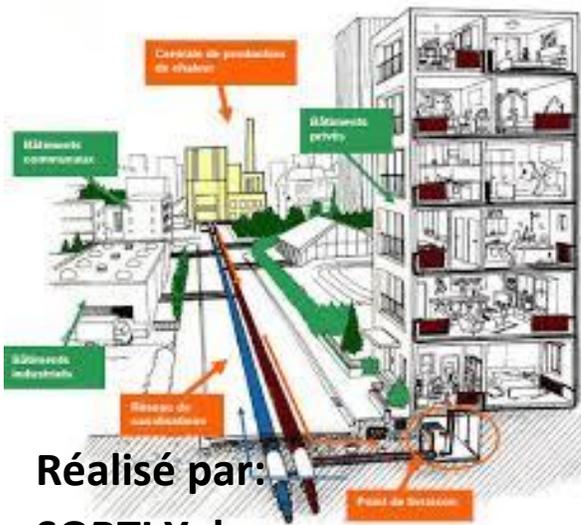


# Rapport de stage de Fin d'Etude

## Dimensionnement d'un Réseau de chaleur Urbain du Quartier SUD de l'Eco-Cité de ZENATA et Solutions SMART



Réalisé par:  
**SOBTI Yahya**  
**3IVE**



**Encadrant externe :**

**Mr MGHAZLI Abderrahmane**

Chef de projet études  
Département Conception et  
Etudes  
Pôle Opérations

**Encadrant Interne :**

**Mr L.ASMLAL**

Département HEC (PES & PhD)

*Année Académique 2017-2018*



Royaume du Maroc

Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau



Ecole Hassania des Travaux Publics

# PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du

**Diplôme d'ingénieur d'Etat**

**En Ingénierie de la Ville et de l'Environnement**

**TITRE :**

**DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU DE CHALEUR URBAIN DU  
QUARTIER OUEST DE L'Eco-Cité ZENATA ET SOLUTIONS SMART**

- ✚ Réalisé par : SOBTI Yahya
- ✚ Sous l'encadrement de : M.ASMLAL Lmahfoud (PES & PhD)
- ✚ Au sein de : La Société d'aménagement de ZENATA (SAZ)



- ✚ Vu par : Tractebel Groupe ENGIE



## Résumé

Le présent rapport porte sur le Dimensionnement d'un réseau de chaleur urbain, dans le quartier SUD de l'**Eco-Cité de ZENATA** et l'**intégration de solutions SMART sur le réseau**. Le but étant d'estimer, en premier lieu, les besoins par lots, et ce à travers l'évaluation des ratios de consommation d'énergie, due au chauffage, ainsi qu'à la production de l'eau chaude sanitaire ECS, en fonction du type de Bâtiment (Hôpital, locaux de bureaux, Université....); ces ratios sont exprimés par m<sup>2</sup> pour le chauffage, et par usager pour l'Eau Chaude Sanitaire.

Cette étude est une première **au Maroc**, elle s'inscrit dans le concept de l'**Eco-Cité de ZENATA**, tout ceci est dans le but de réaliser un service adapté au besoin des Habitants, en leur proposant une alternative des systèmes individuels locaux, tels que les chaudières électriques, et de prendre part de cette initiative digne d'un développement durable ainsi que pour les nombreux avantages qu'elle offre.

Les données présentes dans ce rapport, sont issues d'études réalisées en Europe, l'étude n'ayant jamais été faite sur un pays d'**Afrique**, nous avons, dès lors, essayé de prendre en compte le contexte climatologique du Maroc, surtout au niveau de l'évaluation des consommations de l'Energie de Chauffage. Un bilan des consommations globales de chaque lot du quartier a été réalisé en se basant sur les ratios précités, et donc par la suite on a pu évaluer les débits d'eau surchauffée transités vers chaque lot, afin d'y livrer la chaleur/l'énergie appelée. Ensuite, le bilan de l'intégralité du quartier nous a donné une idée sur la puissance qu'il faut produire, d'où l'étude des différentes filières de production de Chaleur, dont le choix va être en fonction de plusieurs paramètres, notamment la disponibilité des énergies primaires et l'intégration de cette solution dans l'environnement marocain, ainsi qu'au coût de réalisation. Le rapport donne par la suite un tracé du réseau du quartier concerné, ainsi qu'une simulation sur **EPANET**, afin de déterminer les diamètres de canalisations ; les tranchées et détails des travaux relatifs à la pose des conduites et leurs tranchées sont aussi mentionnés. Le présent rapport stipule aussi une comparaison entre le rendement des installations électriques individuelles, et celui du réseau de Chaleur Urbain, afin d'en tirer l'avantage d'une telle solution dans l'aménagement Urbain. En fin de compte, des **solutions SMART** peuvent être intégrer dans un tel réseau, à savoir sa Télé gestion et son géo référencement.

Ce rapport porte aussi des **recommandations législatives** dans le cadre de la gestion des réseaux de chaleur en tant que **délégation de service publics**, ainsi que des réglementations énergétiques, afin d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments dans une politique de développement durable.

## Abstract

This report focuses on the sizing of a **district heating network** and the integration of **SMART solutions**, in the **SOUTH district of ZENATA Eco-City**. The aim is to estimate, in the first place, the needs in batches, and this through the evaluation of the energy consumption ratios, due to the heating, as well as the production of domestic hot water DHW, in depending on the type of building (hospital, office space, university ...); these ratios are expressed per m<sup>2</sup> for heating, and per user for hot water.

This study has never been done in Morocco, it takes part of the concept of the **ZENATA Eco-City**, all this is in order to achieve a service adapted to the needs of the inhabitants, by proposing them an alternative of local individual systems, such as electric boilers, and the Electric Convector, and to take part in this initiative, worthy of sustainable development as well as for the many benefits it offers.

The information presented in this report, are the result of studies carried out in Europe, we have, therefore, tried to take into account the climatological context of **Morocco**, especially at the level of the evaluation of the consumption of the **Energy of Heating**. A summary of the overall consumptions of each batch of the district was carried out, based on the aforementioned ratios, and consequently it was then possible to evaluate the **flows** of superheated water transited towards each lot, in order to deliver the heat. Then, the assessment of the entire neighborhood gave us an idea about the power that must be produced, hence the study of **different heat production unit**, whose choice will be based on several parameters, including the availability of primary energies and the integration of this solution in the Moroccan environment, as well as the cost of implementation. The report then gives a layout of the network of the neighborhood concerned, as well as a simulation on EPANET, to determine the **pipe diameters; the trenches** and details of the work relating to **the laying of the pipes** and their trenches are also mentioned. This report also provides a comparison between the performance of individual electrical installations and that of the district heat network, in order to take advantage of this solution in the urban development. In the end, SMART solutions can be integrated in such a network; therefore we notice networks called SMART Grids, namely Tele management and geo referencing of the Heat Network, in order to control the consumption and to compare it to the heat produced.

This report also includes legislative recommendations for the management of district heating networks as a public service delegation, as well as energy regulations, to improve the energy efficiency of buildings in a sustainable development policy.

# Remerciement

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de mon stage, ainsi qu'à la rédaction de ce rapport dans son intégralité, ainsi que l'ensemble des Ingénieurs de la **Société d'Aménagement de ZENATA**, et de l'extérieur, ayant participé à mon travail, qui m'ont fait part de leurs retours d'expérience et fourni des documents pour illustrer ce Rapport.

Monsieur **MGHAZLI Abderrahmane**, Chargé d'Etudes techniques, Département Conception et Etude, Pole opération, pour qui j'adresse particulièrement mes sincères remerciements pour son temps, son écoute, sa patience, son efficacité et ses conseils et explications, ainsi que les documentations nécessaires à l'élaboration de ce rapport, aussi bien que ces renseignements qui m'ont permis d'effectuer un stage complet et d'avoir une idée claire sur le métier d'ingénieur.

Je remercie Monsieur **EL HAJJI Kacem**, Directeur du Département Conception et Etude, Pole opération, pour son humble comportement, ainsi que la richesse de ses idées et conseils qui m'ont permis de cerner ce sujet, je voudrais également lui témoigner ma gratitude pour sa patience et son soutien qui m'ont été précieux afin de mener mon travail à bon port.

Monsieur **L.ASMMLAL**, mon encadrant interne, CPF de la Filière IHE et Professeur de l'Enseignement supérieur à l'Ecole Hassania des Travaux Publics, pour qui j'adresse mon respect, pour son apport et son encadrement, dans le but de réaliser ce rapport en bonne édifice.

Je remercie ensuite l'ensemble des **membres du jury**, qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir étudier avec attention mon travail : Monsieur NOURREDINE, Monsieur JETTO, Monsieur SINAN et enfin Monsieur ABDELHAK.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur **Christophe Baudry**, cadre chez **Tractabel ENGIE**, qui nous a fait honneur d'évaluer notre travail et nous est venu en aide et conseils sur les principaux points de la présente étude.

Mes remerciements s'adressent également à tous les cadres et personnels de la SAZ pour leur accueil sur le siège et leur aide inconditionné, et surtout Monsieur **AKKABA Abderrahmane**, chef du Projet de Recasement à L'Eco-Cité ZENATA.

Mes plus profonds remerciements vont à mes parents. Qui m'ont soutenu tout au long de mon cursus, encouragé et aidé. Ils ont su me donner toutes les chances pour réussir. Qu'ils trouvent, dans la réalisation de ce travail, l'aboutissement de leurs efforts ainsi que l'expression de ma plus affectueuse gratitude.

