C	21,68 °C
1h00	2h00	21,25 °C	21,32 °C	22,06 °C	21,93 °C	21,38 °C	21,29 °C	21,38 °C	21,19 °C	20,99 °C	21,15 °C	21,32 °C	21,16 °C	21,29 °C	21,31 °C	20,95 °C	21,33 °C
2h00	3h00	20,89 °C	21,04 °C	21,61 °C	21,54 °C	20,87 °C	20,79 °C	21,02 °C	20,81 °C	20,65 °C	20,81 °C	20,97 °C	20,90 °C	21,03 °C	21,04 °C	20,62 °C	20,97 °C
3h00	4h00	20,48 °C	20,60 °C	21,24 °C	21,76 °C	20,68 °C	20,47 °C	20,74 °C	20,60 °C	20,43 °C	20,64 °C	20,75 °C	20,57 °C	20,77 °C	20,86 °C	20,50 °C	20,74 °C
4h00	5h00	20,25 °C	20,49 °C	21,10 °C	21,42 °C	20,45 °C	20,28 °C	20,41 °C	20,40 °C	20,39 °C	20,45 °C	20,53 °C	20,42 °C	20,58 °C	20,65 °C	20,36 °C	20,55 °C
5h00	6h00	20,18 °C	20,35 °C	20,96 °C	21,02 °C	20,39 °C	20,15 °C	20,37 °C	20,32 °C	20,13 °C	20,35 °C	20,45 °C	20,34 °C	20,45 °C	20,48 °C	20,38 °C	20,42 °C
6h00	7h00	20,23 °C	20,43 °C	20,89 °C	20,64 °C	20,39 °C	20,42 °C	20,50 °C	20,17 °C	20,16 °C	20,27 °C	20,35 °C	20,27 °C	20,42 °C	20,39 °C	20,42 °C	20,40 °C
7h00	8h00	20,91 °C	21,10 °C	21,51 °C	20,57 °C	20,36 °C	20,90 °C	21,02 °C	20,87 °C	20,73 °C	20,77 °C	20,31 °C	20,24 °C	20,86 °C	20,75 °C	20,81 °C	20,78 °C
8h00	9h00	22,28 °C	22,16 °C	22,53 °C	21,06 °C	20,72 °C	21,91 °C	21,99 °C	21,86 °C	21,71 °C	21,89 °C	20,72 °C	20,35 °C	21,62 °C	21,59 °C	21,74 °C	21,61 °C
9h00	10h00	22,31 °C	22,38 °C	23,30 °C	21,74 °C	21,18 °C	22,07 °C	22,00 °C	22,04 °C	22,14 °C	22,02 °C	21,27 °C	20,90 °C	21,95 °C	21,83 °C	21,97 °C	21,94 °C
10h00	11h00	22,07 °C	23,10 °C	22,94 °C	22,14 °C	21,84 °C	22,12 °C	22,05 °C	22,07 °C	22,14 °C	22,03 °C	21,81 °C	21,56 °C	22,13 °C	21,87 °C	21,92 °C	22,12 °C
11h00	12h00	21,98 °C	22,57 °C	23,06 °C	22,29 °C	22,20 °C	22,07 °C	22,07 °C	22,02 °C	22,11 °C	22,10 °C	22,17 °C	21,93 °C	22,13 °C	21,88 °C	21,87 °C	22,16 °C
12h00	13h00	21,99 °C	22,67 °C	22,75 °C	22,42 °C	22,28 °C	22,15 °C	21,93 °C	21,83 °C	21,99 °C	22,05 °C	22,14 °C	22,00 °C	22,03 °C	21,77 °C	21,86 °C	22,13 °C
13h00	14h00	22,00 °C	22,52 °C	22,66 °C	22,42 °C	22,26 °C	22,19 °C	22,03 °C	22,04 °C	22,11 °C	22,08 °C	22,19 °C	21,95 °C	22,07 °C	21,69 °C	21,99 °C	22,15 °C
14h00	15h00	22,09 °C	22,58 °C	22,73 °C	22,41 °C	22,30 °C	22,14 °C	22,13 °C	22,01 °C	22,21 °C	22,15 °C	21,93 °C	21,98 °C	22,14 °C	22,03 °C	22,01 °C	22,19 °C
15h00	16h00	21,78 °C	22,47 °C	22,68 °C	22,20 °C	22,04 °C	21,78 °C	21,86 °C	21,92 °C	21,94 °C	21,93 °C	21,85 °C	21,91 °C	21,94 °C	21,36 °C	21,60 °C	21,95 °C
16h00	17h00	21,77 °C	22,39 °C	22,53 °C	22,08 °C	21,95 °C	21,69 °C	21,71 °C	21,65 °C	21,81 °C	21,86 °C	21,73 °C	21,72 °C	21,77 °C	20,55 °C	21,23 °C	21,76 °C
17h00	18h00	21,74 °C	22,41 °C	22,51 °C	21,95 °C	21,86 °C	21,83 °C	21,62 °C	21,65 °C	21,67 °C	21,90 °C	21,68 °C	21,77 °C	21,64 °C	21,19 °C	21,43 °C	21,79 °C
18h00	19h00	21,93 °C	22,44 °C	22,59 °C	21,93 °C	21,82 °C	21,86 °C	21,74 °C	21,64 °C	21,80 °C	21,93 °C	21,54 °C	21,73 °C	21,68 °C	21,41 °C	21,72 °C	21,85 °C
19h00	20h00	22,17 °C	22,65 °C	22,75 °C	21,93 °C	21,95 °C	22,14 °C	21,85 °C	21,89 °C	21,97 °C	21,94 °C	21,61 °C	21,83 °C	21,96 °C	21,57 °C	21,81 °C	22,00 °C
20h00	21h00	22,40 °C	22,89 °C	22,73 °C	22,06 °C	22,30 °C	22,23 °C	22,10 °C	21,88 °C	22,11 °C	22,07 °C	21,74 °C	22,17 °C	21,95 °C	21,64 °C	21,89 °C	22,14 °C
21h00	22h00	22,36 °C	22,92 °C	22,79 °C	22,11 °C	22,25 °C	22,35 °C	22,09 °C	21,98 °C	22,08 °C	21,99 °C	21,76 °C	22,17 °C	22,03 °C	21,80 °C	21,92 °C	22,17 °C
22h00	23h00	22,28 °C	22,74 °C	22,50 °C	22,00 °C	22,17 °C	22,26 °C	21,95 °C	21,99 °C	21,97 °C	21,80 °C	21,64 °C	22,06 °C	22,02 °C	21,61 °C	21,81 °C	22,05 °C
23h00	24h00	22,05 °C	22,63 °C	22,36 °C	21,67 °C	21,82 °C	22,00 °C	21,77 °C	21,81 °C	21,82 °C	21,68 °C	21,39 °C	21,88 °C	21,89 °C	21,49 °C	21,53 °C	21,85 °C



ETUDE DES VITESSES à partir des données brutes pas de temps 5 minutes													
RUE DU BEARN													
		31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	08/08/2019	09/08/2019	10/08/2019	11/08/2019
00:00	01:00	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,53	0,49	0,79	0,58	0,55	0,71	0,61
01:00	02:00	0,44	0,46	0,45	0,45	0,44	0,42	0,42	0,58	0,46	0,46	0,58	0,52
02:00	03:00	0,43	0,41	0,44	0,41	0,40	0,41	0,39	0,49	0,43	0,39	0,49	0,45
03:00	04:00	0,41	0,38	0,42	0,41	0,38	0,37	0,38	0,49	0,50	0,38	0,46	0,44
04:00	05:00	0,41	0,41	0,41	0,38	0,37	0,35	0,37	0,46	0,53	0,39	0,47	0,46
05:00	06:00	0,44	0,40	0,41	0,38	0,37	0,36	0,40	0,47	0,47	0,42	0,49	0,47
06:00	07:00	0,55	0,52	0,55	0,44	0,40	0,47	0,54	0,56	0,57	0,49	0,47	0,45
07:00	08:00	0,93	0,90	0,88	0,59	0,47	0,75	0,79	1,00	0,89	0,75	0,60	0,56
08:00	09:00	1,11	1,13	1,11	0,76	0,69	0,96	0,96	1,22	1,18	0,97	0,98	0,78
09:00	10:00	0,98	1,05	1,02	1,03	0,95	0,94	0,83	1,20	1,11	2,50	1,25	0,97
10:00	11:00	0,93	0,92	0,98	1,10	1,04	0,93	0,89	1,15	1,13	2,04	1,29	1,13
11:00	12:00	0,89	0,94	0,95	1,15	1,01	0,86	0,85	1,16	1,17	1,46	1,29	1,10
12:00	13:00	0,81	0,83	0,90	0,95	0,93	0,81	0,76	0,98	1,06	1,40	1,27	0,96
13:00	14:00	0,85	0,78	0,81	0,84	0,90	0,83	0,76	1,01	0,95	1,13	1,03	0,92
14:00	15:00	0,84	0,76	0,80	0,75	0,74	0,76	0,80	0,88	0,84	2,45	0,95	0,92
15:00	16:00	0,72	0,71	0,72	0,74	0,71	0,65	1,75	0,83	0,79	2,82	0,86	0,73
16:00	17:00	0,71	0,69	0,86	0,74	0,67	0,62	2,65	0,75	0,72	2,43	0,72	0,77
17:00	18:00	0,73	0,67	0,69	0,66	0,64	0,62	2,78	0,78	0,68	2,11	0,78	0,72
18:00	19:00	0,75	0,76	0,75	0,64	0,76	0,67	2,41	0,90	0,74	1,87	0,78	0,80
19:00	20:00	0,79	0,79	0,76	0,74	0,80	0,75	2,09	0,99	0,79	1,57	0,80	0,77
20:00	21:00	0,88	0,91	0,79	0,76	0,77	0,76	1,83	0,99	0,89	1,44	0,86	0,84
21:00	22:00	0,85	0,85	0,79	0,71	0,77	0,73	1,60	0,94	0,90	1,24	0,85	0,81
22:00	23:00	0,75	0,73	0,70	0,63	0,70	0,69	1,31	0,82	0,74	1,10	0,72	0,70
23:00	00:00	0,64	0,65	0,63	0,63	0,62	0,60	1,05	0,76	0,72	0,89	0,62	0,67

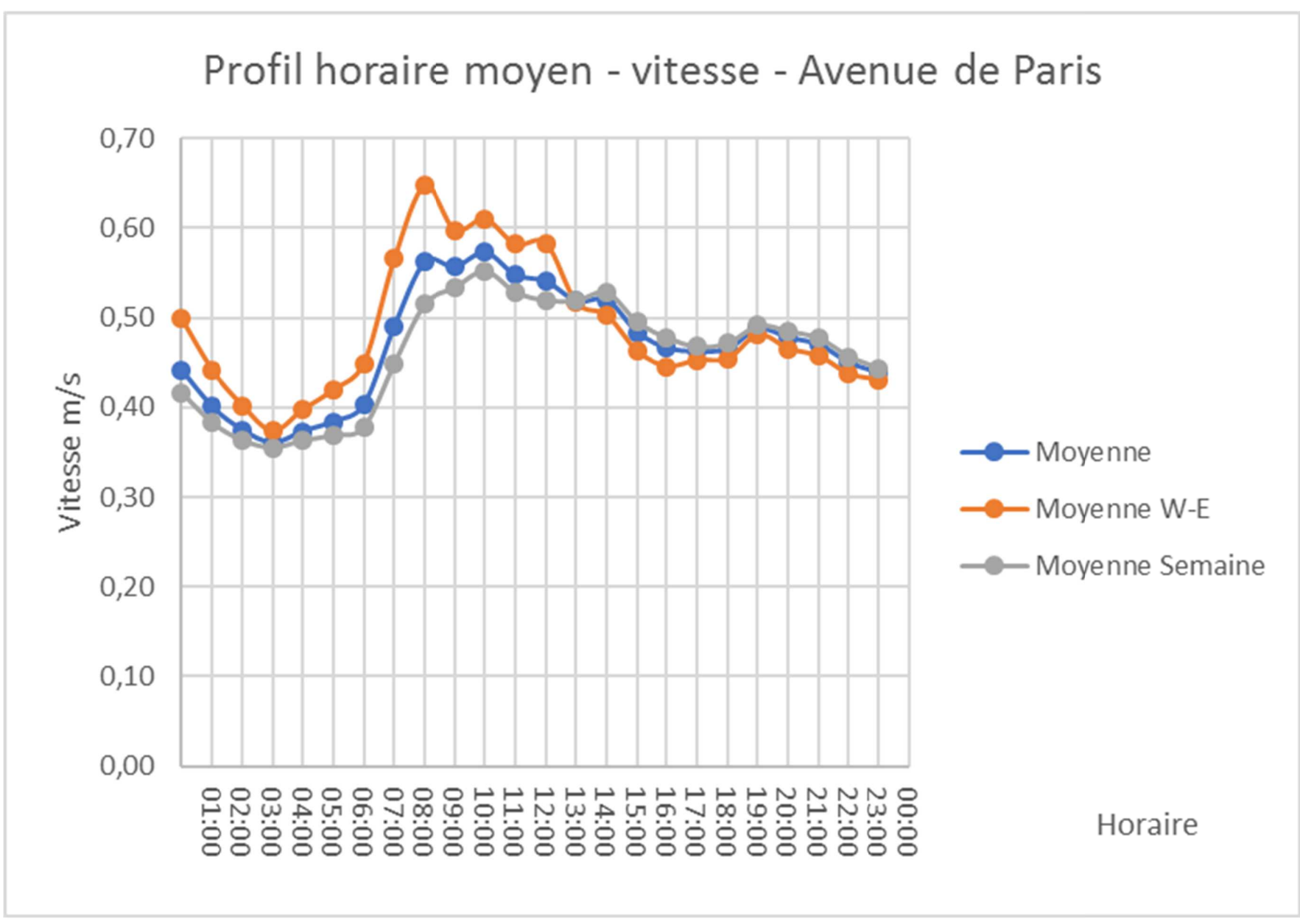
ETUDE DES VITESSES																
RUE DU BEARN SANS EPISODES PLUVIEUX																
		31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	08/08/2019	09/08/2019	10/08/2019	11/08/2019	Moyenne	Moyenne W-E	Moyenne SEMAINE
00:00	01:00	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,53	0,49	0,79	0,58	0,55	0,71	0,61	0,54	0,56	0,54
01:00	02:00	0,44	0,46	0,45	0,45	0,44	0,42	0,42	0,58	0,46	0,46	0,58	0,52	0,46	0,47	0,46
02:00	03:00	0,43	0,41	0,44	0,41	0,40	0,41	0,39	0,49	0,43	0,39	0,49	0,45	0,42	0,42	0,42
03:00	04:00	0,41	0,38	0,42	0,41	0,38	0,37	0,38	0,49	0,50	0,38	0,46	0,44	0,41	0,41	0,42
04:00	05:00	0,41	0,41	0,41	0,38	0,37	0,35	0,37	0,46	0,53	0,39	0,47	0,46	0,42	0,42	0,42
05:00	06:00	0,44	0,40	0,41	0,38	0,37	0,36	0,40	0,47	0,47	0,42	0,49	0,47	0,42	0,43	0,42
06:00	07:00	0,55	0,52	0,55	0,44	0,40	0,47	0,54	0,56	0,57	0,49	0,47	0,45	0,50	0,44	0,53
07:00	08:00	0,93	0,90	0,88	0,59	0,47	0,75	0,79	1,00	0,89	0,75	0,60	0,56	0,76	0,55	0,86
08:00	09:00	1,11	1,13	1,11	0,76	0,69	0,96	0,96	1,22	1,18	0,97	0,98	0,78	0,99	0,80	1,08
09:00	10:00	0,98	1,05	1,02	1,03	0,95	0,94	0,83	1,20	1,11	2,50	1,25	0,97	1,03	1,05	1,02
10:00	11:00	0,93	0,92	0,98	1,10	1,04	0,93	0,89	1,15	1,13	2,04	1,29	1,13	1,04	1,14	0,99
11:00	12:00	0,89	0,94	0,95	1,15	1,01	0,86	0,85	1,16	1,17	1,46	1,29	1,10	1,03	1,14	0,98
12:00	13:00	0,81	0,83	0,90	0,95	0,93	0,81	0,76	0,98	1,06	1,40	1,27	0,96	0,93	1,03	0,88
13:00	14:00	0,85	0,78	0,81	0,84	0,90	0,83	0,76	1,01	0,95	1,13	1,03	0,92	0,88	0,92	0,86
14:00	15:00	0,84	0,76	0,80	0,75	0,74	0,76	0,80	0,88	0,84	2,45	0,95	0,92	0,82	0,84	0,81
15:00	16:00	0,72	0,71	0,72	0,74	0,71	0,65	1,75	0,83	0,79	2,82	0,86	0,73	0,75	0,76	0,74
16:00	17:00	0,71	0,69	0,86	0,74	0,67	0,62	2,65	0,75	0,72	2,43	0,72	0,77	0,73	0,73	0,72
17:00	18:00	0,73	0,67	0,69	0,66	0,64	0,62	2,78	0,78	0,68	2,11	0,78	0,72	0,70	0,70	0,70
18:00	19:00	0,75	0,76	0,75	0,64	0,76	0,67	2,41	0,90	0,74	1,87	0,78	0,80	0,75	0,74	0,76
19:00	20:00	0,79	0,79	0,76	0,74	0,80	0,75	2,09	0,99	0,79	1,57	0,80	0,77	0,80	0,78	0,81
20:00	21:00	0,88	0,91	0,79	0,76	0,77	0,76	1,83	0,99	0,89	1,44	0,86	0,84	0,85	0,81	0,87
21:00	22:00	0,85	0,85	0,79	0,71	0,77	0,73	1,60	0,94	0,90	1,24	0,85	0,81	0,82	0,79	0,84
22:00	23:00	0,75	0,73	0,70	0,63	0,70	0,69	1,31	0,82	0,74	1,10	0,72	0,70	0,72	0,69	0,74
23:00	00:00	0,64	0,65	0,63	0,63	0,62	0,60	1,05	0,76	0,72	0,89	0,62	0,67	0,65	0,64	0,67



ETUDE DES VITESSES à partir des données brutes pas de temps 5 minutes																
AVENUE DE PARIS																
		24/07/2019	25/07/2019	26/07/2019	27/07/2019	28/07/2019	29/07/2019	30/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019
00:00	01:00	0,59	0,51	0,50	1,61	0,46	0,39	0,38	0,46	0,44	0,40	0,38	0,41	0,42	0,41	0,53
01:00	02:00	0,54	0,44	0,43	0,53	0,43	0,36	0,38	0,41	0,38	0,37	0,38	0,38	0,35	0,36	0,49
02:00	03:00	0,47	0,42	0,42	0,54	0,40	0,36	0,31	0,38	0,34	0,34	0,36	0,37	0,35	0,35	0,48
03:00	04:00	0,43	0,34	0,39	0,78	0,39	0,37	0,34	0,38	0,35	0,34	0,32	0,33	0,35	0,36	0,51
04:00	05:00	0,42	0,40	0,42	0,51	0,38	0,35	0,35	0,39	0,38	0,35	0,34	0,34	0,36	0,38	0,50
05:00	06:00	0,48	0,41	0,39	0,48	0,40	0,38	0,36	0,41	0,38	0,38	0,35	0,36	0,36	0,35	0,47
06:00	07:00	0,53	0,45	0,46	1,63	0,40	0,37	0,37	0,41	0,40	0,38	0,33	0,35	0,37	0,37	0,45
07:00	08:00	0,67	0,58	0,56	2,10	0,42	0,47	0,45	0,56	0,51	0,47	0,38	0,37	0,47	0,45	0,52
08:00	09:00	0,75	0,65	0,60	0,89	0,48	0,54	0,51	0,64	0,58	0,57	0,45	0,41	0,53	0,54	0,61
09:00	10:00	0,65	0,60	0,72	0,58	0,52	0,53	0,52	0,61	0,55	0,55	0,49	0,49	0,51	0,48	0,57
10:00	11:00	0,66	0,76	0,58	0,96	0,59	0,49	0,73	0,57	0,51	0,52	0,53	0,53	0,51	0,50	0,55
11:00	12:00	0,59	0,74	0,45	0,74	0,59	0,50	0,71	0,55	0,51	0,49	0,53	0,52	0,49	0,47	0,52
12:00	13:00	0,61	0,71	0,46	0,63	0,57	0,49	0,62	0,56	0,50	0,47	0,52	0,50	0,49	0,45	0,53
13:00	14:00	0,60	0,63	0,50	0,60	0,55	0,47	0,65	0,53	0,50	0,51	0,47	0,48	0,48	0,47	0,33
14:00	15:00	0,62	0,65	0,54	0,58	0,55	0,47	0,64	0,53	0,50	0,49	0,47	0,46	0,49	0,59	0,21
15:00	16:00	0,58	0,58	0,46	0,57	0,52	0,45	0,63	0,51	0,46	0,46	0,44	0,45	0,48	1,62	0,18
16:00	17:00	0,56	0,55	0,46	0,52	0,49	0,46	0,57	0,50	0,45	0,44	0,43	0,45	0,48	2,78	0,16
17:00	18:00	0,57	0,57	0,46	0,51	0,49	0,42	0,57	0,49	0,45	0,47	0,43	0,43	0,44	1,92	0,18
18:00	19:00	0,58	0,57	0,47	0,53	0,50	0,45	0,55	0,49	0,47	0,42	0,45	0,43	0,45	1,31	0,16
19:00	20:00	0,60	0,59	0,48	0,48	0,51	0,47	0,58	0,52	0,50	0,46	0,46	0,50	0,48	1,11	0,20
20:00	21:00	0,57	0,56	0,47	0,51	0,51	0,45	0,55	0,53	0,50	0,47	0,44	0,48	0,49	0,81	0,17
21:00	22:00	0,57	0,58	0,46	0,51	0,50	0,46	0,54	0,50	0,48	0,45	0,45	0,46	0,48	0,66	0,16
22:00	23:00	0,57	0,53	0,45	0,49	0,46	0,43	0,51	0,48	0,46	0,43	0,42	0,45	0,47	0,62	0,15
23:00	00:00	0,53	0,54	0,75	0,49	0,45	0,43	0,51	0,48	0,44	0,40	0,41	0,42	0,44	0,57	0,17