## Table des Matières :

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Présentation du Projet de l'Eco-Cité ZENATA :</b>   | <b>13</b> |
| 1.1      | Le site de Zenata :  | 13        |
| 1.2      | Le concept d'Eco-Cité ZENATA :   | 14        |
| 1.2.1    | L'Eco-Cité ZENATA- Ville de tous les élan :  | 15        |
| 1.2.2    | Aménagement urbain novateur  | 16        |
| 1.2.3    | Une gestion intelligente des éléments  | 16        |
| 1.2.4    | UNE VILLE PLUS VERTE ET OUVERTE  | 17        |
| 1.2.5    | UN TERRITOIRE ENTIEREMENT ACCESSIBLE PAR L'ALTER-MOBILITE  | 18        |
| 1.2.6    | UNE GRANDE VILLE A TAILLE HUMAINE  | 18        |
| 1.2.7    | Un enjeu humain, social et économique  | 19        |
| 1.2.8    | Une approche inclusive et participative  | 19        |
| 1.3      | Situation du projet :  | 20        |
| 1.3.1    | Plan d'aménagement :   | 21        |
| 1.3.2    | Les Principaux Enjeux de l'Eco-Cité de ZENATA :  | 22        |
| 1.3.3    | Les équilibres programmatiques et Foncier :  | 23        |
| <b>2</b> | <b>Présentation du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA :</b>   | <b>24</b> |
| <b>3</b> | <b>Introduction du sujet :</b>   | <b>25</b> |
| <b>4</b> | <b>Evaluation du Bilan de puissance :</b>  | <b>27</b> |
| 3.1      | Calcul des Ratios de consommation par Type de Bâtiment :   | 28        |
| 3.1.1    | Ratio de consommation d'Energie pour les Locaux de Bureaux :                                       | 28        |
| 3.1.1.1  | Ratio de consommation pour le Chauffage :  | 28        |
| 3.1.1.2  | Ratio de consommation d'Energie pour l'ECS :   | 31        |
| 3.1.1.3  | Estimation de la consommation globale des locaux de Bureaux du quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA : | 32        |
| 3.1.2    | Ratio de consommation d'Energie pour le Pole Santé :   | 33        |
| 3.1.2.1  | Ratio de consommation d'ECS :  | 33        |
| 3.1.2.2  | Consommation de Chauffage :  | 34        |
| 3.1.2.3  | Bilan des consommations du Pole santé du quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA :                       | 36        |
| 3.1.3    | Ratio de consommation d'Energie pour le Pole universitaire :                                       | 36        |
| 3.1.3.1  | Ratio de consommation de Chauffage :   | 36        |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.1.3.2 | Ratio de consommation ECS : .....   | 38 |
| 3.1.3.3 | Bilan de consommation du Pole universitaire du Quartier SUD de l'Eco- Cité ZENATA : ..... | 39 |
| 3.1.4   | Ratio de consommation d'Energie pour les Ecoles et Lycée : .....                          | 40 |
| 3.1.4.1 | Ratio de consommation de chauffage : .....  | 40 |
| 3.1.4.2 | Ratio de consommation d'ECS : .....   | 43 |
| 3.1.4.3 | Bilan des consommations des Ecoles du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA : .....           | 44 |
| 3.1.5   | Ratio de consommation d'Energie pour les Logements collectifs : .....                     | 45 |
| 3.1.5.1 | Ratio de consommation d'Energie pour le Chauffage : .....                                 | 45 |
| 3.1.5.2 | Ratio de consommation d'ECS : .....   | 48 |
| 3.1.5.3 | Bilan de consommation des logements du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA: .....           | 49 |
| 3.1.6   | Ratio de consommation d'Energie pour les Activités (Hôtels, Service Public...) : .....    | 50 |
| 3.1.6.1 | Ratio de consommation d'Energie pour le Chauffage+ECS : .....                             | 50 |
| 3.1.6.2 | Bilan des Consommation des services Publics du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA : .....  | 55 |
| 3.2     | Besoins Global du Quartier : .....  | 56 |
| 4       | Unité de Production d'Energie et Réseau secondaire : .....                                | 57 |
| 4.1     | Production : .....  | 57 |
| 4.1.1   | La Biomasse : .....   | 57 |
| 4.1.2   | Les UIOM : .....  | 64 |
| 4.1.3   | Chaudières à Energie Fossiles : .....   | 67 |
| 4.2     | Echange avec le réseau secondaire : .....   | 69 |
| 4.2.1   | Les sous-stations : .....   | 69 |
| 4.2.2   | L'échangeur : .....   | 70 |
| 5       | Calcul des débits transités et des diamètres de Canalisations : .....                     | 71 |
| 5.1     | Les Fluides chauffants : .....  | 71 |
| 5.1.1   | Vapeur d'eau .....  | 71 |
| 5.1.2   | Eau surchauffée.....  | 71 |
| 5.1.3   | Eau chaude.....   | 72 |
| 5.2     | Tracé général du réseau : .....   | 72 |
| 5.3     | Formule de Calcul : .....   | 72 |
| 5.4     | Calcul des débits transités vers les lots du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA : .....    | 75 |
| 6       | Tracé du réseau : .....   | 76 |
| 6.1     | Tracé général des réseaux de chaleur et Matériau des Tuyauteries:.....                    | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| Tracé définitif du réseau -Profils en long :   | 76  |
| Normes de Tuyauterie :   | 79  |
| 6.2 Tracé du réseau sur le plan du quartier SUD de l'Eco Cité ZENATA :   | 84  |
| 6.3 Dimensionnement Du Réseau et simulation Epanet :   | 85  |
| 6.3.1 Tracé Epanet :   | 85  |
| 6.3.2 Calcul des diamètres et simulation Epanet :  | 87  |
| 6.3.3 Emplacement des vidanges et des ventouses :  | 94  |
| a) Equipement des points haut :  | 95  |
| b) Equipement des points bas :   | 95  |
| 6.4 Détails de Tranchée du réseau :  | 96  |
| 6.5 Cout de réalisation du réseau de chaleur (Réseau Primaire) :   | 98  |
| 7 Solution SMART pour les réseaux de Chaleur Urbain :  | 101 |
| 7.1 Généralités :  | 101 |
| 7.2 Gestion d'un réseau de chaleur intelligent :   | 103 |
| 7.3 Supervision et Maitrise :  | 104 |
| 7.4 Exemple d'un réseau de Chaleur intelligent :   | 105 |
| 8 Comparaison entre rendement de la production électrique locale et du réseau de chaleur à chaudière Fioul :                 | 106 |
| 8.1 Présentation de l'Etude :  | 106 |
| 1-1) Le convecteur électrique :  | 106 |
| Principe :   | 106 |
| Indications :  | 107 |
| 1-2) Le radiateur électrique :   | 107 |
| Principe :   | 107 |
| Indications :  | 107 |
| 8.2 Evaluation de la chaleur utile et du rendement :   | 107 |
| 9 Les dispositions législatives de gestion et organisation du réseau de Chaleur en tant que délégation d'un service public : | 109 |
| 9.1 L'organisation :   | 109 |
| 9.1.1 Les parties prenantes, leurs rôles, leurs relations :  | 109 |
| 9.1.2 Type de Contrats :   | 110 |
| 9.2 Responsabilités des parties prenantes :  | 110 |
| 9.2.1 La collectivité, autorité responsable du service public de distribution de chaleur :                                   | 110 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 9.2.2 | L'opérateur : gestionnaire du réseau : .....                | 110 |
| 9.2.3 | Les Modes d'exploitation du réseau de chaleur : .....       | 112 |
| 9.2.4 | Les relations Collectivités/Opérateur : .....               | 112 |
| 9.3   | Les gestionnaires des bâtiments raccordés au réseau : ..... | 113 |
| 10    | Conclusion .....  | 114 |
| 11    | Annexes : .....   | 115 |

## Liste des Figures :

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Croquis de <b>Michel Ecochard</b> datant de 1950.....                                   | 15 |
| Figure 2: Présentation des Pôles de l' <b>Eco-Cité ZENATA</b> .....                               | 16 |
| Figure 3: trame aéraulique de l' <b>Eco-Cité ZENATA</b> .....                                     | 18 |
| Figure 4: régénération de la Nappe Phréatique à l' <b>Eco-Cité ZENATA</b> .....                   | 17 |
| Figure 7: Equipements de proximité de l' <b>Eco-Cité ZENATA</b> .....                             | 18 |
| Figure 8: localisation et voies de l' <b>Eco-Cité ZENATA</b> .....                                | 20 |
| Figure 9: Sectorisation de l' <b>Eco-Cité ZENATA</b> .....  | 21 |
| Figure 10 : les enjeux de l' <b>Eco-Cité ZENATA</b> .....   | 22 |
| Figure 11 : Modèle de Bureau administratif usuel.....   | 28 |
| Figure 12: Climatologie de la région Casablanca Settat de l'année 2017.....                       | 29 |
| Figure 13 : Ballon d'Eau Chaude Sanitaire (boiler).....   | 31 |
| Figure 14: consommation d'Eau Chaude Sanitaire pour les Hôpitaux par litre par Jour.....          | 33 |
| Figure 15 : Zonage du Site de l'hôpital de Soisy.....   | 34 |
| Figure 16 : Détails des coefficient de transmission thermique des Parois.....                     | 34 |
| Figure 17: consommation d'Eau Chaude Sanitaire par Type de Bâtiments par litre par Jour.....      | 38 |
| Figure 18: consommation d'Eau Chaude Sanitaire par Type de Bâtiments par litre par Jour.....      | 38 |
| Figure 19 : Coefficient de Calcul du Coefficient d'Intermittence .....                            | 41 |
| Figure 20 : Consommation d'Eau Chaude Sanitaire par litres par jour .....                         | 43 |
| Figure 21 : Extrait du Plan du Quartier SUD de l' <b>Eco-Cité ZENATA</b> (Ecoles).....            | 44 |
| Figure 22 : Répartition des consommations du secteur résidentiel.....                             | 46 |
| Figure 23 : Ratios de consommation des immeubles collectifs.....                                  | 47 |
| Figure 24: Répartition de la consommation électrique.....   | 50 |
| Figure 25 : Ratio de Chauffage et d'Eau Chaude Sanitaire .....                                    | 51 |
| Figure 26: Mairie ce Chonas l'Amballan.....   | 52 |
| Figure 27 : Détails du Zonage de la Mairie .....  | 52 |
| Figure 28: Total des Déperditions et pertes du Bâtiment de la Mairie .....                        | 53 |
| Figure 29 : Les Degrés Jour Unifiés de la Région de Chonas L'Amballan.....                        | 53 |
| Figure 30 : Coefficient de la Mairie .....  | 53 |
| Figure 31: Rendement des Appareils de Chauffage .....   | 53 |
| Figure 32 : Résumé des Consommations de Chauffage .....   | 54 |
| Figure 33 : plaquette Master de l' <b>Eco-Cité</b> .....  | 55 |
| Figure 34: Parts de consommation du Quartier SUD de l' <b>Eco-Cité ZENATA</b> .....               | 56 |
| Figure 36: Description du Coefficient d'Empilement .....  | 59 |
| Figure 37: Tableau des PCI de Bois en fonction de l'humidité .....                                | 60 |
| Figure 38: Chaufferie Biomasse de Paris.....  | 63 |
| Figure 39 : PCI par type de Bois sec.....   | 64 |
| Figure 40 : Pouvoir calorifique inférieur des déchets incinérés.....                              | 65 |
| Figure 41: Décharge Publique de Mediouna-Casablanca.....  | 66 |
| Figure 42: Description du Mécanisme d'une UIOM .....  | 66 |
| Figure 43: Bilan de consommation par élève de L'Institut .....                                    | 67 |
| Figure 44: Schéma d'échangeur dans une sous station .....   | 70 |
| Figure 45: Relevés de températures et débits chaudière bois et réseau de distribution.....        | 73 |
| Figure 46 : Consignes de température des chaudières bois et gaz et température retour réseau..... | 73 |
| Figure 49 : Protection du calorifuge par un carton bitumé simplement posé dessus.....             | 83 |
| Figure 50 : Tuyauteries de chauffage installées dans un caniveau en béton armé.....               | 96 |

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Figure 51 : Tuyauteries de chauffage installées dans un caniveau en BA: deux tubes de diamètres différents..... | 96                                 |
| Figure 52: Tuyauteries calorifugées enterrées, protégées par couches multiples.....                             | 97                                 |
| Figure 53: détails tranchée du réseau de chaleur/ distance par rapport aux autres réseaux.....                  | 105                                |
| Figure 54: Tableau des DN de canalisations en fonction de la pression.....                                      | <b>Erreur ! Signet non défini.</b> |
| Figure 55: Capteurs de Géo référencement des canalisations.....   | 105                                |
| Figure 56: Modes d'exploitation du réseau de Chaleur Urbain.....  | 112                                |
| Figure 57: relation Collectivité/Opérateur .....  | 112                                |
| Figure 58 : Les Relations Usagers/ Gestionnaire de Bâtiment/ Opérateur .....                                    | 113                                |

## Annexes :

|  |     |
|--|-----|
| Annexe1 : Complément de calcul des besoins de chauffage : .....                        | 118 |
| Annexe 2 : Estimation des besoins en Eau Chaude Sanitaire : .....                      | 124 |
| Annexe 3 : Evaluation du rendement de réseau : .....                                   | 125 |
| Annexes 4 : Le principe de Foisonnement : .....  | 127 |
| Annexes 5 : caractéristiques techniques des chaufferies Bois : le Dimensionnement..... | 128 |
| Annexe 6 : Comparaison énergétique .....   | 129 |
| Annexe 7 : Enthalpie du Fluide Caloporteur : .....                                     | 129 |
| Annexe 8 : Dilatation des Conduites : .....  | 130 |
| Annexe 9 : dimensionnement des Sous stations : .....                                   | 131 |
| Annexe 10 : Evacuation des Eaux de la sous stations .....                              | 131 |
| Annexe 11 : Les matériaux isolants : .....   | 132 |
| Annexe 12 : Loi relative au Réseau de Chaleur Urbain en France .....                   | 133 |

## 1 Présentation du Projet de l'Eco-Cité ZENATA :



Naturalité, proximité, optimisation, flexibilité, Co-élaboration et diversité. Ce sont là les **6 principes fondateurs du référentiel Eco-cité Zenata**, définissant les orientations pour la construction d'un environnement favorisant un cadre de vie de qualité. Ce référentiel a été labellisé durant la **COP22** par Cerway (organisme de certification HQE). Zenata est aujourd'hui la première ville à avoir obtenu le label de performance «**Ecocity Label**» (**ECL**). Ce qui en fait un modèle pour les pays du Sud.

L'Eco-cité Zenata offre une alternative urbaine aux générations actuelles et futures pour des opportunités socioéconomiques diverses et une qualité de vie améliorée.

D'une superficie de **1.830 hectares**, avec une façade maritime de près de **5,5 km**, elle ambitionne de créer **100.000 emplois** et d'accueillir **300.000 habitants** conformément aux standards internationaux de **développement durable**.

### 1.1 Le site de Zenata :

La future cité de Zenata occupe un vaste territoire de **1670 hectares** situé à la jonction entre **Casablanca et Mohammedia**.



Zenata



Ferme coloniale



Zenata plage - Loustal 1983

Le site constitue l'une des dernières grandes réserves foncières de la métropole Casablancaise.

Domaine des **Zenates**, une tribu qui occupait la bande littorale, devenu ensuite une grande exploitation coloniale dont la

**Ferme centrale** est toujours présente sur le site, Zenata était aussi un lieu de villégiature matérialisé par les « cabanons » qui ont été progressivement transformés en maisons et qui occupent toujours la digue du front de mer. Cette plaine apparaît pour la première fois dans les plans d'urbanisme dans les croquis de **Michel Ecochard** datant de 1950. A cette époque, naît l'idée d'un « **combinat Casa-Fedala** » ou l'industrie occupe le



Littoral et fait la jonction entre les 2 ports

Figure 1: Croquis de Michel Ecochard datant de 1950

Celui de Casablanca et son extension sur Mohammedia.