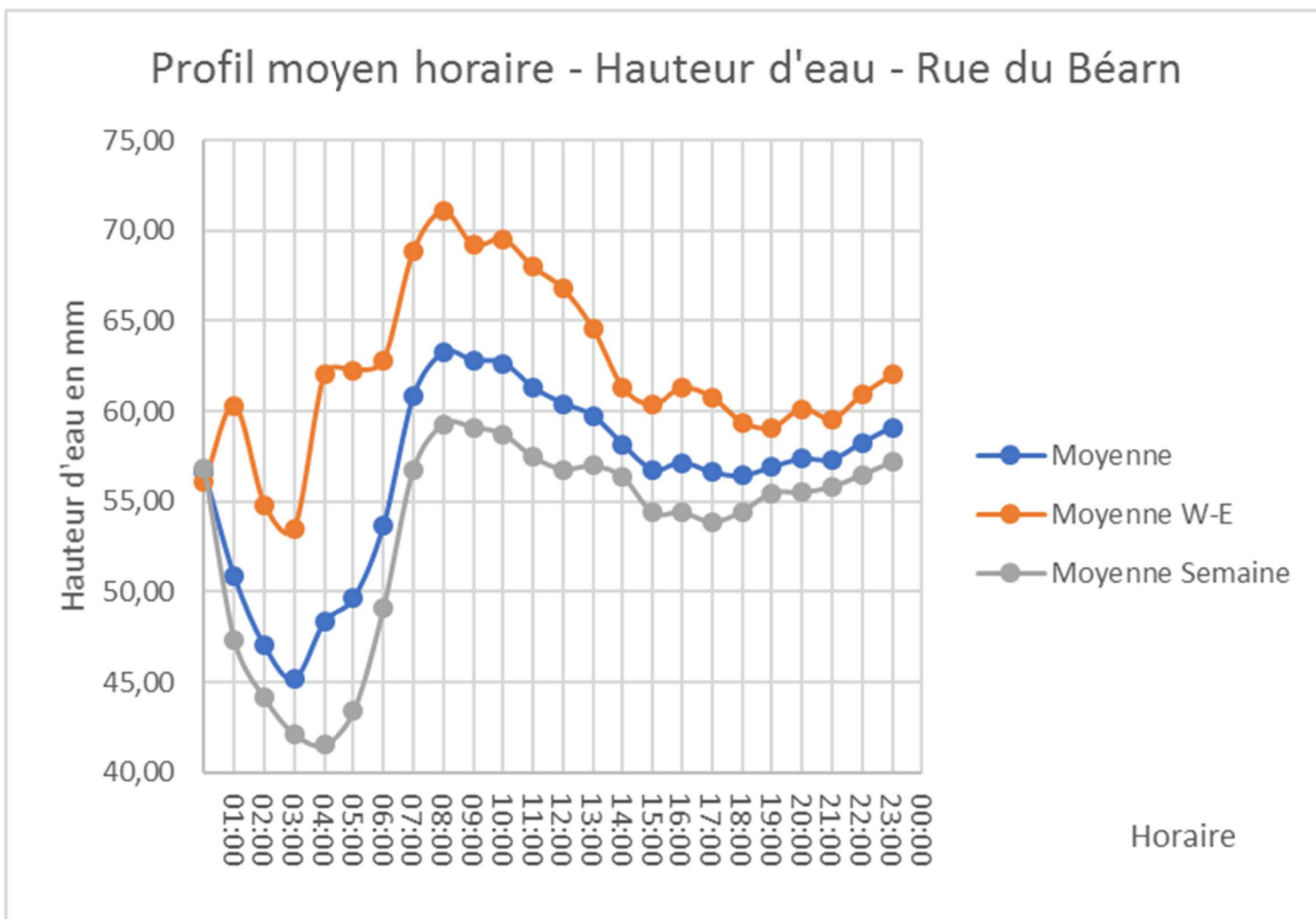
ETUDE DES VITESSES																			
AVENUE DE PARIS SANS EPISODES PLOUVIEUX																			
		24/07/2019	25/07/2019	26/07/2019	27/07/2019	28/07/2019	29/07/2019	30/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	Moyenne	Moyenne W-E	Moyenne SEMAINE
00:00	01:00	0,59	0,51	0,50	1,61	0,46	0,39	0,38	0,46	0,44	0,40	0,38	0,41	0,42	0,41	0,53	0,44	0,50	0,42
01:00	02:00	0,54	0,44	0,43	0,53	0,43	0,36	0,38	0,41	0,38	0,37	0,38	0,38	0,35	0,36	0,49	0,40	0,44	0,38
02:00	03:00	0,47	0,42	0,42	0,54	0,40	0,36	0,31	0,38	0,34	0,34	0,36	0,37	0,35	0,35	0,48	0,38	0,40	0,36
03:00	04:00	0,43	0,34	0,39	0,78	0,39	0,37	0,34	0,38	0,35	0,34	0,32	0,33	0,35	0,36	0,51	0,36	0,37	0,35
04:00	05:00	0,42	0,40	0,42	0,51	0,38	0,35	0,35	0,39	0,38	0,35	0,34	0,34	0,36	0,38	0,50	0,37	0,40	0,36
05:00	06:00	0,48	0,41	0,39	0,48	0,40	0,38	0,36	0,41	0,38	0,38	0,35	0,36	0,36	0,35	0,47	0,38	0,42	0,37
06:00	07:00	0,53	0,45	0,46	1,63	0,40	0,37	0,37	0,41	0,40	0,38	0,33	0,35	0,37	0,37	0,45	0,40	0,45	0,38
07:00	08:00	0,67	0,58	0,56	2,10	0,42	0,47	0,45	0,56	0,51	0,47	0,38	0,37	0,47	0,45	0,52	0,49	0,57	0,45
08:00	09:00	0,75	0,65	0,60	0,89	0,48	0,54	0,51	0,64	0,58	0,57	0,45	0,41	0,53	0,54	0,61	0,56	0,65	0,52
09:00	10:00	0,65	0,60	0,72	0,58	0,52	0,53	0,52	0,61	0,55	0,55	0,49	0,49	0,51	0,48	0,57	0,56	0,60	0,53
10:00	11:00	0,66	0,76	0,58	0,96	0,59	0,49	0,73	0,57	0,51	0,52	0,53	0,53	0,51	0,50	0,55	0,57	0,61	0,55
11:00	12:00	0,59	0,74	0,45	0,74	0,59	0,50	0,71	0,55	0,51	0,49	0,53	0,52	0,49	0,47	0,52	0,55	0,58	0,53
12:00	13:00	0,61	0,71	0,46	0,63	0,57	0,49	0,62	0,56	0,50	0,47	0,52	0,50	0,49	0,45	0,53	0,54	0,58	0,52
13:00	14:00	0,60	0,63	0,50	0,60	0,55	0,47	0,65	0,53	0,50	0,51	0,47	0,48	0,48	0,47	0,33	0,52	0,52	0,52
14:00	15:00	0,62	0,65	0,54	0,58	0,55	0,47	0,64	0,53	0,50	0,49	0,47	0,46	0,49	0,59	0,21	0,52	0,50	0,53
15:00	16:00	0,58	0,58	0,46	0,57	0,52	0,45	0,63	0,51	0,46	0,46	0,44	0,45	0,48	1,62	0,18	0,48	0,46	0,50
16:00	17:00	0,56	0,55	0,46	0,52	0,49	0,46	0,57	0,50	0,45	0,44	0,43	0,45	0,48	2,78	0,16	0,47	0,45	0,48
17:00	18:00	0,57	0,57	0,46	0,51	0,49	0,42	0,57	0,49	0,45	0,47	0,43	0,43	0,44	1,92	0,18	0,46	0,45	0,47
18:00	19:00	0,58	0,57	0,47	0,53	0,50	0,45	0,55	0,49	0,47	0,42	0,45	0,43	0,45	1,31	0,16	0,47	0,45	0,47
19:00	20:00	0,60	0,59	0,48	0,48	0,51	0,47	0,58	0,52	0,50	0,46	0,46	0,50	0,48	1,11	0,20	0,49	0,48	0,49
20:00	21:00	0,57	0,56	0,47	0,51	0,51	0,45	0,55	0,53	0,50	0,47	0,44	0,48	0,49	0,81	0,17	0,48	0,47	0,49
21:00	22:00	0,57	0,58	0,46	0,51	0,50	0,46	0,54	0,50	0,48	0,45	0,45	0,46	0,48	0,66	0,16	0,47	0,46	0,48
22:00	23:00	0,57	0,53	0,45	0,49	0,46	0,43	0,51	0,48	0,46	0,43	0,42	0,45	0,47	0,62	0,15	0,45	0,44	0,46
23:00	00:00	0,53	0,54	0,75	0,49	0,45	0,43	0,51	0,48	0,44	0,40	0,41	0,42	0,44	0,57	0,17	0,44	0,43	0,44

Page 81 sur 101



ETUDE DES HAUTEURS D'EAU												
RUE DU BEARN												
	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	08/08/2019	09/08/2019	10/08/2019	11/08/2019
00:00	62,39	60,85	59,10	59,61	58,38	56,31	55,26	38,30	56,78	47,45	73,62	50,17
01:00	48,62	47,73	47,09	48,88	48,80	46,11	47,97	35,08	57,56	48,43	79,66	83,20
02:00	44,98	41,70	42,99	44,03	42,30	41,30	39,46	35,57	58,52	48,40	82,59	78,14
03:00	43,71	40,87	41,31	42,80	41,63	38,95	39,36	32,84	56,98	42,82	88,30	76,12
04:00	42,88	40,72	41,48	42,00	40,83	38,97	38,58	31,33	55,46	42,78	88,44	76,92
05:00	43,45	41,24	42,50	41,80	40,82	39,73	39,70	34,82	58,73	46,78	89,16	77,34
06:00	52,34	50,13	51,48	43,30	41,33	45,70	46,52	38,91	57,98	49,66	85,89	80,84
07:00	64,46	63,55	63,77	54,74	50,87	56,35	55,09	44,97	54,47	51,54	78,27	91,67
08:00	66,22	66,30	66,86	62,73	60,01	60,57	59,77	46,92	53,65	53,99	67,96	93,68
09:00	65,14	65,13	65,00	65,03	64,07	60,39	58,79	46,72	52,65	107,02	67,22	80,61
10:00	64,08	63,56	64,62	65,48	65,61	60,65	60,29	43,30	54,52	61,02	69,24	77,81
11:00	63,28	63,12	64,33	65,70	64,57	59,16	59,33	40,44	52,62	54,35	65,93	75,78
12:00	61,97	62,50	63,30	64,38	61,20	58,92	58,21	42,98	49,55	52,99	65,99	75,58
13:00	62,19	62,04	63,21	64,14	61,04	58,92	57,73	46,98	47,78	51,85	63,73	69,37
14:00	61,74	61,30	62,78	62,12	59,55	57,30	59,25	44,16	47,84	324,81	58,77	64,78
15:00	61,46	61,11	62,34	61,85	59,53	55,55	316,63	40,14	45,64	56,25	57,22	62,79
16:00	61,67	61,30	62,34	62,19	58,36	55,03	75,22	40,47	45,65	42,61	62,67	61,91
17:00	61,95	61,32	62,47	62,28	59,27	55,12	49,95	35,92	46,37	51,73	61,38	60,13
18:00	62,38	61,89	62,77	62,12	60,53	55,94	58,84	35,90	47,82	52,09	56,03	58,85
19:00	63,27	62,75	63,27	62,82	61,95	57,21	58,13	37,76	48,62	60,48	51,84	59,68
20:00	64,03	63,80	63,84	64,01	61,67	58,79	59,86	32,45	50,11	62,71	52,15	62,71
21:00	64,33	62,95	63,30	64,49	61,26	57,97	55,61	35,83	50,57	62,36	46,35	66,17
22:00	63,58	62,39	63,25	63,40	59,72	57,13	47,57	42,06	50,46	65,67	46,41	74,15
23:00	63,08	61,71	63,36	61,76	58,32	56,19	44,79	49,28	49,46	64,86	47,63	80,34