Par les infrastructures de transit, la ligne « très haute tension » et l'autoroute, ce territoire s'inscrit toujours dans les lignes du plan des années 50 mais fort heureusement il n'a pas été occupé par l'industrie si ce n'est par des usages spontanés qui sont maintenant possibles à résorber. Cette histoire est inscrite dans le « laboratoire urbain » qu'a constitué Casablanca depuis un siècle et qui va maintenant se prolonger dans une nouvelle ère de la ville. La mondialisation, les mutations économiques et les objectifs environnementaux du Maroc d'aujourd'hui créent les conditions pour inventer ici une éco-cité Casablancaise. C'est cet enjeu que nous voulons exprimer dans le contenu et la méthode de conception du projet

## 1.2 Le concept d'Eco-Cité ZENATA :

Après des temps ancestraux où les habitants ont vécu en harmonie avec leur milieu, un demi-siècle a suffi pour réduire dangereusement **nos réserves énergétiques**, agir sur le climat par la surabondance des émissions de **CO2** et rendre nos villes difficiles à vivre par l'omniprésence de l'automobile.

Ce constat est universel et depuis quelques décennies, les objectifs du développement durable ont été admis par toutes les sociétés urbaines. C'est un mouvement qui est amplifié par la mondialisation et l'avènement d'une société de l'information solidaire devant les grands cataclysmes qui touchent un pays ou un autre au fil des événements climatiques. Fort heureusement, cette ère du gaspillage, même si elle est mondiale n'a pas touché de façon homogène toutes les villes et tous les pays.

Le Maroc dont le taux de motorisation reste faible et qui bénéficie d'une « zone de confort » climatique favorable peut aborder sereinement la question de la ville durable quand elle s'applique à de nouvelles urbanisations.

D'autre part, depuis l'après-guerre on assiste à une banalisation des modes de vie et les référentiels environnementaux qui trouvent leur origine dans les pays développés de l'hémisphère Nord n'échappent pas à cet effet de la globalisation.

La Méditerranée a été pourtant au fil des siècles le berceau d'une «proto-écologie» encore vivante et particulièrement au Maroc où la tradition **arabo andalouse** est considérée comme un modèle universel.

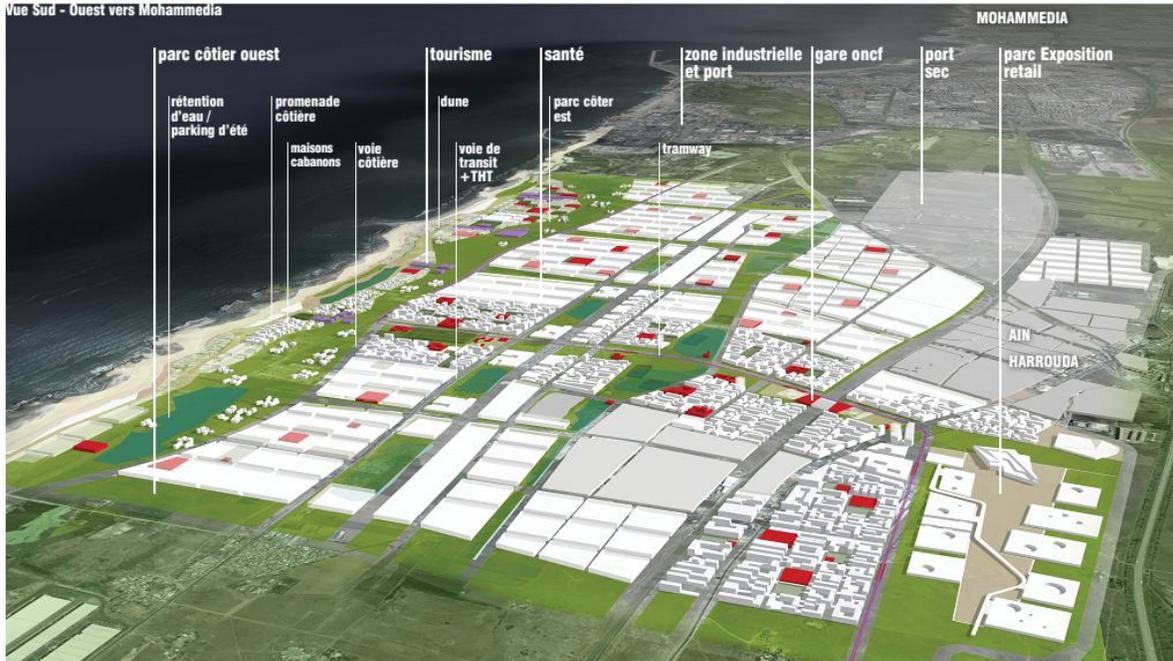


Figure 2: Présentation des Pôles de l'Eco-Cité ZENATA

### 1.2.1 L'Eco-Cité ZENATA- Ville de tous les élan :

**Enjeux :** La population du Maroc a plus que doublé en 30 ans, passant de 15,4 millions en 1971 à 33,8 millions en 2014. Ainsi, la forte croissance démographique s'est faite au profit d'une urbanisation progressive. Aujourd'hui, le taux d'urbanisation est de 60% et dépasserait les 65% en 2030, soit près de 26 millions d'habitants en ville.

Pour répondre à cette dynamique démographique, le Maroc a adopté une politique économique, sociale et écologique caractérisée par de nombreux plans stratégiques et accompagnée par des programmes nationaux d'aménagement urbain pour améliorer l'économie du pays et la qualité de vie de ses citoyens.

En effet, de nombreux projets d'aménagement urbain sont prévus, dont notamment l'Eco-Cité Zenata dans la périphérie du Grand Casablanca.

L'Eco-Cité Zenata contribuera à hisser la capital économique et sa région au rang de grande métropole mondiale. D'envergure nationale, l'Eco-Cité est un modèle innovant utilisant des techniques de conception innovantes, notamment en matière urbanistique dans un souci permanent de préservation de l'environnement

### L'Eco Conception :

*Dimensionnement d'un réseau de chaleur urbain*

Dans un contexte mondial de **mutations climatiques** et de **défis socio-économiques**, les villes portent une responsabilité majeure : lieux de **vie sociale** et de **création de valeurs**, elles sont à la fois source de richesses et de défis. La réflexion sur la conception et le développement des villes est donc primordial.

Au Maroc, **l'Eco-Cité Zenata** a adopté une démarche d'éco-conception se basant sur un ensemble de réflexions pour réduire ou limiter les impacts environnementaux tout au long de son cycle de vie et favoriser son **développement socio-économique**.

Cette démarche vertueuse qui place **l'Homme au cœur** des réflexions fait de Zenata une **ville éco-conçue**.

Cette démarche participative est menée en co-élaboration avec les gouvernances nationales et locales et mobilise l'ensemble des partenaires publics et privés, ainsi que la société civile et l'ensemble des citoyens.

Les études stratégiques, urbanistiques, environnementales et techniques ont contribué à l'élaboration d'un Plan d'Aménagement répondant au mieux aux besoins socio-économiques et environnementaux de la région.

### 1.2.2 Aménagement urbain novateur

L'Eco-Cité Zenata a été conçue sur la base des 3 piliers fondamentaux de développement durable : l'environnemental, le social et l'économique. Ainsi, en tant que ville durable, l'Eco-Cité Zenata s'appuie sur des concepts novateurs qui associent l'urbanisation à la nature et valorisent la mixité sociale et fonctionnelle au service de la communauté actuelle et futur.

### 1.2.3 Une gestion intelligente des éléments

Le plan d'aménagement prend en compte l'optimisation des ressources naturelles à l'échelle de la ville. Par des innovations urbaines majeures, l'Eco-Cité Zenata bénéficie des atouts naturels du territoire.

#### Air :

**Une trame aéraulique oblique** qui suit le sens **des vents dominants** de la région (Nord Ouest-Sud Est) a été modélisé pour créer une ville ventilée. L'Eco-Cité Zenata utilise donc le sens des vents pour permettre **l'aération de la ville**: rafraîchissement naturel de 2 à 3°C en été et régulation de l'humidité en hiver



Figure 3: trame aéraulique de l'Eco-Cité ZENATA

#### Eau :

En conjuguant dénivellations naturelles et canaux pour drainer les eaux de pluie vers des **bassins de rétention** en surface, l'aménagement permet la **régénération des nappes phréatiques** et l'implantation d'un paysage naturellement vert favorisant l'embellissement global de la ville. Il permet également de diminuer les capacités des conduites souterraines des eaux et de minimiser la taille des ouvrages de rejet vers la mer.



Figure 4: régénération de la Nappe Phréatique à l'Eco-Cité ZENATA

#### 1.2.4 UNE VILLE PLUS VERTE ET OUVERTE

Ville vivante et végétalisée, l'Eco-Cité Zenata consacre **470 hectares**, soit **1/3** de son territoire aux **espaces verts** répartis de manière à répondre à la disposition de la trame aéraulique.



Figure 5 : Espace Verts de l'Eco-Cité ZENATA

### 1.2.5 UN TERRITOIRE ENTIEREMENT ACCESSIBLE PAR L'ALTER-MOBILITE

Une **mobilité harmonieuse** conjugue mobilités collectives et douces et offre une alternative performante au tout-voiture pour réduire l'empreinte écologique de la ville. Le plan de mobilité collective prévoit la mise en place d'une **gare multimodale** (train, RER, tramway, bus) et un réseau de bus à haut niveau de service. Le plan de mobilité douce prévoit des déplacements à pied et à vélo à travers un circuit de **12 km de parcs linéaires**, pratiques, confortables et sécurisés. Ce circuit est **déconnecté** des circuits avec voitures et répond aux pratiques de la ville de proximité, en reliant les différentes unités de vie des quartiers qui composent l'**Eco-Cité Zenata**. Ces modes de déplacement symbolisent un mode de vie durable associant l'efficacité au plaisir de se déplacer dans un espace public attractif.

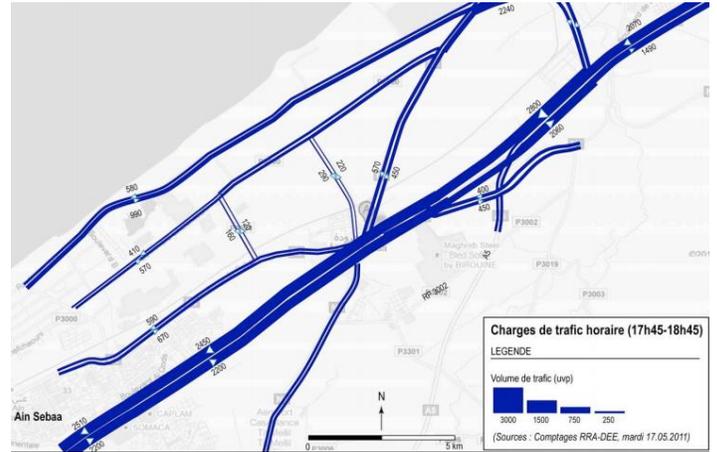


Figure 6: Charge de Trafic Horaire de l'Eco-Cité ZENATA

### 1.2.6 UNE GRANDE VILLE A TAILLE HUMAINE

La ville est composée d'une mosaïque de centres de vie autonomes. Chaque centre de vie, organisé selon les principes traditionnels des médinas marocaines, offre tous les **équipements de proximité** nécessaires en matière **d'éducation, de culte, de santé, de commerce et de transport**.

Ainsi, les centres de vie renouent le charme désuet de la vraie vie de quartier.

Figure 7: Equipements de proximité de l'Eco-Cité ZENATA



### 1.2.7 Un enjeu humain, social et économique

Le territoire de Zenata recense aujourd'hui plus de 8000 ménages bidonvillois et 245 industries qui représentent un enjeu social et économique essentiel pour l'Eco-Cité Zenata. En plaçant l'humain au centre du projet, la préoccupation est de préserver l'emploi et d'améliorer la qualité de vie.

### 1.2.8 Une approche inclusive et participative

Dès le lancement du projet de l'Eco-Cité Zenata en 2008, l'ensemble des populations et industries du territoire ont été intégrées dans un programme inclusif de réinstallation in situ élaboré en collaboration avec les autorités locales.

#### RELOGEMENT DES FAMILLES BIDONVILLOISES

Le 29 janvier 2013, **SM le Roi Mohammed VI** a remis les clés aux bénéficiaires de la première phase du relogement Al Mansour – Zenata. Ce projet, lancé par la **Société d'Aménagement Zenata** et développé par **Dyar Al Mansour**, répond au programme gouvernemental « **Villes sans Bidonvilles** »



Avec des superficies de logement supérieures aux exigences nationales (60 m<sup>2</sup>), une densité de logements inférieure à la moyenne nationale (**145 unités/ha à Zenata VS. Moyenne de 200 unités au Maroc**), **10% d'espaces verts** et des équipements de proximité, ce projet ambitionne d'intégrer au mieux les bénéficiaires dans l'Eco-Cité Zenata.

Les premiers équipements développés sont:

- **Une école** baptisée Lalla Khadija ouverte à la rentrée 2013-2014 dotée une salle multimédia et un terrain omnisports,
- Un **centre de santé** finalisé en 2015
- Une **mosquée** en cours d'élaboration, avec une salle de prière ouverte au public depuis 2013

#### RECASEMENT DES FAMILLES BIDONVILLOISES

En mai 2014, le recasement in situ a été annoncé aux populations locales concernées lors des Journées Portes Ouvertes, réunions d'information destinées à présenter le projet, son impact environnemental et la réinstallation

#### RELOCALISATION INDUSTRIELLE

La désorganisation du tissu industriel local et la faible accessibilité aux différents réseaux (voiries, électricité, assainissement etc.) ne contribuent pas au développement et à l'amélioration de la compétitivité des **245 entreprises** du territoire de Zenata.

Une **zone industrielle subventionnée** à 70% de 69 ha, développée conformément aux normes techniques et environnementales nationales a été réalisée.

Cette zone industrielle moderne est spécifiquement dimensionnée pour accueillir les activités existantes et leur évolution en pérennisant près de 4 000 emplois, et ce à partir de cette année

**Un plan social d'envergure** : Dès 2012, en collaboration avec l'Agence Française de Développement (AFD) et la Banque Européenne d'Investissement (BEI) en tant que bailleurs de fonds du projet, la Société d'Aménagement Zenata a élaboré un Plan d'Action de Réinstallation (PAR) répondant aux normes de la Banque Mondiale.

Le PAR s'inscrit dans une démarche de réinstallation à la fois physique et économique pour améliorer la qualité de vie de l'ensemble des populations existantes concernées.

Dans une démarche inclusive, la Société d'Aménagement Zenata a organisé en collaboration avec les autorités locales des Journées Portes Ouvertes pour sensibiliser et consulter les populations locales.

### 1.3 Situation du projet :

La zone du projet de la nouvelle ville de Zenata a une superficie de près de **1870 ha**. Cette aire s'étend le long de la façade atlantique sur une longueur d'environ **5,5 km** et une profondeur de près de **3km**. Elle se situe entre les deux principales agglomérations de la Région (Casablanca et Mohammedia).

Elle est limitée :

- au Nord-Ouest par l'Atlantique,
- au Nord-est par la ville de Mohammedia,
- au Sud-ouest par la commune de Sidi Bernoussi (zone industrielle).
- et au Sud- Est par la Commune de Ain Harrouda et l'autoroute Casablanca-Rabat

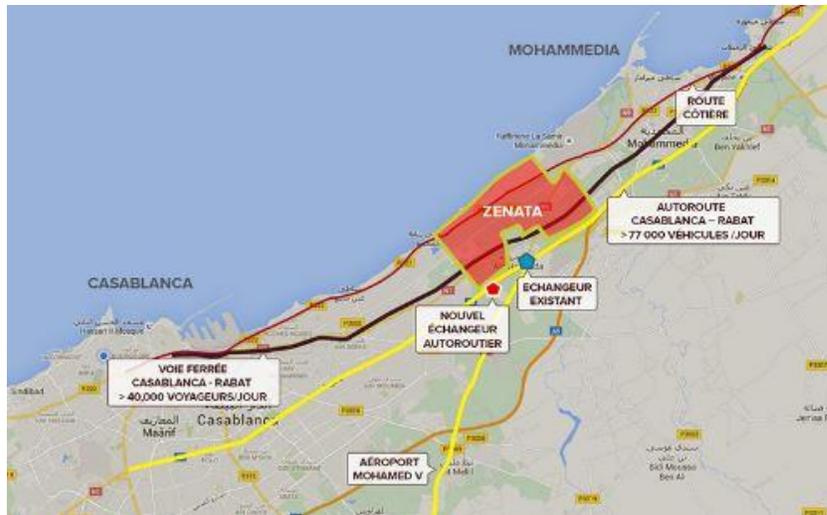


Figure 8: localisation et voies de l'Eco-Cité ZENATA

### 1.3.1 Plan d'aménagement :

Le programme d'aménagement de la 1ère zone de développement de Zenata prévoit la création de : Zones mixtes (Logement & bureau) de densité variant de 1,5 à 5.

- Pôle université.
- Pôle santé.
- Pôle commerciale.
- Espace vert.
- Equipements public.

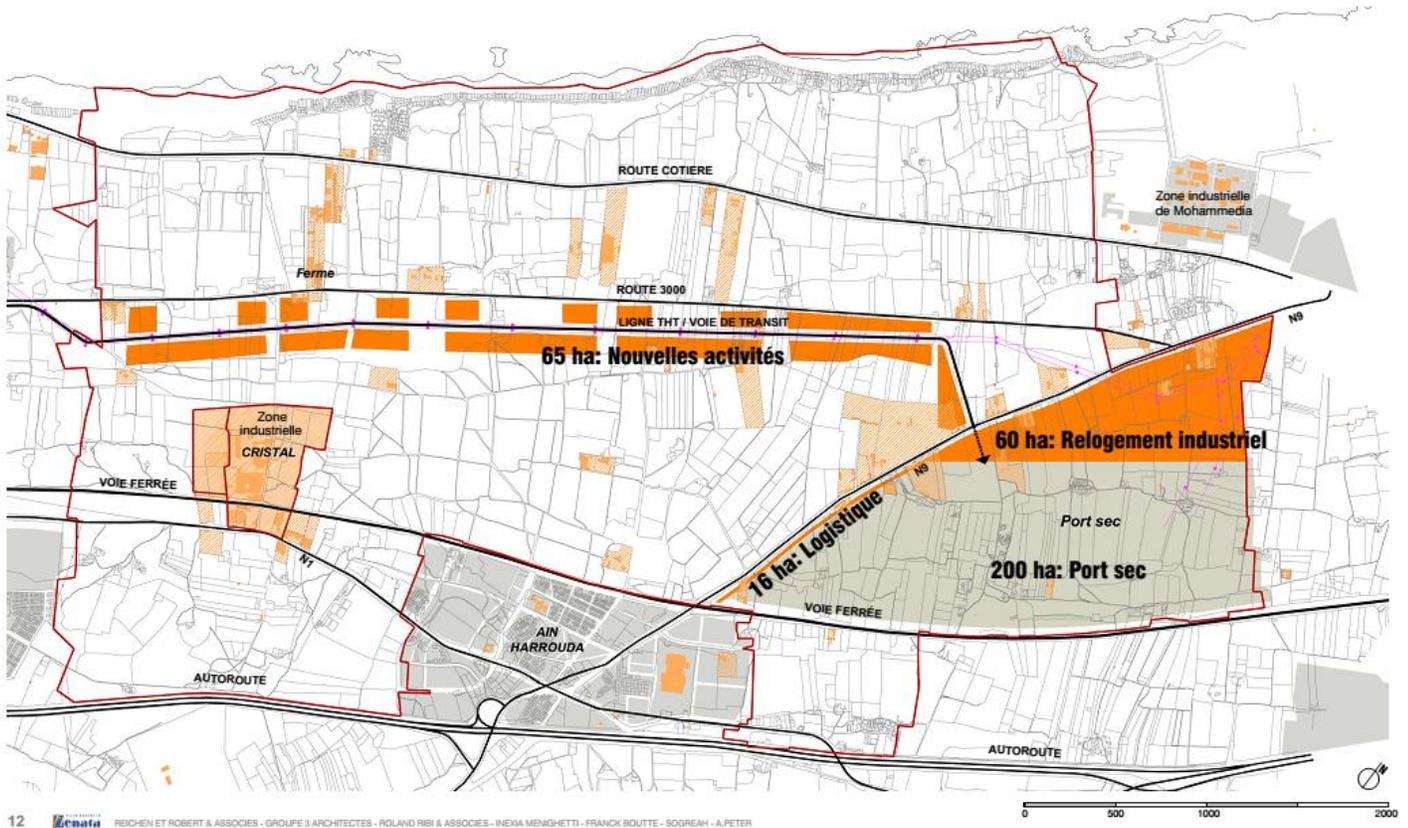


Figure 9: Sectorisation de l'Eco-Cité ZENATA

### 1.3.2 Les Principaux Enjeux de l'Eco-Cité de ZENATA :

## 1 EQUILIBRER LES ENJEUX SOCIAUX, ENVIRONNEMENTAUX, ET ÉCONOMIQUES

### SOCIAL

- Assurer la mixité sociale dans la cité.
- Rendre la ville majoritairement accessible aux classes moyennes.
- Rééquilibrer à l'Est les fonctions de santé et d'éducation
- Concevoir une ville équipée pour les besoins de la vie quotidienne.

### ENVIRONNEMENTAL

- Considérer l'eau comme une richesse naturelle rare et menacée
- Concevoir une ville fraîche et ventilée (ville bioclimatique)
- Favoriser les mobilités collectives et douces pour réduire l'usage de l'automobile.
- Maîtriser les émissions de CO<sup>2</sup> dans les transports et les bâtiments.

### ECONOMIQUE

- Equilibrer les emplois et l'habitat. 100 000 emplois pour 300 000 habitants.
- Construire une cité balnéaire attractive.
- Intégrer un pôle économique régional (Parc expo, détail et tertiaire).
- Maîtriser les coûts des infrastructures en reliant ces objectifs entre eux.

IMAGINER UN « RÉFÉRENTIEL » MÉDITERRANÉEN ADAPTÉ AUX ENJEUX ET AUX MODES DE VIE D'AUJOURD'HUI.

## 2 CONSIDÉRER DE FAÇON GLOBALE L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE DE LA CITÉ

EMPREINTE GLOBALE

### LES INFRASTRUCTURES

Maîtriser la conception et la réalisation selon un principe de croisement de données et d'actions répondant aux objectifs de l'éco-cité.

### LES PRATIQUES

Générer des « pratiques vertueuses » par une conception attractive et simplifiant les actes de la vie quotidienne.

### LE BÂTI

Garantir la performance énergétique dans les bâtiments et dans une production globale de l'énergie associée aux choix nationaux.

Figure 10 : les enjeux de l'Eco-Cité ZENATA

### 1.3.3 Les équilibres programmatiques et Foncier :

Par sa taille, la cité de Zenata est une ville nouvelle. Par sa localisation, c'est aussi une pièce maîtresse de l'agglomération casablancaise. L'idée de 1950 d'un « combinat Casa-Fedala » est plus que jamais d'actualité mais son rôle et sa programmation sont d'une toute autre nature. La programmation générale répond ainsi à 3 objectifs prioritaires :

- **Rééquilibrer l'agglomération** à l'Est Rendre attractif un territoire délaissé passe par la possibilité d'y installer de **grands équipements métropolitains** : le parc des expositions, le pôle « retail », le pôle « santé », l'université et les installations touristiques sont les fondements de cette politique. Ces équipements à haute valeur symbolique et architecturale donneront son image à la ville.
- Associer les **emplois et les équipements à l'habitat** **100'000 emplois pour 300'000 habitants** est le premier objectif du programme, auquel nous voulons ajouter une politique volontariste d'équipements « induits » par le logement. Ce double équilibre est la condition pour maîtriser la mobilité dans l'Est casablancais et donner à Zenata sa vocation de pôle de centralité.
- Construire une **ville accessible** aux **classes moyennes**. C'est un enjeu social et économique où la qualité de vie (équipements, transport) et la structure des espaces naturels (parcs linéaires et parc côtier) doivent être compensés par une « densité raisonnée », modelée selon les quartiers avec toujours pour objectif l'organisation de la mixité sociale. La densité comme la présence d'un espace public généreux sont les conditions de création d'une « culture urbaine ».



### 3 Introduction du sujet :



On appelle **réseau de chaleur** ou **chauffage urbain** un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire. Le réseau de chaleur est constitué d'un réseau primaire de canalisations, empruntant le domaine public ou privé, transportant de la chaleur qui alimente des postes de livraison installés dans les immeubles des utilisateurs. Sur les mêmes principes, il existe des réseaux distribuant du froid, transporté sous forme d'eau glacée et destiné à la climatisation de locaux. Les collectivités locales (communes ou groupement de communes) ont compétence pour créer un service public local de distribution d'énergie calorifique.