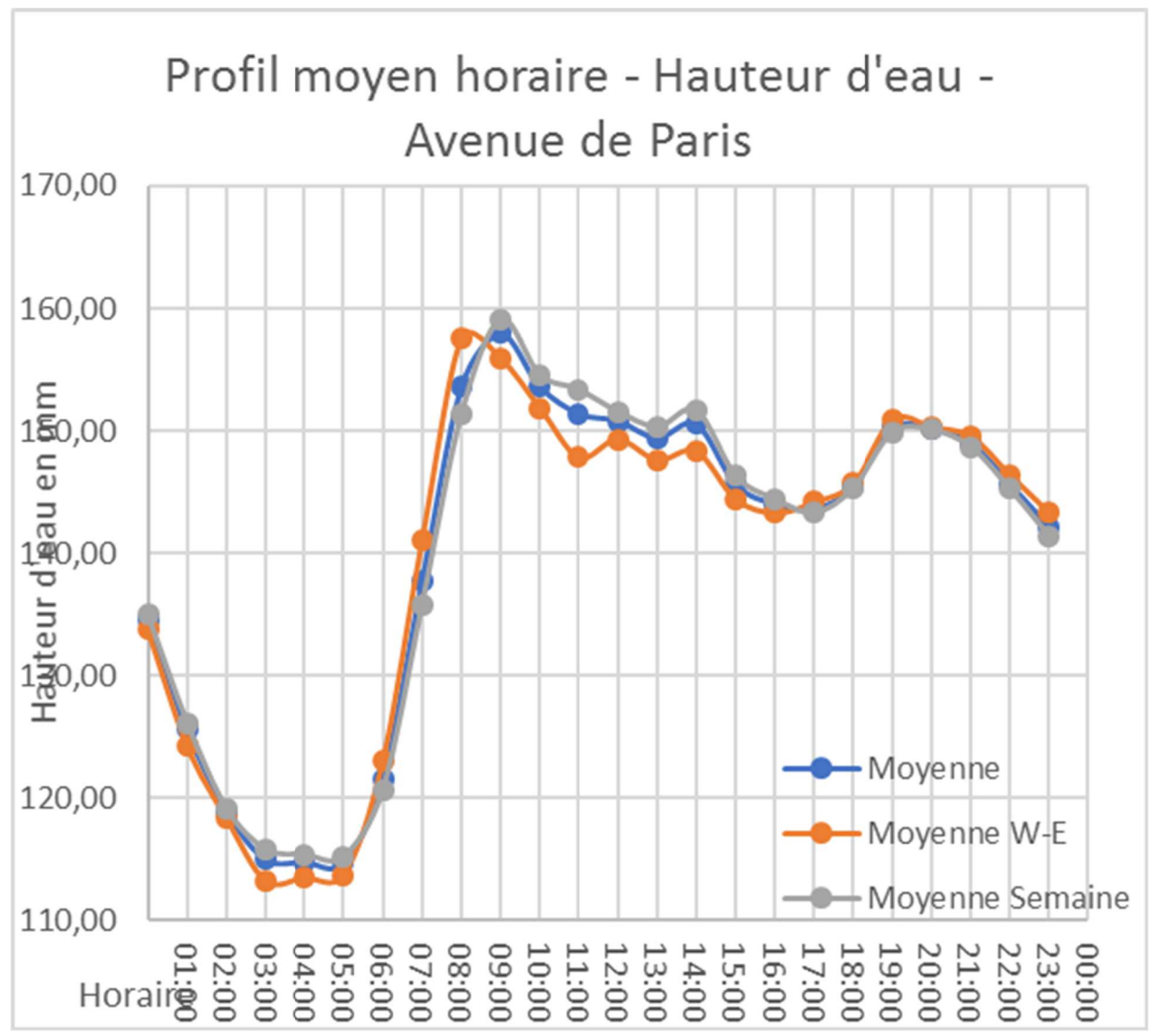
ETUDE DES HAUTEURS D'EAU															
RUE DU BEARN															
	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	08/08/2019	09/08/2019	10/08/2019	11/08/2019	MOYENNE	MOYENNE W-E	MOYENNE SEMAINE
00:00	62,39	60,85	59,10	59,61	58,38	56,31	55,26	38,30	56,78	47,45	73,62	50,17	56,63	56,05	56,88
01:00	48,62	47,73	47,09	48,88	48,80	46,11	47,97	35,08	57,56	48,43	79,66	83,20	50,86	60,29	47,32
02:00	44,98	41,70	42,99	44,03	42,30	41,30	39,46	35,57	58,52	48,40	82,59	78,14	47,03	54,82	44,11
03:00	43,71	40,87	41,31	42,80	41,63	38,95	39,36	32,84	56,98	42,82	88,30	76,12	45,22	53,51	42,11
04:00	42,88	40,72	41,48	42,00	40,83	38,97	38,58	31,33	55,46	42,78	88,44	76,92	48,37	62,05	41,53
05:00	43,45	41,24	42,50	41,80	40,82	39,73	39,70	34,82	58,73	46,78	89,16	77,34	49,67	62,28	43,37
06:00	52,34	50,13	51,48	43,30	41,33	45,70	46,52	38,91	57,98	49,66	85,89	80,84	53,67	62,84	49,09
07:00	64,46	63,55	63,77	54,74	50,87	56,35	55,09	44,97	54,47	51,54	78,27	91,67	60,81	68,89	56,77
08:00	66,22	66,30	66,86	62,73	60,01	60,57	59,77	46,92	53,65	53,99	67,96	93,68	63,22	71,10	59,29
09:00	65,14	65,13	65,00	65,03	64,07	60,39	58,79	46,72	52,65	107,02	67,22	80,61	62,79	69,23	59,12
10:00	64,08	63,56	64,62	65,48	65,61	60,65	60,29	43,30	54,52	61,02	69,24	77,81	62,65	69,53	58,72
11:00	63,28	63,12	64,33	65,70	64,57	59,16	59,33	40,44	52,62	54,35	65,93	75,78	61,29	67,99	57,47
12:00	61,97	62,50	63,30	64,38	61,20	58,92	58,21	42,98	49,55	52,99	65,99	75,58	60,42	66,79	56,78
13:00	62,19	62,04	63,21	64,14	61,04	58,92	57,73	46,98	47,78	51,85	63,73	69,37	59,74	64,57	56,98
14:00	61,74	61,30	62,78	62,12	59,55	57,30	59,25	44,16	47,84	324,81	58,77	64,78	58,14	61,30	56,34
15:00	61,46	61,11	62,34	61,85	59,53	55,55	316,63	40,14	45,64	56,25	57,22	62,79	56,76	60,35	54,37
16:00	61,67	61,30	62,34	62,19	58,36	55,03	75,22	40,47	45,65	42,61	62,67	61,91	57,16	61,28	54,41
17:00	61,95	61,32	62,47	62,28	59,27	55,12	49,95	35,92	46,37	51,73	61,38	60,13	56,62	60,77	53,86
18:00	62,38	61,89	62,77	62,12	60,53	55,94	58,84	35,90	47,82	52,09	56,03	58,85	56,42	59,38	54,45
19:00	63,27	62,75	63,27	62,82	61,95	57,21	58,13	37,76	48,62	60,48	51,84	59,68	56,92	59,07	55,48
20:00	64,03	63,80	63,84	64,01	61,67	58,79	59,86	32,45	50,11	62,71	52,15	62,71	57,36	60,14	55,50
21:00	64,33	62,95	63,30	64,49	61,26	57,97	55,61	35,83	50,57	62,36	46,35	66,17	57,32	59,57	55,82
22:00	63,58	62,39	63,25	63,40	59,72	57,13	47,57	42,06	50,46	65,67	46,41	74,15	58,25	60,92	56,48
23:00	63,08	61,71	63,36	61,76	58,32	56,19	44,79	49,28	49,46	64,86	47,63	80,34	59,11	62,01	57,18



ETUDE DES HAUTEURS D'EAU à partir des données brutes pas de temps 5 minutes															
AVENUE DE PARIS															
	24/07/2019	25/07/2019	26/07/2019	27/07/2019	28/07/2019	29/07/2019	30/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019
00:00	133,03	141,64	136,80	224,32	129,48	138,40	139,41	128,92	131,54	134,22	134,93	134,61	133,18	133,96	147,55
01:00	125,91	130,46	126,54	149,02	123,40	125,39	130,39	120,37	120,50	125,19	131,21	128,74	121,41	123,23	140,93
02:00	119,65	126,69	128,07	150,69	114,85	117,49	119,53	113,64	113,49	115,95	121,15	123,31	116,75	115,20	132,88
03:00	113,49	118,40	119,87	178,53	114,44	115,07	119,05	111,95	109,25	114,87	117,36	111,93	114,31	115,22	137,23
04:00	110,82	119,20	124,18	134,11	107,82	113,51	116,60	111,00	113,27	114,40	116,02	115,63	114,12	115,98	130,93
05:00	113,83	120,04	120,52	127,38	114,70	112,03	116,28	113,16	108,03	114,76	119,50	115,22	112,49	111,24	134,67
06:00	119,95	128,38	130,30	198,41	115,91	124,65	124,65	114,70	117,21	120,37	115,15	117,23	119,91	117,79	134,93
07:00	138,87	145,19	144,76	191,66	118,86	150,89	149,61	139,80	135,84	140,04	123,36	120,19	140,19	134,33	145,56
08:00	155,21	157,75	159,61	165,51	130,76	166,86	169,65	156,73	159,00	160,56	139,26	139,26	152,73	153,92	158,92
09:00	155,91	156,25	201,09	161,81	144,55	163,40	161,84	152,08	158,76	160,24	151,75	144,59	154,31	149,95	156,66
10:00	157,79	135,15	169,93	174,58	161,56	161,01	124,57	153,94	155,48	156,17	158,85	155,35	151,02	152,66	157,10
11:00	151,08	132,05	159,57	161,12	159,78	163,55	129,78	147,58	155,02	153,33	158,87	155,09	151,84	148,74	153,42
12:00	151,64	137,12	155,41	158,53	158,35	159,80	129,74	151,51	154,50	150,65	157,49	151,69	149,02	145,24	151,84
13:00	147,79	137,32	158,05	153,66	154,80	160,52	131,28	146,88	153,25	153,44	152,36	147,05	147,58	144,63	152,90
14:00	151,32	141,47	160,17	151,78	151,78	161,28	129,24	146,41	151,64	151,27	150,24	147,10	147,33	164,48	150,82
15:00	146,28	136,64	150,34	146,47	149,41	154,85	131,88	142,05	148,18	149,57	145,04	143,38	145,84	370,89	148,98
16:00	148,22	139,67	150,34	142,81	143,20	156,90	128,42	141,02	146,52	148,14	141,62	141,60	146,71	304,30	141,06
17:00	146,71	141,71	151,41	140,99	143,70	152,70	130,39	140,85	144,37	149,33	140,67	141,30	139,44	163,77	147,29
18:00	148,70	141,12	155,49	146,17	146,28	154,57	135,09	143,27	148,94	145,48	142,72	139,85	142,71	161,15	146,69
19:00	152,29	147,73	153,27	143,20	156,06	161,75	144,63	146,80	152,73	148,83	144,63	149,95	146,73	164,52	155,09
20:00	152,51	148,57	152,92	145,30	155,93	158,78	147,44	147,12	152,55	150,32	142,94	147,66	149,65	164,31	150,86
21:00	151,36	150,35	150,06	143,22	154,93	159,81	144,48	144,96	150,74	147,60	144,76	145,59	147,75	161,23	150,28
22:00	152,18	144,52	147,38	139,37	152,29	154,15	141,26	139,76	147,16	145,32	141,58	142,25	143,61	160,82	148,31
23:00	146,49	142,20	180,45	134,57	149,85	151,91	138,33	140,48	142,88	140,15	135,61	139,89	140,59	156,99	144,56