**En Europe**, 100 millions de personnes sont déjà chauffées grâce à **4 500 réseaux de chaleur** répartis dans 32 pays. En Europe du Nord, 50 à 70 % des besoins de chauffage sont assurés par des réseaux de chaleur comme par exemple au Danemark avec 60 %, en Estonie et Pologne avec 52 %, ou en Finlande et Suède avec 50%.

#### **Production, distribution, utilisation... :**

Les installations **de production de chaleur** : Les installations de production de chaleur produisent l'énergie calorifique nécessaire pour alimenter le réseau. Elles garantissent la température de l'eau ou la pression de la vapeur dans les canalisations jusqu'aux consommateurs.

**Les canalisations :** Un réseau de chaleur fonctionne en circuit fermé : il comprend donc toujours au moins deux canalisations : l'une pour distribuer la chaleur vers les utilisateurs, l'autre pour le retour du fluide refroidi vers les installations de production.

**Les sous-stations :** Dans chaque bâtiment raccordé au réseau de chaleur se trouve une sous-station qui abrite le poste de livraison, où l'eau chaude (ou la vapeur) transfère sa chaleur aux installations du bâtiment via un échangeur thermique. C'est dans la sous-station que le comptage de la chaleur livrée est effectué. C'est également au niveau de la sous station que l'on distingue le **réseau « primaire »** (qui relie la ou les installations de production au bâtiment) du **réseau « secondaire »** (qui distribue la chaleur dans un bâtiment ou groupe de bâtiments)

### Le « bouquet » énergétique

Afin de produire l'énergie nécessaire au chauffage des bâtiments, les réseaux utilisent des énergies d'origines multiples : prioritairement des énergies renouvelables et de récupération (géothermie, biomasse, valorisation énergétique des déchets...), des combustibles de réseau (gaz) et des combustibles stockables (charbon, fioul). Cette diversité offre des avantages en termes de flexibilité, de sécurité d'approvisionnement et de stabilité des prix. Le recours à certaines énergies renouvelables ou de récupération permet de contribuer à la protection de l'environnement et à la préservation de l'emploi local.

Par ailleurs, plus de 200 réseaux sont équipés de cogénération (production simultanée de chaleur et d'électricité) et produisent ainsi plus de 5 500 GWh d'électricité en complément de la chaleur qu'ils délivrent.



## 4 Evaluation du Bilan de puissance :

La présente étude est fondée sur une évaluation du bilan de puissances appelées par les lots du quartier sud de l'Eco-Cité ZENATA, les données étant limitées sur une telle étude en Afrique, on a essayé dès lors de conduire un raisonnement sur des ratios de consommation par m<sup>2</sup> ou par usagers (Chauffage + ECS), le calcul de ces derniers est à l'origine de quelques étude de cas de locaux usuels ( sans isolation spécifique) mené en Europe, en France majoritairement.

Concernant le calcul des besoins en Chauffage, il est essentiellement basé sur le contexte climatologique de la région d'une part, et sur les caractéristiques du bâti d'une autre part, à savoir l'inertie du bâtiment, le type d'isolation, la nature des planchers Bas et Haut, le type de vitrage, les surface et coefficient de déperditions thermiques U(W/m<sup>2</sup>.K)...

Nous allons étudier donc le bilan énergétique par type de locaux, puis estimer le besoin global de chaque lot.

L'estimation **des besoins en chauffage d'un bâtiment** consiste à calculer **le flux thermique** qui s'écoule de l'intérieur vers l'extérieur du bâtiment lors des journées les plus froides (en moyenne) de l'année. Le calcul est effectué en fonction des **journées les plus froides** parce que c'est dans ces conditions que le bâtiment perd sa chaleur le plus rapidement. Le flux thermique (heat flow rate) est une quantité d'énergie thermique (chaleur) transmise par unité de temps. Il s'exprime en joule par seconde (J / s) ou en watt (W) dans le système international d'unités (1 J / s = 1 W)

Le terme « besoin », dans ce contexte, fait donc référence à la puissance requise pour compenser l'effet du flux thermique. En d'autres termes, l'estimation des besoins en chauffage consiste à calculer le rythme auquel **le bâtiment perd sa chaleur** dans les pires conditions hivernales. Pour maintenir une température confortable à l'intérieur du bâtiment, les pertes de chaleur doivent être compensées par un apport de chaleur équivalent. Le but du calcul est donc de déterminer la puissance nette totale requise dans ce bâtiment. C'est une étape primordiale dans le processus de conception d'un système de chauffage. À noter que ce genre de calcul comprend inévitablement une **marge d'erreur** puisqu'il dépend de plusieurs données imprécises et / ou constamment variables. Le but du calcul est toutefois de faire une estimation qui se rapproche le plus possible de la réalité. La marge d'erreur doit donc être raisonnable. Estimer les besoins en chauffage d'un bâtiment en se fiant seulement à la surface de plancher n'est pas une méthode de calcul appropriée. Elle néglige trop de facteurs pour être représentative des besoins réels du bâtiment. Une méthode de calcul appropriée doit être basée sur des notions de transfert de chaleur et doit considérer au moins les facteurs suivants :

- la température intérieure désirée;
- la température extérieure en fonction des journées les plus froides de l'année;
- la surface et la résistance thermique des parois exposées (murs, toit, plancher sur sol, portes, fenêtres) ; les parois exposées sous le niveau du sol doivent aussi être considérées dans le calcul;
- l'infiltration d'air extérieur et /ou l'exfiltration d'air vers l'extérieur (fuites d'air); le débit d'air neuf introduit par ventilation mécanique (si applicable).

En ce qui concerne l'estimation des besoins en Eau Chaude Sanitaire (ECS), le calcul se fait à la base des profils de consommation suivant le type d'usage (Hôpital, Restauration, Foyer d'internat, Hôtels...).

### 3.1 Calcul des Ratios de consommation par Type de Bâtiment :

#### 3.1.1 Ratio de consommation d'Énergie pour les Locaux de Bureaux :

##### 3.1.1.1 Ratio de consommation pour le Chauffage :

*Note : la consommation d'un immeuble de bureaux est très variable, surtout selon son niveau d'équipement intérieur. Les chiffres donnés ci-dessous sont approximatifs mais donnent une vue moyenne de l'origine des consommations. Si les valeurs choisies sont discutables, la consommation totale par m<sup>2</sup> est conforme à la consommation moyenne des bâtiments construits récemment.*

Analysons le cas d'un local de bureau usuel, faisant **10 m<sup>2</sup>** de superficie, avec un vitrage normale de superficie **4 m<sup>2</sup>**. Tel que :

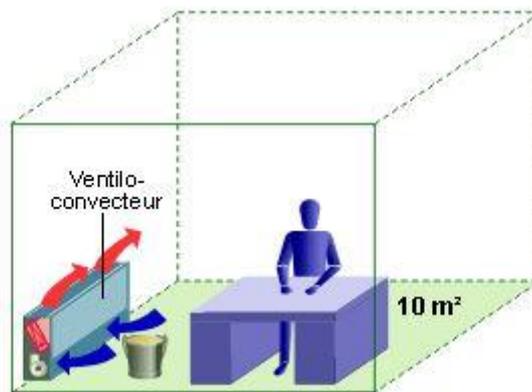


Figure 11 : Modèle de Bureau administratif usuel

- Des **apports solaires moyens** de l'ordre de **448 kWh**.
- Les apports internes liés à la présence et à l'activité de l'occupant seront de **400 kWh**.

Analysons les entrées et les sorties de chaleur durant les **75 jours** où la température est inférieure à **11°C**, d'après le bulletin météorologique de l'année 2017 de la région Casablanca –Settat.

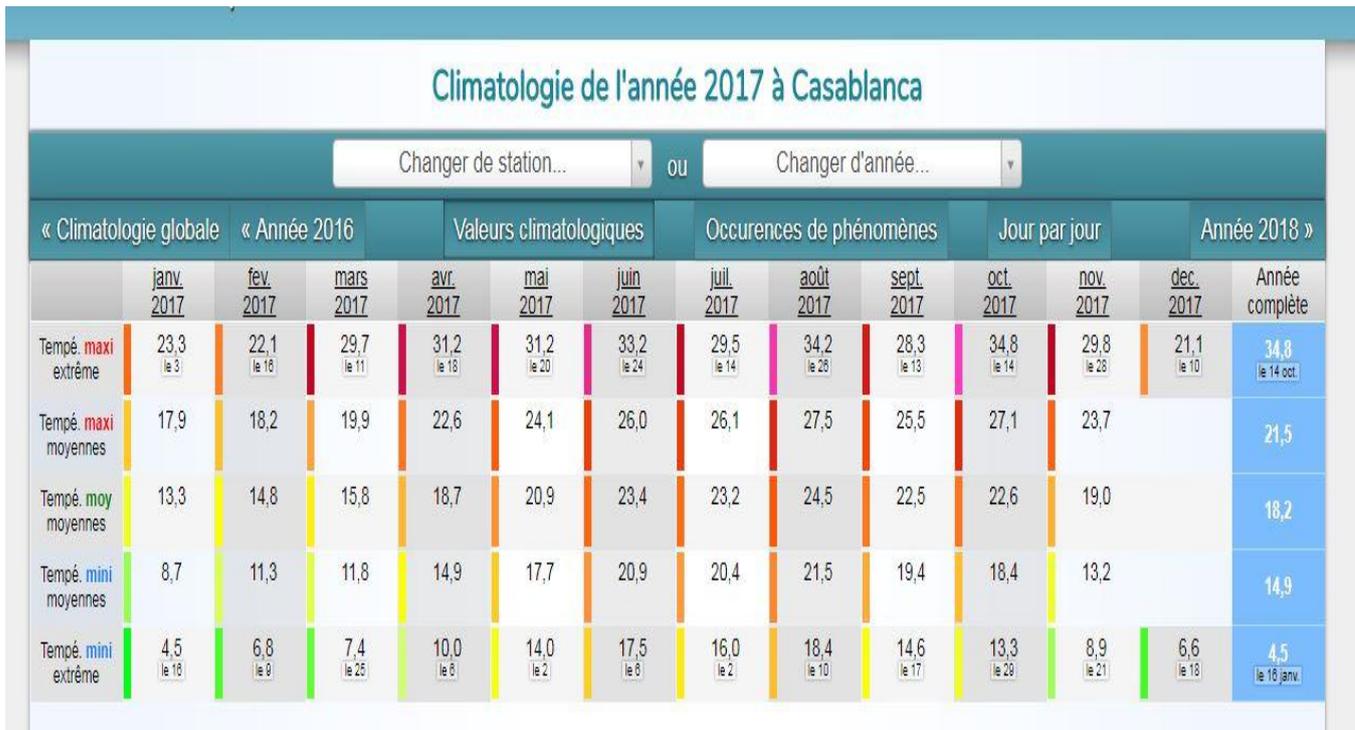


Figure 12: Climatologie de la région Casablanca Settat de l'année 2017

- La température moyenne extérieure moyenne équivalente est de : **11 °C**
- La consommation de chauffage du local (chauffage de l'air neuf compris) est donnée par :

$$DR * 75 * 24 * (Tc - Text) / 1000$$

Avec : **Tc** : Température de consigne estimée à **20 °C**  
**Text** : Température extérieure moyenne **11 °C**

DR : Déperditions par le renouvellement d'air par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K).

$$DR = Hvent + Hperm$$

**Hvent** : Déperdition thermique par le renouvellement d'air dû au système de ventilation par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K)

**Hperm** : Déperdition thermique par le renouvellement d'air dû à la perméabilité à l'air du bâtiment par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K)

$$Hvent = 0.34 * Qvarepconv * Sh$$

- **Qvarepconv** : Débit d'air extrait conventionnel par unité de surface habitable (m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>)
- **Sh** : Surface habitable (m<sup>2</sup>)

$$H_{perm} = 0.34 * Q_{vinf}$$

**Qvinf** : Débit d'air dû aux infiltrations (m<sup>3</sup>/h).



Pour une Qualité acceptable (niveau ambiant de CO<sub>2</sub> 600-1000 ppm au dessus du niveau extérieur) on a :

$$Q_{varepconv} = 20 \text{ (m}^3 \text{ /h/m}^2\text{)}$$

$$Q_{vinf} = 2.25 \text{ (m}^3 \text{ /h)}$$

Ce qui donne Un DR de l'ordre de **65.7 W/K**.

Par la suite :

La consommation de chauffage du local est:

$$68.7 \text{ (W/K)} * 75j * 24h/j * (20 - 11)K / 1000 = 1558 \text{ kWh}$$

La demande finale de chauffage, tenant compte des apports mentionnés avant, est donc estimée à :

$$1558 - 400 - 440 = 718 \text{ kWh soit } \mathbf{71.8 \text{ kWh/m}^2}$$

En admettant un rendement d'exploitation de **80 %** de l'installation de chauffage, on obtient un ratio consommation annuelle par m<sup>2</sup> de :

$$71.8 / 0.8 = \mathbf{89.75 \text{ kWh/m}^2}$$

**Le Ratio de consommation de chauffage pour un local de bureau : 89.75 kWh/m<sup>2</sup>**

### 3.1.1.2 Ratio de consommation d'Energie pour l'ECS :

#### b) Evaluation des consommations d'un Local de bureau en ECS :

Dans un immeuble de bureaux, un **robinet d'eau chaude** est alimenté par un boiler électrique d'une contenance de **100 litres**, **30 personnes** travaillent dans ce bureau.

La consommation d'eau chaude du robinet est estimée à **25 litres à 45°C** par personne et par jour. Prenant en compte une période de **250 jours** de travail par an, la consommation du robinet monte à :

$$Q = 250 \times 30 \times 25 / 1\,000 = 187,5 \text{ m}^3/\text{a pour } 45^\circ\text{C}$$

Le boiler\* délivre toutefois de l'eau à **85°C**. L'eau de **45°C** est obtenue par mélange avec une certaine quantité d'eau à 10°C. La quantité d'eau à **85°C** qui est délivrée par le boiler est calculée comme suit :

$$Q = 187,5 \times \{(45 - 10) / (85 - 10)\} = 87,5 \text{ m}^3/\text{a}$$

\*Le boiler : Ballon électrique



Figure 13 : Ballon d'Eau Chaude Sanitaire (boiler)

**c) Calcul des besoins en ECS du local de bureau :**

Sachant que 1 m<sup>3</sup> d'ECS produite consomme **32.5 kWh**

Donc, la consommation du local en ECS est :

$$87.5 \text{ m}^3/\text{an} * 32.5 \text{ kWh/m}^3 = 2843.75 \text{ kWh/an}$$

Soit:

$$2843.75 / 30 = 94.8 \text{ kWh/pers/an}$$

**Résultat :**

Le ratio de consommation d'ECS dans un local de bureau est : **94.8 kWh/pers/an**

**3.1.1.3 Estimation de la consommation globale des locaux de Bureaux du quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA :**

On admet pour le calcul du Ratio de consommation d'ECS, qu'il existe une personne par bureau de 10 m<sup>2</sup>, ce qui nous permettra de déduire le nombre d'usagers dans les locaux de bureau du Quartier sud de l'Eco- Cité ZENATA, et donc par la suite sortir avec la consommation globale d'eau chaude sanitaire des locaux d'activités bureautiques.

Un extrait du tableau de contenance précité montre les résultats suivant :

| Programme       | Foncier (ha) | Foncier constructible | ZONE PA | Cos | Shon m2         | Chauffaeg GWh/an | Nombre d'Usagers  | ECS GWh/an        |
|-----------------|--------------|-----------------------|---------|-----|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Tertiaire       | 4 727        | 4 727                 | AGs8S16 | 3,6 | 17 017          | 1,5272937        | 472,7             | 0,04481196        |
| Tertiaire       | 5 218        | 5 218                 | AGs8S16 | 3,6 | 18 785          | 1,6859358        | 521,8             | 0,04946664        |
| Tertiaire       | 4 991        | 4 991                 | AGs8S16 | 3,6 | 17 968          | 1,6125921        | 499,1             | 0,04731468        |
| Tertiaire       | 5 876        | 5 876                 | AGs8S16 | 3,6 | 21 154          | 1,8985356        | 587,6             | 0,05570448        |
| Tertiaire       | 2 345        | 1 165                 | AGs8S16 | 3,6 | 8 442           | 0,7576695        | 116,5             | 0,0110442         |
| Tertiaire       | 4 270        | 3 731                 | AGs8S16 | 3,6 | 15 372          | 1,379637         | 373,1             | 0,03536988        |
| Services admin. | 3 540        | 3 540                 | ISS     | 1,2 | 4 248           | 0,381258         | 354               | 0,0335592         |
|                 |              |                       |         |     | Total Chauffage | <b>9,2429217</b> |                   |                   |
|                 |              |                       |         |     | Total ECS       |                  |                   | <b>0,27727104</b> |
|                 |              |                       |         |     | ECS+Chauffage   |                  | <b>9,52019274</b> |                   |

On retient donc :

- Chauffage : **9.24 GWh/an**
- ECS : **0.27 GWh/an**

Au total:

**9.52 GWh/an**

### 3.1.2 Ratio de consommation d'Énergie pour le Pole Santé :

#### 3.1.2.1 Ratio de consommation d'ECS :

Pour le pole santé, le calcul des ratios de consommation est à l'issue d'une étude des consommations d'eau chaude sanitaire par le lit. Des études menées en France sur les Hôpitaux Franciliens (Ile de France) montrent qu'il existe une très forte **corrélation** apparaît entre la capacité d'accueil et la consommation d'énergie annuelle des établissements de santé analysés. Le **coefficient  $R^2 = 0,94$** .

Le Tableau suivant donne les consommations par litre par jour, pour un lit dans un hôpital :

|          |  |                     |         |
|----------|--|---------------------|---------|
| Hôpitaux | - chambre  | par lit et par jour | 50 à 60 |
|          | - cuisine, avec lave-v.<br>(de 1 700 à 300 repas par jour) | par repas           | 8 à 12  |

Figure 14: consommation d'Eau Chaude Sanitaire pour les Hôpitaux par litre par Jour

#### Calcul de la consommation d'ECS :

Un lit standard pour Adulte (**90×190cm**) consomme en Moyenne **50 litres d'ECS à 60° par jour**,

Chaque **mètre cube** produit d'ECS consomme environ : **60 kWh**

**Donc :**

Un lit consomme **18.25 m<sup>3</sup> d'ECS par an**

D'où, on obtient le ratio :

$$18.25 \text{ m}^3/\text{lit}/\text{an} * 60 \text{ kWh}/\text{m}^3 = 1095 \text{ kWh}/\text{lit}/\text{an}$$

Donc:

Le ratio de consommation par lit est **1095 kWh/lit/an**

### 3.1.2.2 Consommation de Chauffage :

Le ratio de chauffage est calculé de la même façon utilisé pour les locaux de bureaux et les différents types de logements.

Les résultats sont tirés d'une Audit Energétique menée sur un Hôpital francilien, dont le zonage du site est donné comme suit :

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Adresse</b>           | 6 Avenue du Général de Gaulle 91450 Soisy sur Seine |
| <b>Surface SHON</b>      | 11 703 m <sup>2</sup> SHON*                         |
| <b>Surface chauffée*</b> | 11 203 m <sup>2</sup> chauffée*                     |

Figure 15 : Zonage du Site de l'hôpital de Soisy

Nous retenons que la surface chauffée : **Sch= 11203 m**

La surface hors Œuvre Nette **Shon = 11703 m2**

Nous essayerons de justifier ce **Ratio** en se basant sur la présente étude, le calcul du besoin en chauffage est come on l'a précité, fonction de la **rigueur climatique** de la région d'où le calcul du DJU (Degré Jour Unifié) **Les Degrés Jours Unifiés (DJU)** représentent la rigueur climatique pour un site donné. Ils permettent d'estimer ou de corriger les besoins en chauffage d'un site. Ils sont calculés chaque jour en faisant la différence entre la température moyenne et la température de **18°C**. Le cumul de ces DJU journaliers permet d'estimer la rigueur climatique d'un mois ou d'une année. **Plus ils sont élevés, plus les besoins de chauffage seront importants.**

D'autre part, le calcul se base aussi sur les caractéristiques de bâtiment, et plus précisément sur les coefficients de déperditions thermiques U(W/m2.K), qui sont fonction des types de parois et de l'existence d'isolation thermique ; Dans le cadre de cette étude portée sur les Hôpitaux franciliens le tableau suivant donne un récapitulatif sur les détails des parois :

|                     | Composition                           | Surface (m <sup>2</sup> ) | Coefficient de performance thermique U* (W/m2.°C) | Exigences en RT rénovation | Performance |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|----------------------------|-------------|
| <b>Murs</b>         | Agglo sous enduit                     | 371 m <sup>2</sup>        | 2,04  | 0,43                       | Mauvaise    |
| <b>Toiture</b>      | Hourdi béton + étanchéité + gravillon | 363 m <sup>2</sup>        | 2,40  | 0,4                        | Mauvaise    |
| <b>Plancher bas</b> | Dallage béton sur terre plein         | 363 m <sup>2</sup>        | 1,03  | 0,43                       | Mauvaise    |
| <b>Ouvrants</b>     | Type 1<br>SV cadre bois               | 7 m <sup>2</sup>          | 4,95  | 2,3                        | Mauvaise    |
|                     | Type 2<br>DV cadre bois 5/9/5         | 22 m <sup>2</sup>         | 3,10  | 2,3                        | Mauvaise    |
|                     | Type 3<br>DV cadre bois 4/16/4        | 6 m <sup>2</sup>          | 2,80  | 2,3                        | Mauvaise    |
|                     | Type 4<br>DV cadre bois 4/6/4         | 26 m <sup>2</sup>         | 3,95  | 2,30                       | Mauvaise    |
|                     | Type 5<br>Porte bois garage           | 22 m <sup>2</sup>         | 4,50  | 2,3                        | Mauvaise    |

\*plus la conductivité thermique (U) est élevée, plus la résistance thermique est mauvaise

Figure 16 : Détails des coefficient de transmission thermique des Parois

En reprenant le même raisonnement que celui des locaux de Bureaux administratifs pour le calcul des besoins en chauffage, la formule de Calcul étant :

$$B_{ch} = 24 * J * DJU * (DP + DR) / 1000$$

**B<sub>ch</sub>** : le Besoin en chauffage.

**DP**: déperditions moyennes du local ou de la zone considérée, [W/K]

**DR** : déperditions moyennes liées au renouvellement d'air et à la perméabilité de l'enveloppe [W/K].

**J** : Coefficient d'intermittence (%)

**DJU** : Degré jour unifié

$$DP = U_{bat} * S_{dép} + R * V_h$$

**U<sub>bat</sub>** : représente la déperdition thermique totale moyenne d'un bâtiment (toutes parois)(W/m<sup>2</sup>.K), pour une précision optimale ce coefficient se calcule pour chaque paroi ,mura, bâti...

**V<sub>h</sub>** : volume habitable de la zone traitée [m<sup>3</sup>].

**R** : coefficient fonction du type de ventilation.

On prend : **U<sub>bat</sub> = 1,5**

Les surfaces de déperditions S<sub>dép</sub> sont de l'ordre : **S<sub>dép</sub> = 1179 m<sup>2</sup>,**

**R = 0.14**

On trouve : **DP = 1542 W/K**

**DR = 110 W/K**

**J%** = (Temps d'**Utilisation** des équipements de Chauffage / Temps d'**activité** de l'Etablissement)

L'intermittence reflète un coefficient de foisonnement dans la consommation de chauffage, pour les Hôpitaux, l'intermittence est prise égale à 90%

**Ainsi le besoin annuel en chauffage atteint :**

$$B_{ch} = 2.91 \text{ GWh/an}$$

Donc en tenant compte de la surface chauffée **S<sub>ch</sub> = 11700 m<sup>2</sup>**

On retrouve la valeur du ratio de consommation : **248.71 kWh /m<sup>2</sup>**

Cette valeur est nettement plus Grande que celle des locaux de bureaux et celle des logements résidentiels, et ceci est dû au **conditionnement des locaux** (Blocs Opératoires, salles de soins...) ou le taux de renouvellement de l'air engendre des déperditions importantes DR qui peuvent atteindre jusqu'à **110 W/K**.