ETUDE DES HAUTEURS D'EAU SANS EPISODES PLUVIEUX																		
AVENUE DE PARIS																		
	24/07/2019	25/07/2019	26/07/2019	27/07/2019	28/07/2019	29/07/2019	30/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	03/08/2019	04/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	MOYENNE	MOYENNE W-E	MOYENNE SEMAINE
00:00	133,03	141,64	136,80	224,32	129,48	138,40	139,41	128,92	131,54	134,22	134,93	134,61	133,18	133,96	147,55	134,62	133,78	135,00
01:00	125,91	130,46	126,54	149,02	123,40	125,39	130,39	120,37	120,50	125,19	131,21	128,74	121,41	123,23	140,93	125,60	124,31	126,17
02:00	119,65	126,69	128,07	150,69	114,85	117,49	119,53	113,64	113,49	115,95	121,15	123,31	116,75	115,20	132,88	118,90	118,37	119,14
03:00	113,49	118,40	119,87	178,53	114,44	115,07	119,05	111,95	109,25	114,87	117,36	111,93	114,31	115,22	137,23	115,02	113,27	115,79
04:00	110,82	119,20	124,18	134,11	107,82	113,51	116,60	111,00	113,27	114,40	116,02	115,63	114,12	115,98	130,93	114,81	113,57	115,36
05:00	113,83	120,04	120,52	127,38	114,70	112,03	116,28	113,16	108,03	114,76	119,50	115,22	112,49	111,24	134,67	114,75	113,76	115,19
06:00	119,95	128,38	130,30	198,41	115,91	124,65	124,65	114,70	117,21	120,37	115,15	117,23	119,91	117,79	134,93	121,51	123,03	120,66
07:00	138,87	145,19	144,76	191,66	118,86	150,89	149,61	139,80	135,84	140,04	123,36	120,19	140,19	134,33	145,56	137,68	141,05	135,80
08:00	155,21	157,75	159,61	165,51	130,76	166,86	169,65	156,73	159,00	160,56	139,26	139,26	152,73	153,92	158,92	153,57	157,52	151,37
09:00	155,91	156,25	201,09	161,81	144,55	163,40	161,84	152,08	158,76	160,24	151,75	144,59	154,31	149,95	156,66	157,96	155,93	159,08
10:00	157,79	135,15	169,93	174,58	161,56	161,01	124,57	153,94	155,48	156,17	158,85	155,35	151,02	152,66	157,10	153,61	151,89	154,57
11:00	151,08	132,05	159,57	161,12	159,78	163,55	129,78	147,58	155,02	153,33	158,87	155,09	151,84	148,74	153,42	151,41	147,83	153,39
12:00	151,64	137,12	155,41	158,53	158,35	159,80	129,74	151,51	154,50	150,65	157,49	151,69	149,02	145,24	151,84	150,83	149,32	151,59
13:00	147,79	137,32	158,05	153,66	154,80	160,52	131,28	146,88	153,25	153,44	152,36	147,05	147,58	144,63	152,90	149,43	147,63	150,34
14:00	151,32	141,47	160,17	151,78	153,81	161,28	129,24	146,41	151,64	151,27	150,24	147,10	147,33	164,48	150,82	150,56	148,33	151,67
15:00	146,28	136,64	150,34	146,47	149,41	154,85	131,88	142,05	148,18	149,57	145,04	143,38	145,84	370,89	148,98	145,64	144,42	146,31
16:00	148,22	139,67	150,34	142,81	143,20	156,90	128,42	141,02	146,52	148,14	141,62	141,60	146,71	304,30	141,06	144,02	143,30	144,41
17:00	146,71	141,71	151,41	140,99	143,70	152,70	130,39	140,85	144,37	149,33	140,67	141,30	139,44	163,77	147,29	143,63	144,19	143,33
18:00	148,70	141,12	155,49	146,17	146,28	154,57	135,09	143,27	148,94	145,48	142,72	139,85	142,71	161,15	146,69	145,51	145,74	145,37
19:00	152,29	147,73	153,27	143,20	156,06	161,75	144,63	146,80	152,73	148,83	144,63	149,95	146,73	164,52	155,09	150,26	150,93	149,89
20:00	152,51	148,57	152,92	145,30	155,93	158,78	147,44	147,12	152,55	150,32	142,94	147,66	149,65	164,31	150,86	150,18	150,32	150,10
21:00	151,36	150,35	150,06	143,22	154,93	159,81	144,48	144,96	150,74	147,60	144,76	145,59	147,75	161,23	150,28	148,99	149,54	148,69
22:00	152,18	144,52	147,38	139,37	152,29	154,15	141,26	139,76	147,16	145,32	141,58	142,25	143,61	160,82	148,31	145,65	146,38	145,24
23:00	146,49	142,20	180,45	134,57	149,85	151,91	138,33	140,48	142,88	140,15	135,61	139,89	140,59	156,99	144,56	142,12	143,32	141,36

Page 83 sur 101



-Mastère Spécialisé EPA-
Pierre SPIESER

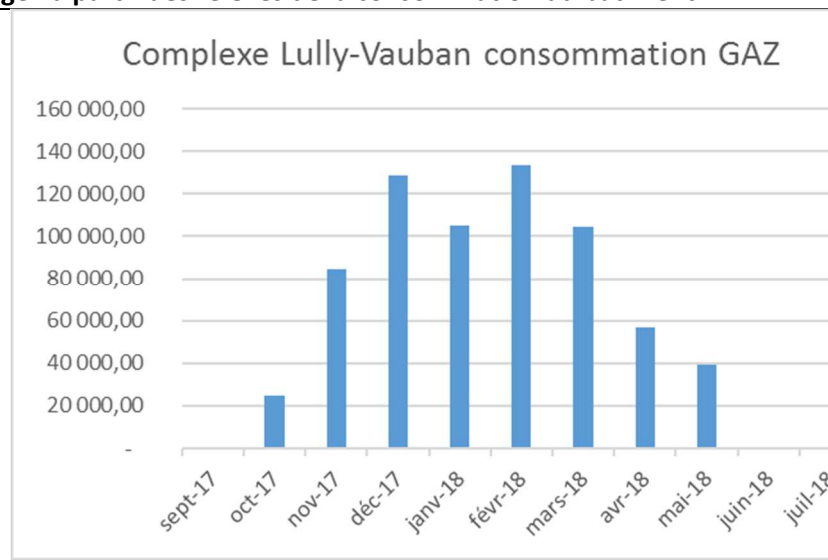
2019 DJU 18				2019 DJU 18				2019 DJU 18				2019 DJU 18				2019 DJU 18			
Janvier	T°C max.	T°C min.	DJU	Février	T°C max.	T°C min.	DJU	mars	T°C max.	T°C min.	DJU	avril	T°C max.	T°C min.	DJU	mai	T°C max.	T°C min.	DJU
1	7,6	6,2	11,1	1	6,3	0,9	14,4	1	11,2	8,1	8,35	1	20	7,5	4,25	1	18	5,9	6,05
2	6	4,4	12,8	2	4,1	2,4	14,75	2	12,2	6,9	8,45	2	16,1	6,9	6,5	2	14	8,6	6,7
3	5,5	2,7	13,9	3	1,8	1,5	16,35	3	13,9	9,1	6,5	3	9,4	3,3	11,65	3	15,5	5,7	7,4
4	4,8	1	15,1	4	2,8	-1,2	17,2	4	9,6	6	10,2	4	11	0,7	12,15	4	9,6	2,5	11,95
5	4,7	2,9	14,2	5	6,8	1,8	13,7	5	11,1	4,2	10,35	5	12,6	2,7	10,35	5	12,2	2,2	10,8
6	5,4	2,9	13,85	6	9,6	2,8	11,8	6	10,6	7,1	9,15	6	16,2	4,3	7,75	6	12,8	0,7	11,25
7	8,4	4,6	11,5	7	10,1	5,2	10,35	7	11,7	6,2	9,05	7	13,9	6,8	7,65	7	15,4	4	8,3
8	8,8	6	10,6	8	9,1	5,9	10,5	8	10,9	3,6	10,75	8	15,5	4,7	7,9	8	14,4	9	6,3
9	5,5	1,9	14,3	9	10,9	6,8	9,15	9	14,2	7,4	7,2	9	15	6,9	7,05	9	14,6	8,8	6,3
10	4,2	-0,1	15,95	10	9,8	5,5	10,35	10	13	7,8	7,6	10	11,3	7,6	8,55	10	16	7,9	6,05
11	6,9	2,1	13,5	11	8,1	2,2	12,85	11	9,6	2,9	11,75	11	12,5	2,8	10,35	11	16,8	8,8	5,2
12	9	5	11	12	8	-1,4	14,7	12	11,6	2,7	10,85	12	10,6	1,3	12,05	12	15	4,8	8,1
13	10,9	7,6	8,75	13	8,2	-2,9	15,35	13	10,7	3,5	10,9	13	9,3	0,8	12,95	13	17,9	6	6,05
14	8,5	7	10,25	14	13,1	-0,5	11,7	14	11,1	5,6	9,65	14	9	-0,3	13,65	14	17,9	8	5,05
15	7,3	4,4	12,15	15	14,6	2,2	9,6	15	13,2	10	6,4	15	15	1,6	9,7	15	17	8,2	5,4
16	7	0,8	14,1	16	15,5	2	9,25	16	13,7	8,3	7	16	12,4	8,2	7,7	16	18,4	6,4	5,6
17	7,6	2,3	13,05	17	15,5	3,1	8,7	17	9,5	2,3	12,1	17	17,8	2,9	7,65	17	18,7	8,4	4,45
18	4,7	-3,1	17,2	18			18	18	9,8	2,4	11,9	18	22	10,8	1,6	18	16,7	11,1	4,1
19	2,1	-2,4	18,15	19	7		14,5	19	12,7	0,3	11,5	19	24	10,2	0,9	19	17,7	9,9	4,2
20	2,3	1,2	16,25	20	12,8	-0,2	11,7	20	12,6	2,5	10,45	20	24,5	12,9	0	20	20,2	10,1	2,85
21	3,6	-3,9	18,15	21	15,8	2,7	8,75	21	15,5	4,8	7,85	21	23,5	12,5	0	21	21,2	8,9	2,95
22	1,4	-3,1	18,85	22	16,5	1,9	8,8	22	17,2	5	6,9	22	23,2	10,3	1,25	22	22,2	7,8	3
23	0,6	-0,4	17,9	23	15,3	6,1	7,3	23	13,7	3,9	9,2	23	19,4	12,9	1,85	23	22,3	8,8	2,45
24	1,4	-4,2	19,4	24	14,3	2,3	9,7	24	11,8	7,6	8,3	24	15,2	10,3	5,25	24	21,6	13,3	0,55
25	7,3	0,5	14,1	25	16,9	2,3	8,4	25	11,6	1,2	11,6	25	9,9	10	8,05	25	19	11,3	2,85
26	8,3	4,3	11,7	26	17,9	4,6	6,75	26	12	4,9	9,55	26	15,2	4	8,4	26	20	11,1	2,45
27	7,1	3,1	12,9	27	19,8	4,8	5,7	27	12,7	3,2	10,05	27	12,2	6	8,9	27	16,7	13,5	2,9
28	6,5	0	14,75	28	13,9	7,2	7,45	28	13,8	4,8	8,7	28	11,3	5,3	9,7	28	19,2	8,9	3,95
29	3,3	-2,9	17,8					29	17,4	5,4	6,6	29	16	4	8	29	20,3	6,2	4,75
30	2,3	-0,1	16,9					30	18,7	7,1	5,1	30	16,5	6,5	6,5	30	24,3	12,9	0
31	3,8	-3,4	17,8					31	19,4	7,2	4,7					31	16,5	12,5	3,5
	10,9	-4,2	447,95		19,8	-2,9	317,75		19,4	0,3	278,65		24,5	-0,3	218,25		24,3	0,7	161,45

DJU 2017 (18)					
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
502,80	309,55	236,85	227,65	95,70	18,80
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
5,85	19,45	90,45	131,40	314,40	406,10
TOTAL DES DJU 2017				2359	

DJU 2018 (18)					
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
334,75	464,65	347,10	157,40	113,85	24,75
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
0,00	9,80	28,35	147,70	307,80	361,50
TOTAL DES DJU 2018				2297,65	

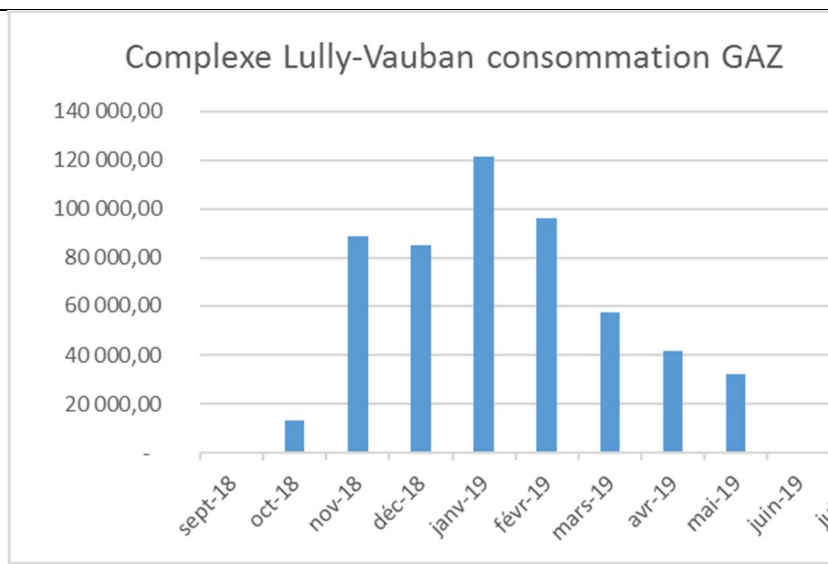
ANNEXE E
Le complexe scolaire Lully-Vauban :
Besoin énergétique en chauffage : à partir des relevés de la consommation du bâtiment.