La réglementation thermique française, fixe le **Ratio de consommation par m<sup>2</sup> pour les hôpitaux à 250 kWh/m<sup>2</sup>/an.**

**Nous retenons ainsi le ratio suivant :**

$$250 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$$

### 3.1.2.3 Bilan des consommations du Pole santé du quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA :

Reprenons les ratios préétablis :

- **Chauffage : 250 kWh/m<sup>2</sup>/an**
- **ECS : 1095 kWh/lit/an**

Le Pole santé de l'Eco- Cité compte un Hôpital d'une capacité de **300 lits**,  
Nous estimons donc une consommation d'Eau chaude sanitaire de l'ordre de :

$$300 * 1095 = \mathbf{0.32 \text{ GWh/an}}$$

Pour le chauffage, le calcul a été fait à l'aide d'Excel, en se basant sur un tableau de contenance du Quartier sud de l'Eco-Cité fournie par la Société d'Aménagement de Zenata(SAZ) ,

Voici un extrait de ce tableau :

| Programme  | Foncier (ha) | Foncier constructible | ZONE PA | Cos | Shon m <sup>2</sup>         | Consommation Globale Chauffage GWh | Consommation Globale ECS GWh |
|------------|--------------|-----------------------|---------|-----|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Pôle santé | 16 701       | 16 701                | ISS     | 1,5 | 25 052                      | 6,262875                           | 0,3285                       |
| Pôle santé | 55 706       | 55 706                | ISS     | 1,5 | 83 559                      | 20,88975                           | 0,3285                       |
| Pôle santé | 19 602       | 19 602                | ISS     | 1,5 | 29 403                      | 7,35075                            | 0,3285                       |
|            |              |                       |         |     | <b>Total chauffage</b>      | <b>34,503375</b>                   |                              |
|            |              |                       |         |     | <b>Total ECS</b>            |                                    | <b>0,3285</b>                |
|            |              |                       |         |     | <b>Total ECS+ chauffage</b> | <b>34,831875</b>                   |                              |

On retient donc une consommation totale de l'ordre de **34,82 GWh/an**

Dont : **34,50 GWh/an** pour le chauffage

**0.32 GWh/an** pour l'ECS

### 3.1.3 Ratio de consommation d'Énergie pour le Pole universitaire :

#### 3.1.3.1 Ratio de consommation de Chauffage :

Pour ce Ratio, l'étude a été faite sur le cas du Campus universitaire de Fonderie en France, nous allons en premier lieu donner une présentation du site du Campus :

- **Surface : 13985 m<sup>2</sup>** chauffée (SHON)
- **Nombre d'usagers : 1634** Etudiants **58** Enseignants/Chercheurs
- **Volume moyen d'ECS produite par an : 3418 m<sup>3</sup>**

- **Alimentation : Par Chaudière** : 3 chaudières, dont une à condensation de puissance **720 kW** et deux autres haut rendement de **575 kW** chacune.

Le calcul qu'on a réalisé pour le Pole santé, est principalement le même pour le cas du pole universitaire ; la consommation de chauffage devant évoluer en fonction de la **rigueur hivernale**.

La Rigueur Hivernale est issu du calcul du **Degré Jour Unifié(DJU)**, cet indice est issu du calcul de la différence de température entre les locaux chauffés (généralement 20°) et la température extérieure. Dans le cas de ce campus, le tableau suivant donne les valeurs de **DJU** utilisées dans la région de **Mulhouse** :



|            | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | Moyenne 2005-2012 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|
| <b>DJU</b> | 2729 | 2681 | 2417 | 2630 | 2625 | 2999 | 2378 | 2640 | 2637              |

D'autre part, étant donné les caractéristiques des bâtiments du Campus, à savoir les coefficients de transmission thermique et les parois déperditives, On relève ainsi, la consommation globale de l'an 2008, qui s'élève à **1710066 kWh**,

Puis connaissant la surface chauffée (SHON) qui vaut **13985 m2**

On obtient un ratio de consommation de :  $1710066/13985 = 122 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$

**Donc le ratio de Chauffage est :**

**122 kWh/m<sup>2</sup>/an**

### 3.1.3.2 Ratio de consommation ECS :

On rappelle que la quantité d'Eau Chaude Sanitaire produite par an est de l'ordre de **3418 m<sup>3</sup>**. On s'est basé sur des résultats donnés par une campagne de mesures menée par l'**EDF** en 1985, donnant les consommations d'eau chaude sanitaire par personne suivant le type de Bâtiment :

| Etablissement | Caractéristiques                             | Besoins en litres à 60°C |           |
|---------------|--|--------------------------|-----------|
| Hotel         | - 3 étoiles en montagne (sports d'hiver)     | par chambre et par jour  | 170       |
|               | - 3 étoiles tous lieux                       | par chambre et par jour  | 130 à 140 |
|               | - hôtel de vacances à la semaine avec bain   | par chambre et par jour  | 100       |
|               | - 1 étoile avec douche (50 %) et bain (50 %) | par chambre et par jour  | 75        |
|               | - lingerie                                   | par kg de linge sec      | 4 à 5     |
| Restaurant    | 150 à 50 repas par jour                      | par repas                | 12 à 20   |

Figure 17: consommation d'Eau Chaude Sanitaire par Type de Bâtiments par litre par Jour

|                    |                         |                     |         |
|--------------------|-------------------------|---------------------|---------|
| École              | - chambre d'internat    | par lit et par jour | 30 à 40 |
|                    | - repas, hors lave-v.   | par repas           | 3 à 5   |
|                    | - repas, avec lave-v.   | par repas           | 9 à 10  |
| Maison de retraite | - chambre               | par lit et par jour | 40      |
|                    | - repas, hors lave-v.   | par repas           | 3 à 5   |
|                    | - repas, avec lave-v.   | par repas           | 9 à 10  |
| Maternité          | - chambre               | par lit et par jour | 60      |
|                    | - cuisine, avec lave-v. | par repas           | 10 à 15 |
| Hôpitaux           | - chambre               | par lit et par jour | 50 à 60 |

Figure 18: consommation d'Eau Chaude Sanitaire par Type de Bâtiments par litre par Jour

D'autre part, la production d'un mètre cube d'eau chaude sanitaire consomme une puissance qui est fonction de la température appelée, pour le cas d'une université (Campus Universitaire), l'eau chaude sanitaire produite est d'une température égale à **40°C**, ce qui est consommé environ **48kWh/m<sup>3</sup>**.

Ce qui veut pour notre cas que la consommation annuelle d'ECS en kWh est :

$$3418 \text{ m}^3 * 48 \text{ kWh/m}^3 = 164064 \text{ kWh/an}$$

Soit un ratio par usagers de :

$$164064 / (1634 + 58) = 97 \text{ kWh/usager/an}$$

Donc le ratio d'ECS est :

$$97 \text{ kWh/usager/an}$$

### 3.1.3.3 Bilan de consommation du Pole universitaire du Quartier SUD de l'Eco- Cité ZENATA :

Le pole universitaire du quartier SUD de l'Eco- Cité ZENATA, n'est pas encore détaillé, donc on a dû estimer le nombre d'étudiants par m<sup>2</sup>, du campus universitaire, en se référant au cas d'Etude du Campus de Fonderie, on rappelle qu'on a en gros un nombre d'usagers égal à : 1634+58 = **1692 usagers**, pour une surface de **13985 m<sup>2</sup>**, on retient donc un ratio de 1692/13985=0.12 soit **12%**

On retrouve ainsi grâce à cet extrait du tableau de contenance de la zone concernée :

|                    | Chauffage kWh/an  | 122                   |         |     |                     |                  |                   |                   |
|--------------------|-------------------|-----------------------|---------|-----|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|                    | ECS kWh/usager/an | 97                    |         |     |                     |                  |                   |                   |
|                    | Ratio Usagers     | 12%                   |         |     |                     |                  |                   |                   |
| Programme          | Foncier (ha)      | Foncier constructible | ZONE PA | Cos | Shon m <sup>2</sup> | Chauffage GWh/an | Nombre d'usagers  | ECS GWh/an        |
| Pôle universitaire | 7 907             | 7 907                 | I5S     | 1,5 | 11 861              | 1,446981         | 1423,26           | 0,13805622        |
| Pôle universitaire | 3 451             | 3 451                 | I5S     | 1,5 | 5 177               | 0,631533         | 621,18            | 0,06025446        |
|                    | <b>11 358</b>     | <b>11 358</b>         |         |     | <b>17 037</b>       | <b>2,078514</b>  | <b>2044,44</b>    | <b>0,19831068</b> |
| Pôle universitaire | 14 096            | 14 096                | I5S     | 1,5 | 21 144              | 2,579568         | 2537,28           | 0,24611616        |
| Pôle universitaire | 10 180            | 10 180                | I5S     | 1,5 | 15 270              | 1,86294          | 1832,4            | 0,1777428         |
|                    |                   |                       |         |     | Total Chauffage     | <b>8,599536</b>  |                   |                   |
|                    |                   |                       |         |     | Total ECS           |                  |                   | <b>0,82048032</b> |
|                    |                   |                       |         |     | ECS+Chauffage       |                  | <b>9,42001632</b> |                   |

On retient un total de consommation pour le pole universitaire de l'ordre de : **9.42 GWh/an**

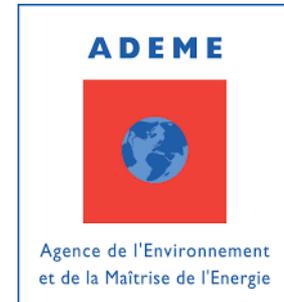
Dont : Chauffage : **8.6 GWh/an**

ECS : **0.82 GWh/an**

### 3.1.4 Ratio de consommation d'Énergie pour les Ecoles et Lycée :

#### 3.1.4.1 Ratio de consommation de chauffage :

Les résultats sont donné par une compagnie d'inspection et d'audit du bâtiment menée par: **ADEME** (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)/ **Etude réalisée par la Mairie de Chonas l'Ambellan.**



#### Présentation de l'École :

Pour l'étude énergétique, à partir des plans papiers remis lors de la visite, le zonage suivant a été défini:

- Surface utile : **281 m<sup>2</sup>**
- Volume chauffé : **852 m<sup>3</sup>**
- Surface déperditives (mur, plancher bas/haut,...) **Sdép = 1582 m<sup>2</sup>**
- Nombre de niveau : **2**



#### Estimation du besoin de chauffage :

Cette approche consiste à adopter une démarche semblable à celle du calcul réglementaire pour l'habitat.

Tel que :

$$B_{ch} = 24 * J * DJU * (DP + DR) / 1000$$

**B<sub>ch</sub>** : le Besoin en chauffage.

**DP**: déperditions moyennes du local ou de la zone considérée, [W/K]

**DR** : déperditions moyennes liées au renouvellement d'air et à la perméabilité de l'enveloppe [W/K].

**J** : Coefficient d'intermittence (%)

**DJU** : Degré jour unifié

a) Coefficient d'intermittence :

Le Tableau ci-dessous donne des valeurs empiriques du J :

**TABLEAU 3 : COEFFICIENT « j »**

| $j = \alpha Gg + \beta$ |         |                  |         | Bureaux  |         | Enseig Primaire |         | Enseig Secondaire |         | Hôtels   |         | Soins    |         | Gymnases |         |
|-------------------------|---------|------------------|---------|----------|---------|-----------------|---------|-------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Zone climatique         | inertie | taux de vitrages | ventil. | $\alpha$ | $\beta$ | $\alpha$        | $\beta$ | $\alpha$          | $\beta$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\alpha$ | $\beta$ |
| H1 et H2                | faible  | moyen            | VI      | 0,1      | 0,1     | 0               | 0,3     | 0,1               | 0,25    | —        | —       | —        | —       | -0,1     | 0,7     |
|                         |         |                  | VP      | 0,1      | 0,1     | 0               | 0,2     | 0,1               | 0,2     | 0,45     | 0,05    | 0,25     | 0,6     | 0        | 0,65    |
|                         |         | fort             | VI      | 0        | 0,13    | 0               | 0,25    | 0,1               | 0,2     | —        | —       | —        | —       | 0        | 0,6     |
|                         |         |                  | VP      | 0,1      | 0,1     | 0               | 0,2     | 0,1               | 0,2     | 0,4      | 0,05    | 0,2      | 0,55    | 0,05     | 0,55    |
|                         | moyen   | moyen            | VI      | 0,1      | 0,15    | 0               | 0,35    | 0,1               | 0,3     | —        | —       | —        | —       | 0,05     | 0,7     |
|                         |         |                  | VP      | 0,1      | 0,15    | 0               | 0,3     | 0,1               | 0,3     | 0,45     | 0       | 0,25     | 0,6     | 0        | 0,75    |
|                         |         | fort             | VI      | 0,1      | 0,1     | 0               | 0,3     | 0,1               | 0,25    | —        | —       | —        | —       | 0,15     | 0,6     |
|                         |         |                  | VP      | 0,1      | 0,1     | 0               | 0,25    | 0,1               | 0,25    | 0,5      | 0,05    | 0,2      | 0,55    | 0,1      | 0,6     |
| H3                      | faible  | moyen            | VI      | 0,1      | 0       | 0               | 0,2     | 0,1               | 0,15    | —        | —       | —        | —       | 0,1      | 0,5     |
|                         |         |                  | VP      | 0        | 0,08    | 0               | 0,15    | 0                 | 0,15    | 0,3      | 0       | 0,3      | 0,45    | 0        | 0,55    |
|                         |         | fort             | VI      | 0        | 0,05    | 0               | 0,15    | 0,1               | 0,1     | —        | —       | —        | —       | 0,2      | 0,35    |
|                         |         |                  | VP      | 0,1      | 0       | 0               | 0,1     | 0,1               | 0,05    | 0,25     | 0       | 0,3      | 0,4     | 0,1      | 0,4     |
|                         | moyen   | moyen            | VI      | 0,1      | 0,05    | 0               | 0,25    | 0,1               | 0,15    | —        | —       | —        | —       | 0,15     | 0,55    |
|                         |         |                  | VP      | 0,1      | 0,05    | 0               | 0,2     | 0,1               | 0,15    | 0,3      | -0,05   | 0,3      | 0,4     | 0,15     | 0,55    |
|                         |         | fort             | VI      | 0,1      | 0,06    | 0               | 0,2     | 0,1               | 0,1     | —        | —       | —        | —       | 0,3      | 0,35    |
|                         |         |                  | VP      | 0,1      | 0,05    | 0               | 0,15    | 0,1               | 0,1     | 0,3      | -0,05   | 0,3      | 0,35    | 0,25     | 0,4     |

Figure 19 : Coefficient de Calcul du Coefficient d'Intermittence

\*Le coefficient **Gg** est fonction de l'inertie, le taux de vitrage, de la ventilation et le site climatique du bâtiment.