2017/2018	KWh PCS
sept-17	-
oct-17	24 837,00
nov-17	84 803,00
déc-17	128 352,00
janv-18	104 862,00
févr-18	133 436,00
mars-18	104 669,00
avr-18	57 012,00
mai-18	39 133,00
juin-18	-
juil-18	-
TOTAL	677 104,00



Etude des consommations de gaz année 2017/2018 complexe Lully-Vauban

2018/2019	KWh PCS
sept-18	-
oct-18	13 363,00
nov-18	88 939,00
déc-18	85 100,00
janv-19	121 187,00
févr-19	96 406,00
mars-19	57 539,00
avr-19	41 624,00
mai-19	32 018,00
juin-19	-
juil-19	-
TOTAL	536 176,00



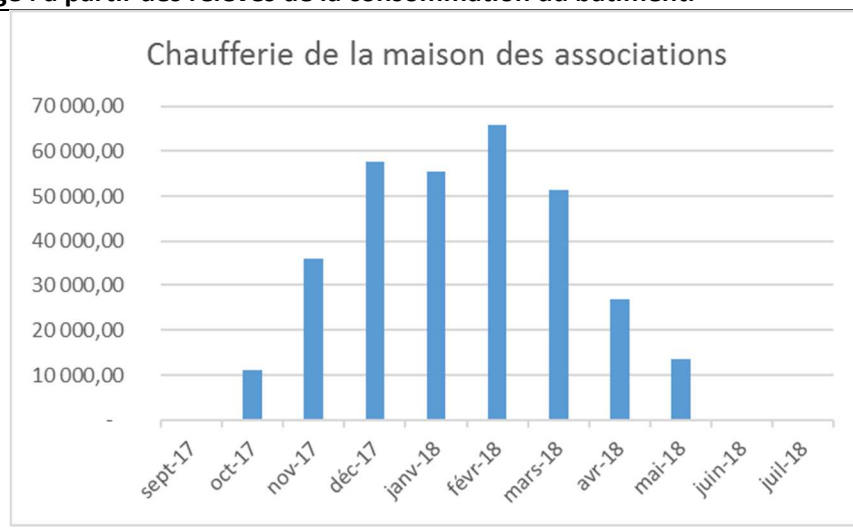
Etude des consommations de gaz année 2018/2019 complexe Lully-Vauban

Sur les deux périodes de chauffe dont les données étaient disponibles la consommation moyenne est de 606 640 kWh/an.

Le complexe pépinière d'entreprise :

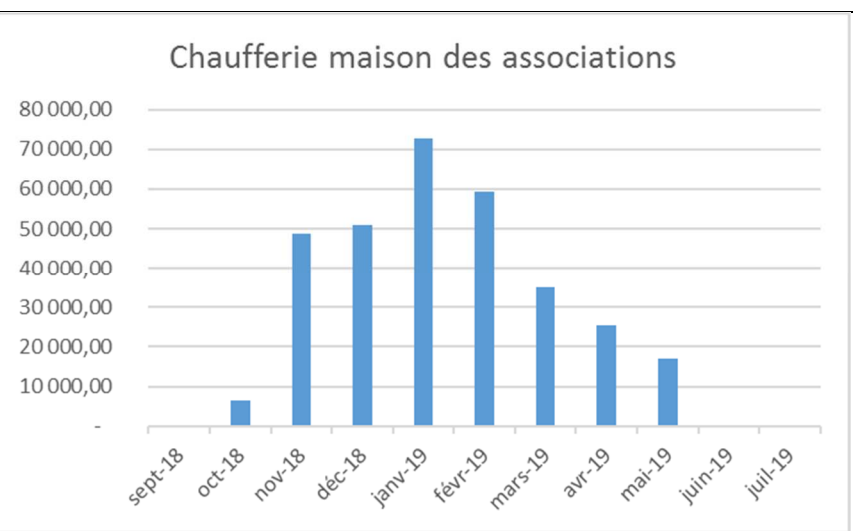
Besoin énergétique en chauffage : à partir des relevés de la consommation du bâtiment.

2017/2018	KWh PCS
sept-17	-
oct-17	11 012,00
nov-17	36 198,00
déc-17	57 739,00
janv-18	55 369,00
févr-18	65 894,00
mars-18	51 489,00
avr-18	26 893,00
mai-18	13 481,00
juin-18	-
juil-18	-
TOTAL	318 075,00



Etude des consommations de gaz année 2017/2018 complexe maison des associations

2018/2019	KWh PCS
sept-18	-
oct-18	6 567,00
nov-18	48 877,00
déc-18	51 087,00
janv-19	72 637,00
févr-19	59 476,00
mars-19	35 160,00
avr-19	25 584,00
mai-19	16 940,00
juin-19	-
juil-19	-
TOTAL	316 328,00



Etude des consommations de gaz année 2018/2019 complexe maison des associations

Sur les deux périodes de chauffe dont les données étaient disponibles la consommation moyenne est de 317 201 kWh/an.

ANNEXE F

ÉCOLE LULLY VAUBAN

Consommation de chauffe de 2017 à 2019	606 640,00 kWh PCS/an
Coefficient de passage KWH PCS en PWH PCI	1,11
Consommation de chauffe sur l'année 2018/2019	546 522,52 kWh PCI/an
Rendement de la chaudière	0,9
Puissance de chauffage requise	491 870,27 kWh PCI/an
Puissance de chauffage requise	491,87 KWh PCI/an
Degré Jour Unifié	2 112,00 DJU
Puissance nécessaire pour l'augmentation d'un degré	9,70 KW/°
Etude du delta de température	26,00 °C
Référence IDF -7°	
Température de chauffe 19°C	
Puissance de chauffage requise	252,30 kW
Rendement de la PAC	0,65 %
Puissance de la PAC	164,00 kW
Dimensionnement électrique	COP 4 25,00 %
Puissance électrique	41,00 kW
Dimensionnement de l'échangeur	75,00 %
Puissance de l'échangeur	123,00 kW

Le dimensionnement conduit à installer une puissance calorifique totale égale à **164,00 kWch** pour couvrir 65% des besoins en chaleur des deux bâtiments.

En soustrayant la puissance électrique absorbée par les compresseurs, la puissance à récupérer sur les eaux usées et à amener aux évaporateurs est égale à **123,00 kwfr**

Un échangeur de barrage sera installé dans la chaufferie centralisée pour séparer les réseaux évaporateur et le réseau de récupération reliant les échangeurs sur eaux usées aux bâtiments.

Le régime de température entrée/sortie des évaporateurs sont choisis à 8°C/4°C et les échangeurs de barrage sont dimensionnés avec un pincement de 1°C. Le régime de température en entrée/sortie de l'échangeur sur eaux usées est alors de 5°C/9°C.

Le débit d'irrigation de l'échangeur sur eaux usées est alors égal à

$$Q_{ech} = P_{ech} / (1,16 \times \Delta T) = \mathbf{26,51} \quad \text{m}^3/\text{h}$$

La campagne de mesure réalisée dans le collecteur **Avenue de Paris** du 23 juillet au 05 août 2019 indique un niveau d'eau minimum d'environ **107,82 mm** en période nocturne. La géométrie de l'échangeur est définie par cette hauteur minimum de sorte que la surface d'échange soit immergée en permanence.

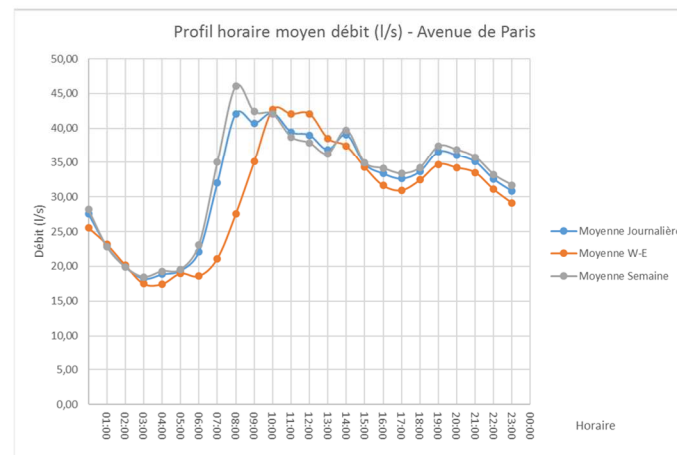
La coupe de principe suivante présente l'implantation de l'échangeur dans la cunette. La surface d'échange est égale à **0,60 m²/ml**.

Dimension de l'échangeur pour une surface de contact de **0,60 m²/ml**
2,5 à 3,00 kWh/m²

205	
2,50	3,00
82,00	68,33
ml	

Le traitement en moyenne horaire des données de temps sec ainsi que l'utilisation de la relation hauteur/vitesse issues de mesures a permis de reconstituer un profil journalier de débit.

Profil moyen horaire du collecteur : Avenue de Paris



Le débit nocturne correspondant à la hauteur d'eau minimum est égal à **16,28 litres/s**. Comme nous avons réalisé cette étude à la période la plus favorable nous ne diminuerons pas de 10% la valeur obtenue.

Or à l'issue de la seconde campagne et pour se mettre en sécurité, il est préconisé de réduire de 10% la valeur obtenue.

Par ailleurs des mesures de température réalisées Avenue de Paris font mention d'une température moyenne de l'ordre de 21°C. Nous ne conservons pas cette valeur pour le dimensionnement.

Les conditions nominales de dimensionnement de l'échangeur sont les suivantes:

Puissance de l'échangeur	123,00 kWfr
Fluide coté primaire	Eaux usées
débit d'irrigation	26,51 m³/h
Température d'entrée	14 °C

-Mastère Spécialisé EPA-
Pierre SPIESER

PEPINIERE D'ENTREPRISES VGP

Consommation de chauffe de 2017 à 2019	317 201,00 kWh PCS/an
Coefficient de passage KWH PCS en PWH PCI	1,11
Consommation de chauffe sur l'année 2018/2019	285 766,67 kWh PCI/an
Rendement de la chaudière	0,9
Puissance de chauffage requise	257 190,00 kWh PCI/an
Puissance de chauffage requise	257,19 kWh PCI/an
Degré Jour Unifié	2 112,00 DJU
Puissance nécessaire pour l'augmentation d'un degré	5,07 kW/°
Etude du delta de température	26,00 °C
Référence IDF -7°	
Température de chauffe 19°C	
Puissance de chauffage requise	131,92 kW
Rendement de la PAC	0,65 %
Puissance de la PAC	85,75 kW
Dimensionnement électrique	COP 4 25,00 %
Puissance électrique	21,44 kW
Dimensionnement de l'échangeur	75,00 %
Puissance de l'échangeur	64,31 kW

Le dimensionnement conduit à installer une puissance calorifique totale égale à **85,75 kWch** pour couvrir 65% des besoins en chaleur des deux bâtiments.

En soustrayant la puissance électrique absorbée par les compresseurs, la puissance à récupérer sur les eaux usées et à amener aux évaporateurs est égale à **64,31 kwfr**

Un échangeur de barrage sera installé dans la chaufferie centralisée pour séparer les réseaux évaporateur et le réseau de récupération reliant les échangeurs sur eaux usées aux bâtiments.

Le régime de température entrée/sortie des évaporateurs sont choisis à 8°C/4°C et les échangeurs de barrage sont dimensionnés avec un pincement de 1°C. Le régime de température en entrée/sortie de l'échangeur sur eaux usées est alors de 5°C/9°C.

Le débit d'irrigation de l'échangeur sur eaux usées est alors égal à

$$Q_{ech} = P_{ech} / (1,16 \times \Delta T) = \mathbf{13,86} \quad m^3/h$$

La campagne de mesure réalisée dans le collecteur **Avenue de Paris** du 23 juillet au 05 août 2019 indique un niveau d'eau minimum d'environ **31,33 mm** en période nocturne. La géométrie de l'échangeur est définie par cette hauteur minimum de sorte que la surface d'échange soit immergée en permanence.

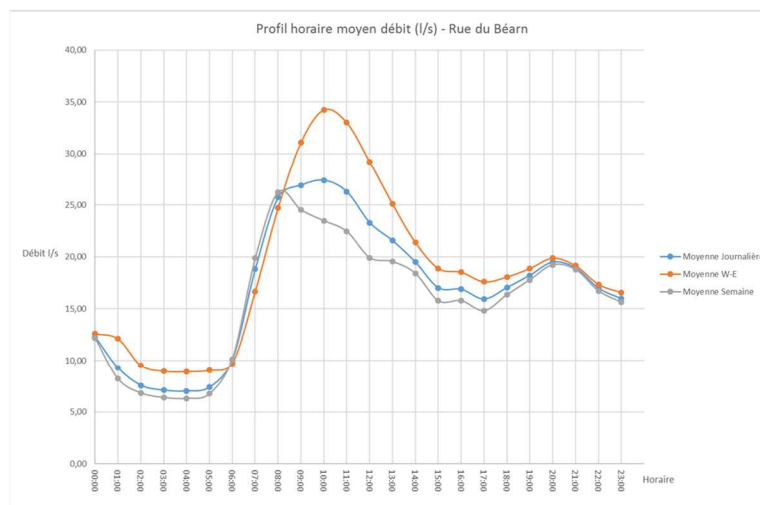
La coupe de principe suivante présente l'implantation de l'échangeur dans la cunette. La surface d'échange est égale à **0,56 m²/ml**.

Dimension de l'échangeur pour une surface de contact de **0,60 m²/ml**
2,5 à 3,00 kWh/m²

115	
2,50	3,00
45,94	38,28
ml	

Le traitement en moyenne horaires des données de temps secs ainsi que l'utilisation de la relation hauteur/vitesse issues de mesures a permis de reconstituer un profil journalier de débit.

Profil moyen horaire du collecteur : Rue du Béarn



Le débit nocturne correspondant à la hauteur d'eau minimum est égal à **4,54 litres/s**. Comme nous avons réalisé cette étude à la période la plus favorable nous ne diminuerons pas de 10% la valeur obtenue.

Or à l'issue de la seconde campagne et pour se mettre en sécurité, il est préconisé de réduire de 10% la valeur obtenue.

Par ailleurs des mesures de température réalisées **Rue du Béarn** font mention d'une température moyenne de l'ordre de 21°C. Nous **ne conservons pas** cette valeur pour le dimensionnement.

Les conditions nominales de dimensionnement de l'échangeur sont les suivantes:

Puissance de l'échangeur	64,31 kWfr
Fluide coté primaire	Eaux usées
débit d'irrigation	13,86 m³/h
Température d'entrée	14 °C

ANNEXE G



Mise en place d'un local abritant un système de récupération de chaleur des eaux usées

-Installation d'un échangeur spiralé-

Demande de certificat d'information

Septembre 2019



Maitre d'ouvrage :

Ville de Versailles
4 avenue de paris
RP1144
78011 Versailles Cedex
Tel : 01 30 97 82 43

Maitre d'oeuvre :

DGST – Ville de Versailles
DIRECTION DES DEPLACEMENTS ET DES
AMENAGEMENTS URBAINS
Service Assainissement

Sommaire

1. Introduction.....	3
2. Etat initial du terrain et de ses abords	3
2.1 Perception du site.....	3
2.2 Etat des lieux	4
3. Intervention / Projet	6
3.1 Aménagement à prévoir.....	6
3.2 L'insertion paysagère	6
4. Planning.....	6

1. Introduction

Cette demande de certificat d'urbanisme permettra de connaître les règles d'urbanisme en vue de l'implantation d'un bâtiment abritant un système de récupération de chaleur des eaux usées sur le collecteur sis parallèlement à la rue George Chaumette dans le quartier Prés au Bois.

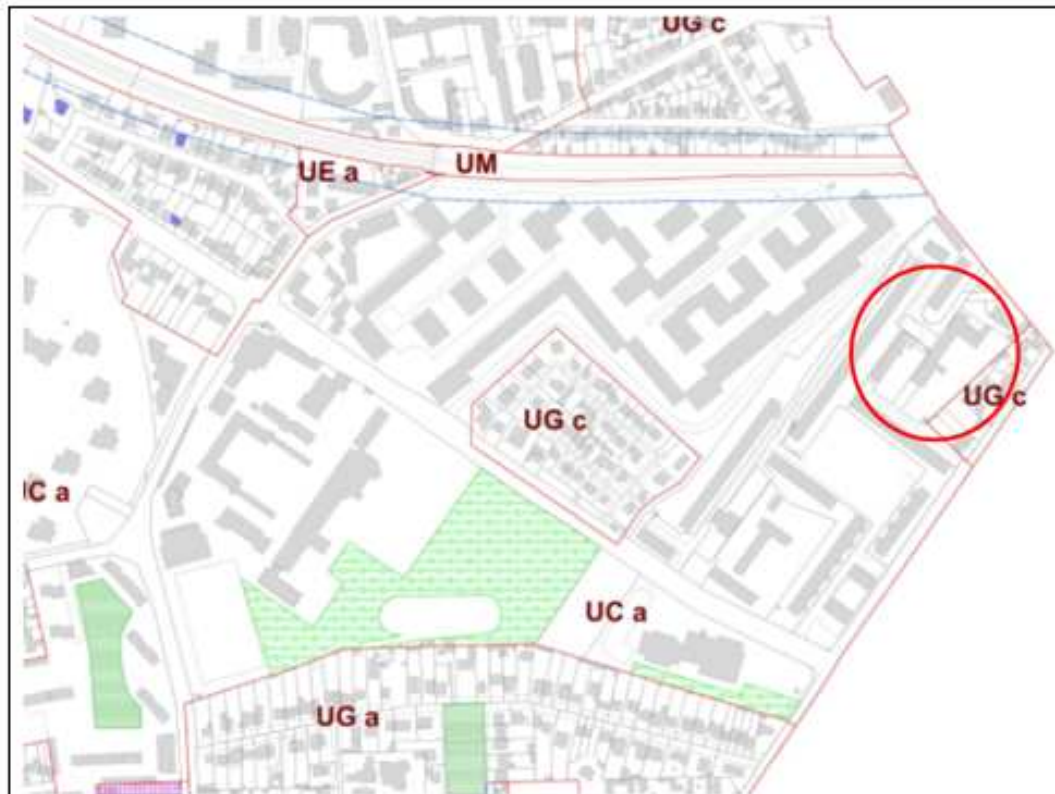


Image 1 : Extrait du PLU et implantation du projet

2. Etat initial du terrain et de ses abords

2.1 Perception du site

Le site est une voie sans issue à partir de la rue du Béarn qui dessert un parking, des garages, la pépinière d'entreprise VGP, la maison des associations, le gymnase Sévigné et une maison d'habitation individuelle.

2.2 Etat des lieux



Image 2 : Image aérienne du site



	<p>Zone 1 30 m2</p>
	<p>Zone 2 50 m2</p>



Tableau 1 : Image des trois zones étudiées



Image 3 : Extrait du cadastre

Le site d'implantation du local de l'échangeur thermique spiralé se situerait préférablement de la zone une à la zone trois. Les zones 1, 2 et 3 sont situées sur les parcelles 283 et 284 propriétés de OPIEVOY.

3. Intervention / Projet

3.1 Aménagement à prévoir

Dans le cadre de la mise en œuvre d'un système de récupération de chaleur des eaux usées au profit du chauffage du complexe pépinière d'entreprises VGP, il est nécessaire pour l'utilisation de la technologie déportée de mettre en place un local technique pouvant accueillir l'échangeur thermique spiralé et les pompes.

Caractéristiques du local technique :

Largeur: 3,0 m
Longueur: 9,0 m
Hauteur hors tout: 2,9 m
Surface : 27 m²

Dimensions indicatives variables selon fournisseur / fabricant.

Les qualités d'aspect lié au dessin, à la finition et au choix des matériaux mis en œuvre seront étudiées pour faciliter son insertion dans un environnement contraint par les règles s'appliquant au secteur sauvegardé de la ville de Versailles.

Exemples de local technique :



Image 6 : Exemples de local technique

3.2 L'insertion paysagère

Le local technique intégré dans le site, les couleurs des façades et des ouvrants seront en adéquation avec les ouvrages existants à proximité.

4. Planning

Cette étude correspond à l'étude de faisabilité du projet, avec une projection de réalisation de 3 à 5 ans.

ANNEXE H

COMPLEXE PEPINIERE D'ENTREPRISES VGP			
Estimation projet cloacothermie - Rue du Béarn			
SOLUTION DE BASE - 100% GAZ			
DESIGNATION	Prix HT (€)	Quantité	TOTAL (€)
Diagnostics			
Avant travaux	3 000,00	1	3 000,00
Efficacité ENERGIE	-	1	-
Travaux de voirie suite à BPU			
Dérivation du flux	-		-
Raccordement échangeur à la PAC	-		-
Fourniture et pose échangeur	-		-
Dépose et évacuation de la chaufferie existante	15 000,00	1	15 000,00
Travaux d'aménagement de la chaufferie	5 000,00	1	5 000,00
Fourniture et pose organes de chauffage	-		-
Pompe à chaleur	-		-
Chaudière à gaz (suite à devis de la société ALTANTIC)	30 000,00	2	60 000,00
Remplacement des émetteurs existants			-
PEPINIERE VGP (PM)	-		-
MAISON DES ASSOCIATIONS	-		-
Raccordement aux éléments existants	5 000,00	1	5 000,00
Essai de mise en service	2 000,00	1	2 000,00
Coût des travaux (Hors D&A)			90 000,00
Divers et aléas (15%)			12 750,00
COÛT DES TRAVAUX TOTAL			102 750,00

COMPLEXE PEPINIERE D'ENTREPRISES VGP			
Estimation projet cloacothermie - Rue du Béarn			
SOLUTION VARIANTE 1 - ECHANGEUR A PLAQUES			
DESIGNATION	Prix HT (€)	Quantité	TOTAL (€)
Diagnostics			
Avant travaux	3 000,00	1	3 000,00
AMO Efficacité Energétique suivant CDC ADME (devis INDDIGO)	12 000,00	1	12 000,00
Travaux de voirie suite à BPU	-		-
Dérivation du flux	-		-
Raccordement échangeur à la PAC (86 ml)	38 000,00	1	38 000,00
Travaux de génie civil pour local échangeur (25 m2)	-		-
Fourniture et pose échangeur à plaques (Estimation SUEZ)	2 600,00	40	104 000,00
Dépose et évacuation de la chaufferie existante	15 000,00	1	15 000,00
Travaux d'aménagement de la chaufferie	25 000,00	1	25 000,00
Fourniture et pose organes de chauffage			-
Pompe à chaleur	70 000,00	1	70 000,00
Chaudière à gaz (suite à devis de la société ALTANTIC)	15 000,00	1	15 000,00
Remplacement des émetteurs existants			-
PEPINIERE VGP (PM)			-
MAISON DES ASSOCIATIONS	1 500,00	40	60 000,00
Raccordement aux éléments existants	5 000,00	1	5 000,00
Essai de mise en service	2 000,00	1	2 000,00
Coût des travaux (Hors D&A)			349 000,00
Aide mise en œuvre ADEME			
Prestations intellectuelles			6 000,00
Travaux			62 000,00
Coût des travaux avec AIDE ADEME			281 000,00
Divers et aléas (15%)			49 800,00
COÛT DES TRAVAUX TOTAL			330 800,00

COMPLEXE PEPINIERE D'ENTREPRISES VGP			
Estimation projet cloacothermie - Rue du Béarn			
SOLUTION VARIANTE 2 - ECHANGEUR DEPORTE			
DESIGNATION	Prix HT (€)	Quantité	TOTAL (€)
Diagnostics			
Avant travaux	3 000,00	1	3 000,00
AMO Efficacité Energétique suivant CDC ADME (devis INDDIGO)	12 000,00	1	12 000,00
Travaux de voirie suite à BPU			
Dérivation du flux	60 000,00	1	60 000,00
Raccordement échangeur à la PAC (70 ml)	31 000,00	1	31 000,00
Travaux de génie civil pour local échangeur (25 m2)	1 800,00	25	45 000,00
Fourniture et pose échangeur spiralé 150 kW (Estimation VEOLIA)	85 000,00	1	85 000,00
Dépose et évacuation de la chaufferie existante	15 000,00	1	15 000,00
Travaux d'aménagement de la chaufferie	25 000,00	1	25 000,00
Fourniture et pose organes de chauffage			-
Pompe à chaleur	70 000,00	1	70 000,00
Chaudière à gaz (suite à devis de la société ALTANTIC)	15 000,00	1	15 000,00
Remplacement des émetteurs existants			-
PEPINIERE VGP (PM)			-
MAISON DES ASSOCIATIONS	1 500,00	40	60 000,00
Raccordement aux éléments existants	5 000,00	1	5 000,00
Essai de mise en service	2 000,00	1	2 000,00
Coût des travaux (Hors D&A)			428 000,00
Aide mise en œuvre ADEME			
Prestations intellectuelles			6 000,00
Travaux			62 000,00
Coût des travaux avec AIDE ADEME			360 000,00
Divers et aléas (15%)			61 650,00
COÛT DES TRAVAUX TOTAL			421 650,00

SOLUTION DE BASE - 100% GAZ					SOLUTION VARIANTE 1 - ECHANGEUR A PLAQUES									
COUT D'INVESTISSEMENT (€)	Consommation de 100% GAZ			INVESTISSEMENT + CONSOMMATIONS TOTAL (€)	COUT D'INVESTISSEMENT (€)	Consommation de 35% GAZ			Consommation d'ELECTRICITE			INVESTISSEMENT + CONSOMMATIONS TOTAL (€)		
	102 750,00	Année	Quantité (kWh)			Prix Unitaire (€)	TOTAL (€)	330 800,00	Année	Quantité (kWh)	Prix Unitaire (€)		TOTAL (€)	Quantité
	N	317 202	0,05928	18 804	121 553,73		N	111 021	0,05928	6 581	51 545	0,16000	8 247	345 628,51
	N+1	317 202	0,06402	20 308	141 861,77		N+1	111 021	0,06402	7 108	51 545	0,16800	8 660	361 395,88
	N+2	317 202	0,06914	21 933	163 794,44		N+2	111 021	0,06914	7 676	51 545	0,17640	9 093	378 164,85
	N+3	317 202	0,07468	23 687	187 481,73		N+3	111 021	0,07468	8 291	51 545	0,18522	9 547	396 002,57
	N+4	317 202	0,08065	25 582	213 064,01		N+4	111 021	0,08065	8 954	51 545	0,19448	10 025	414 980,89
	N+5	317 202	0,08710	27 629	240 692,86		N+5	111 021	0,08710	9 670	51 545	0,20421	10 526	435 176,74
	N+6	317 202	0,09407	29 839	270 532,03		N+6	111 021	0,09407	10 444	51 545	0,21442	11 052	456 672,48
	N+7	317 202	0,10160	32 226	302 758,32		N+7	111 021	0,10160	11 279	51 545	0,22514	11 605	479 556,32
	N+8	317 202	0,10972	34 804	337 562,72		N+8	111 021	0,10972	12 182	51 545	0,23639	12 185	503 922,73
	N+9	317 202	0,11850	37 589	375 151,48		N+9	111 021	0,11850	13 156	51 545	0,24821	12 794	529 872,91
	N+10	317 202	0,12798	40 596	415 747,33		N+10	111 021	0,12798	14 209	51 545	0,26062	13 434	557 515,28
	N+11	317 202	0,13822	43 844	459 590,85		N+11	111 021	0,13822	15 345	51 545	0,27365	14 106	586 966,02
	N+12	317 202	0,14928	47 351	506 941,85		N+12	111 021	0,14928	16 573	51 545	0,28734	14 811	618 349,66
	N+13	317 202	0,16122	51 139	558 080,93		N+13	111 021	0,16122	17 899	51 545	0,30170	15 551	651 799,66
	N+14	317 202	0,17412	55 230	613 311,14		N+14	111 021	0,17412	19 331	51 545	0,31679	16 329	687 459,13
	N+15	317 202	0,18805	59 649	672 959,77		N+15	111 021	0,18805	20 877	51 545	0,33263	17 145	725 481,49
	N+16	317 202	0,20309	64 421	737 380,29		N+16	111 021	0,20309	22 547	51 545	0,34926	18 003	766 031,27
	N+17	317 202	0,21934	69 574	806 954,44		N+17	111 021	0,21934	24 351	51 545	0,36672	18 903	809 284,96
	N+18	317 202	0,23688	75 140	882 094,53		N+18	111 021	0,23688	26 299	51 545	0,38506	19 848	855 431,86
	N+19	317 202	0,25583	81 151	963 245,83		N+19	111 021	0,25583	28 403	51 545	0,40431	20 840	904 675,08
	N+20	317 202	0,27630	87 643	1 050 889,23		N+20	111 021	0,27630	30 675	51 545	0,42453	21 882	957 232,54
	N+21	317 202	0,29841	94 655	1 145 544,10		N+21	111 021	0,29841	33 129	51 545	0,44575	22 976	1 013 338,14
	N+22	317 202	0,32228	102 227	1 247 771,37		N+22	111 021	0,32228	35 780	51 545	0,46804	24 125	1 073 242,89
	N+23	317 202	0,34806	110 405	1 358 176,81		N+23	111 021	0,34806	38 642	51 545	0,49144	25 331	1 137 216,27
	N+24	317 202	0,37591	119 238	1 477 414,69		N+24	111 021	0,37591	41 733	51 545	0,51602	26 598	1 205 547,57
	N+25	317 202	0,40598	128 777	1 606 191,60		N+25	111 021	0,40598	45 072	51 545	0,54182	27 928	1 278 547,44
	N+26	317 202	0,43846	139 079	1 745 270,66		N+26	111 021	0,43846	48 678	51 545	0,56891	29 324	1 356 549,45
	N+27	317 202	0,47353	150 205	1 895 476,05		N+27	111 021	0,47353	52 572	51 545	0,59735	30 791	1 439 911,90
	N+28	317 202	0,51141	162 222	2 057 697,87		N+28	111 021	0,51141	56 778	51 545	0,62722	32 330	1 529 019,62
	N+29	317 202	0,55233	175 200	2 232 897,43		N+29	111 021	0,55233	61 320	51 545	0,65858	33 947	1 624 286,06

SOLUTION DE BASE - 100% GAZ					SOLUTION VARIANTE 2 - ECHANGEUR DEPORTE								
COUT D'INVESTISSEMENT (€)	Consommation de 100% GAZ			INVESTISSEMENT + CONSOMMATIONS TOTAL (€)	COUT D'INVESTISSEMENT (€)	Consommation de 35% GAZ			Consommation d'ELECTRICITE			INVESTISSEMENT + CONSOMMATIONS TOTAL (€)	
	Année	Quantité (kWh)	Prix Unitaire (€)			Année	Quantité (kWh)	Prix Unitaire (€)	Quantité	Prix Unitaire	TOTAL		
102 750,00					421 650,00								
	N	317 202	0,05928	18 804		N	111 021	0,05928	6 581	51 545	0,16000	8 247	436 478,51
	N+1	317 202	0,06402	20 308		N+1	111 021	0,06402	7 108	51 545	0,16800	8 660	452 245,88
	N+2	317 202	0,06914	21 933		N+2	111 021	0,06914	7 676	51 545	0,17640	9 093	469 014,85
	N+3	317 202	0,07468	23 687		N+3	111 021	0,07468	8 291	51 545	0,18522	9 547	486 852,57
	N+4	317 202	0,08065	25 582		N+4	111 021	0,08065	8 954	51 545	0,19448	10 025	505 830,89
	N+5	317 202	0,08710	27 629		N+5	111 021	0,08710	9 670	51 545	0,20421	10 526	526 026,74
	N+6	317 202	0,09407	29 839		N+6	111 021	0,09407	10 444	51 545	0,21442	11 052	547 522,48
	N+7	317 202	0,10160	32 226		N+7	111 021	0,10160	11 279	51 545	0,22514	11 605	570 406,32
	N+8	317 202	0,10972	34 804		N+8	111 021	0,10972	12 182	51 545	0,23639	12 185	594 772,73
	N+9	317 202	0,11850	37 589		N+9	111 021	0,11850	13 156	51 545	0,24821	12 794	620 722,91
	N+10	317 202	0,12798	40 596		N+10	111 021	0,12798	14 209	51 545	0,26062	13 434	648 365,28
	N+11	317 202	0,13822	43 844		N+11	111 021	0,13822	15 345	51 545	0,27365	14 106	677 816,02
	N+12	317 202	0,14928	47 351		N+12	111 021	0,14928	16 573	51 545	0,28734	14 811	709 199,66
	N+13	317 202	0,16122	51 139		N+13	111 021	0,16122	17 899	51 545	0,30170	15 551	742 649,66
	N+14	317 202	0,17412	55 230		N+14	111 021	0,17412	19 331	51 545	0,31679	16 329	778 309,13
	N+15	317 202	0,18805	59 649		N+15	111 021	0,18805	20 877	51 545	0,33263	17 145	816 331,49
	N+16	317 202	0,20309	64 421		N+16	111 021	0,20309	22 547	51 545	0,34926	18 003	856 881,27
	N+17	317 202	0,21934	69 574		N+17	111 021	0,21934	24 351	51 545	0,36672	18 903	900 134,96
	N+18	317 202	0,23688	75 140		N+18	111 021	0,23688	26 299	51 545	0,38506	19 848	946 281,86
N+19	N+19	317 202	0,25583	81 151	963 245,83	N+19	111 021	0,25583	28 403	51 545	0,40431	20 840	995 525,08
N+20	N+20	317 202	0,27630	87 643	1 050 889,23	N+20	111 021	0,27630	30 675	51 545	0,42453	21 882	1 048 082,54
	N+21	317 202	0,29841	94 655	1 145 544,10	N+21	111 021	0,29841	33 129	51 545	0,44575	22 976	1 104 188,14
	N+22	317 202	0,32228	102 227	1 247 771,37	N+22	111 021	0,32228	35 780	51 545	0,46804	24 125	1 164 092,89
	N+23	317 202	0,34806	110 405	1 358 176,81	N+23	111 021	0,34806	38 642	51 545	0,49144	25 331	1 228 066,27
	N+24	317 202	0,37591	119 238	1 477 414,69	N+24	111 021	0,37591	41 733	51 545	0,51602	26 598	1 296 397,57
	N+25	317 202	0,40598	128 777	1 606 191,60	N+25	111 021	0,40598	45 072	51 545	0,54182	27 928	1 369 397,44
	N+26	317 202	0,43846	139 079	1 745 270,66	N+26	111 021	0,43846	48 678	51 545	0,56891	29 324	1 447 399,45
	N+27	317 202	0,47353	150 205	1 895 476,05	N+27	111 021	0,47353	52 572	51 545	0,59735	30 791	1 530 761,90
	N+28	317 202	0,51141	162 222	2 057 697,87	N+28	111 021	0,51141	56 778	51 545	0,62722	32 330	1 619 869,62
	N+29	317 202	0,55233	175 200	2 232 897,43	N+29	111 021	0,55233	61 320	51 545	0,65858	33 947	1 715 136,06

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme(s): Mastère Spécialisé Eau Potable et Assainissement

Spécialité : Production d'Eau Potable

Auteur
Pierre SPIESER

Année
2019

Titre

Récupération de chaleur des eaux usées de la ville de Versailles au profit du chauffage d'un édifice public. Etudes de potentiel et de faisabilité

Nombre de pages **68** texte **28** annexes
Nombre de références bibliographiques - 20

Structure d'accueil : Ville de Versailles / Yvelines / 78

Maître de stage : Béatrice DELGADO

Résumé

L'étude qui compose ce rapport a été réalisée en 3 étapes : (1) Analyse bibliographique et détermination des prérequis d'assainissement et bâtimentaires, (2) Etude du potentiel des réseaux d'assainissement avec mise en parallèle des besoins énergétiques des bâtiments via une campagne de métrologie. (3) Faisabilité et opportunité de mise en place des technologies de récupération de chaleur sur la base d'une approche technico-économique.

Enfin cette étude se veut proposer un déroulement, une méthodologie et des axes de vigilance dans le cadre d'une étude portée par une autre collectivité.

Mots-clés

Energies renouvelables, cloacothermie, récupération chaleur, eaux usées, potentiel, faisabilité, assainissement.