En général **Gg** est pris égal à : **1.31**

On trouve ainsi un coefficient d'intermittence J pour notre cas :

$$J = 0.1 * 1.31 + 0.3 = 0.95$$

Soit :

$$J = 95\%$$

b) Le DJU :

| 2007 | 2008 | 2009 | Moyenne     |
|------|------|------|-------------|
| 2104 | 2159 | 2333 | <b>2199</b> |

c) Le DR et DP :

Comme déjà vu sur le rapport du bilan de local bureau le **DR** a pour valeur **65.7 W/K**.

$$DR = 65.7 W/K$$

Le DP :

On a :

$$DP = U_{bat} \times S_{dép} + R \times V_h$$

**Tel que :**

**Ubat :** représente la déperdition thermique totale moyenne d'un bâtiment (toutes parois)(W/m<sup>2</sup>.K), pour une précision optimale ce coefficient se calcule pour chaque paroi ,mura,bâti ..etc

**Valeur empirique de Ubat :**

- 0,3 : maison avec une isolation exceptionnelle.
- 0,4 : excellente isolation sans ponts thermique.
- 0.75 : pour les maisons à isolation conventionnelle "RT2005" et réalisées entre 2007 et 2012
- 0.8 : pour les maisons à isolation conventionnelle "RT2000" et réalisées entre 2001 et 2006
- 0.95 : pour les maisons construites entre 1990 et 2000
- 1.15 : pour les maisons construites entre 1983 et 1989
- 1.4 : pour les maisons construites entre 1974 et 1982
- 1.8 : maison non isolée (murs, combles) et à menuiseries simples vitrage.

**Sdép :** somme des surfaces des parois [m<sup>2</sup>]

**Vh :** volume habitable de la zone traitée [m<sup>3</sup>]

**R :** coefficient fonction du type de ventilation

VMC autoréglable : R = 0,2

VMC hygroréglable : R = 0,14

On prend :

**Ubat = 1**

**R= 0.14**

**Vh = 852 m3**

**Sdép = 1582 m2**

On trouve ainsi :

$$DP = 1702 [W/K]$$

Ainsi :

$$Bch = 24 * 0.95 * 2199 * (1702 + 67) / 1000$$

$$Bch = 88692.35 \text{ kWh/an}$$

D'où le Ratio :

$$157 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$$

### 3.1.4.2 Ratio de consommation d'ECS :

Nous reprenons l'Etude menée par la Mairie de **Chonas l'Ambalan**, afin d'évaluer la consommation annuelle d'Eau Chaude Sanitaire .La production d'ECS est assurée par un ballon électrique qui est situé dans la cuisine des bâtiments périscolaires. Cette eau n'est utilisée que pour la cuisine. Un petit ballon d'eau chaude électrique alimente l'école maternelle.

Le tableau suivant donne les besoins en Eau chaude Sanitaire, fourni par une compagne d'étude par EDF, l'ECS produite est à 60° :

| École |                       |                     |         |
|-------|-----------------------|---------------------|---------|
|       | - chambre d'internat  | par lit et par jour | 30 à 40 |
|       | - repas, hors lave-v. | par repas           | 3 à 5   |
|       | - repas, avec lave-v. | par repas           | 9 à 10  |

Figure 20 : Consommation d'Eau Chaude Sanitaire par litres par jour

On retient donc pour une Ecole usuelle, un ratio de **5 litres d'ECS à 60°** par Etudiant par jour, et que le nombre d'étudiant de l'Ecole est 150 élèves

Rappelons que la production d'un mètre cube d'ECS, consomme à peu près 50kwh

Donc par un simple calcul on retrouve la quantité annuelle d'énergie consommée :

$$50 * (5 * 0.001) * 365 * 150 = 13.68 \text{ MWh/ an}$$

Ce qui correspond à un ratio de :

$$13680 / 150 = 91.2 \text{ kWh/Etudiant/an}$$

### 3.1.4.3 Bilan des consommations des Ecoles du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA :

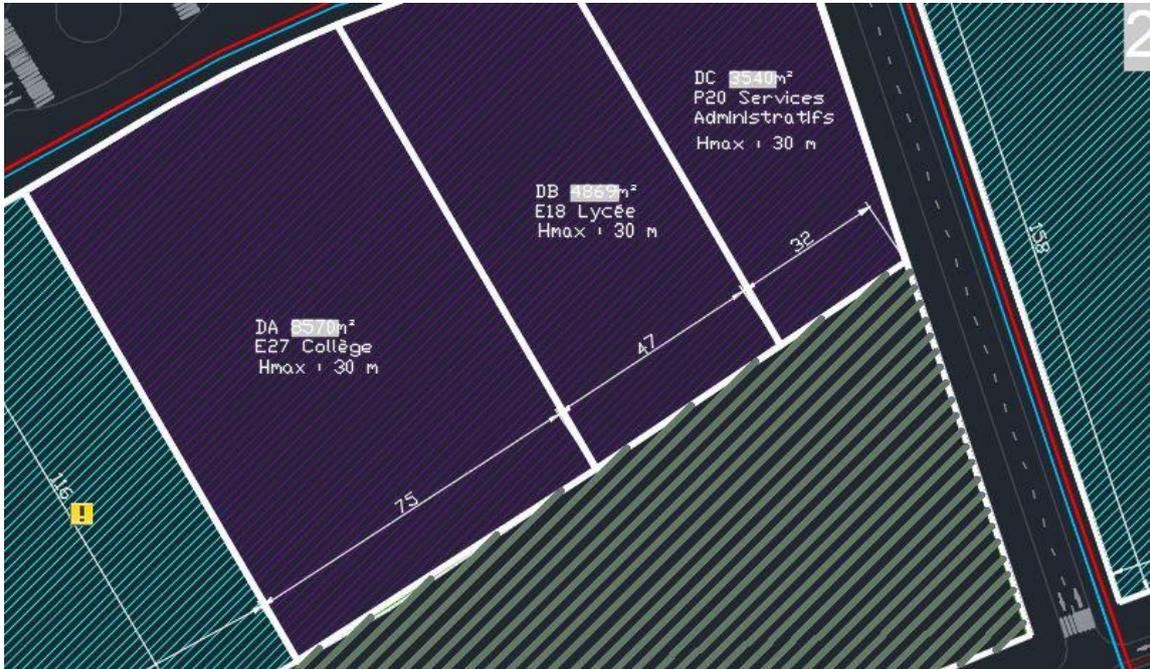


Figure 21 : Extrait du Plan du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA (Ecoles)

Les Ecoles du quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA, ne sont pas encore détaillées, de ce fait on aura donc à estimer le nombre d'étudiants par m<sup>2</sup>, par Ecole, en se référant au cas d'Etude de l'Ecole de **Chonas lamballan**, on rappelle qu'on a en gros un nombre d'élève égal à : **150**, pour une surface de **662 m<sup>2</sup>**, on admet donc un ratio de **15 élève par 100 m<sup>2</sup>**.

Nous allons donc nous servir du Tableau de contenance précité pour évaluer le bilan énergétique des écoles du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA.

|           |              | Ratio Chauffage kWh/m <sup>2</sup> | 157     |     |                     |                  |                   |             |
|-----------|--------------|------------------------------------|---------|-----|---------------------|------------------|-------------------|-------------|
|           |              | Ratio ECS kWh/usager               | 91,2    |     |                     |                  |                   |             |
|           |              | Ratio d'usagers                    | 20%     |     |                     |                  |                   |             |
| Programme | Foncier (ha) | Foncier constructible              | ZONE PA | Cos | Shon m <sup>2</sup> | Chauffage GWh/an | Nombres d'usagers | ECS GWh/an  |
| Collège   | 8 570        | 8 570                              | ISS     | 1,2 | 10 284              | 1,614588         | 2056,8            | 0,18758016  |
| Lycée     | 4 869        | 4 869                              | ISS     | 1,2 | 5 843               | 0,9173196        | 1168,56           | 0,106572672 |
|           |              |                                    |         |     | Total Chauffage     | 2,5319076        |                   |             |
|           |              |                                    |         |     | Total ECS           |                  |                   | 0,294152832 |
|           |              |                                    |         |     | ECS+Chauffage       | 2,826060432      |                   |             |

On retient en fin de compte une consommation globale de **2.83 GWh/an**

Dont : Chauffage : **2.53 GWh/an**

ECS : **0.3 GWh/an**

### 3.1.5 Ratio de consommation d'Énergie pour les Logements collectifs :

#### 3.1.5.1 Ratio de consommation d'Énergie pour le Chauffage :

Le calcul d'un bilan thermique permet de connaître avec précision la quantité d'énergie qu'il faudra pour chauffer et refroidir un local, la justesse de ce calcul est primordiale non seulement pour le coût de l'installation, mais aussi pour son exploitation.

Les éléments entrant en compte dans ce calcul sont nombreux, il faudra connaître la nature, l'exposition, la surface des murs, des parois vitrées, des plafonds, des sols, ces éléments étant multipliés par des coefficients variables selon l'altitude, le rayonnement solaire, la localisation géographique.

D'autres éléments doivent être pris en compte comme le renouvellement d'air naturel ou

mécanique, les divers ponts thermiques ainsi que les apports qui pondéreront le calcul par exemple l'éclairage, l'occupation humaine, les appareils ménagers...etc.

Ici nous nous arrêterons à deux méthodes de calcul simplifiées qui permettent de faire une évaluation de ses déperditions.

En effet, la consommation d'énergie dans les logements est soumise à une réglementation dite **RT Réglementation Thermique**, ou encore **RTBM** pour le cas des **bâtiments Marocains**. Les ratios de consommation fixés par la réglementation ont été calculés à l'aide des méthodes précitées.

Dans le cadre de notre étude, on s'est basé sur les bases de calculs de la Réglementation thermique de la France :

**Les principaux paramètres qui régissent la consommation de chauffage sont :**

- **Ubat** : Représente la déperdition thermique totale moyenne d'un bâtiment (toutes parois) (W/m<sup>2</sup>.K), pour une précision optimale ce coefficient se calcule pour chaque paroi, mura, bâti ...etc.

**Pour le cas des logements collectifs RT2000 par exemple :**

$$U_{bat} = 0.8 \text{ (W/m}^2\text{.K)}$$

- **Sdép** : Somme des surfaces des parois déperditives [m<sup>2</sup>] , le calcul de cette surface dépend principalement des caractéristiques du bâtiments, à savoir le type de vitrage(double, simple, l'épaisseur,...) , aussi bien que du type de planchers bas et haut , des matériaux de construction de maçonnerie ou travaux de menuiserie...
- **Tc** : Température consigne (en général prise égale à 20 °C)
- **Text** : Température extérieure minimale



Dans le cadre de notre étude, on s'est basé sur les bases de calculs de la Réglementation thermique de la France :

La France compte 23 810 161 résidences principales pour une population totale de 57226208 personnes. L'ensemble de ces logements se répartissent de la façon suivante :

- **13 308 404** maisons individuelles soit 56% dont:
  - 62% datent d'avant 1975
  - 89% datent d'avant 1990
- **9 845 182** logements en immeuble collectif soit 41% dont:
  - 71% datent d'avant 1975
  - 90% datent d'avant 1990
- **132 913** logements-foyer pour personnes âgées soit 0.56%
- **39 112** chambres d'hôtel soit 0.16%

Le secteur résidentiel consomme 63.8 millions de tep (Tonne équivalent pétrole) tel que 1 tep = 11.63 MWh. Ces consommations sont réparties de la façon suivante :

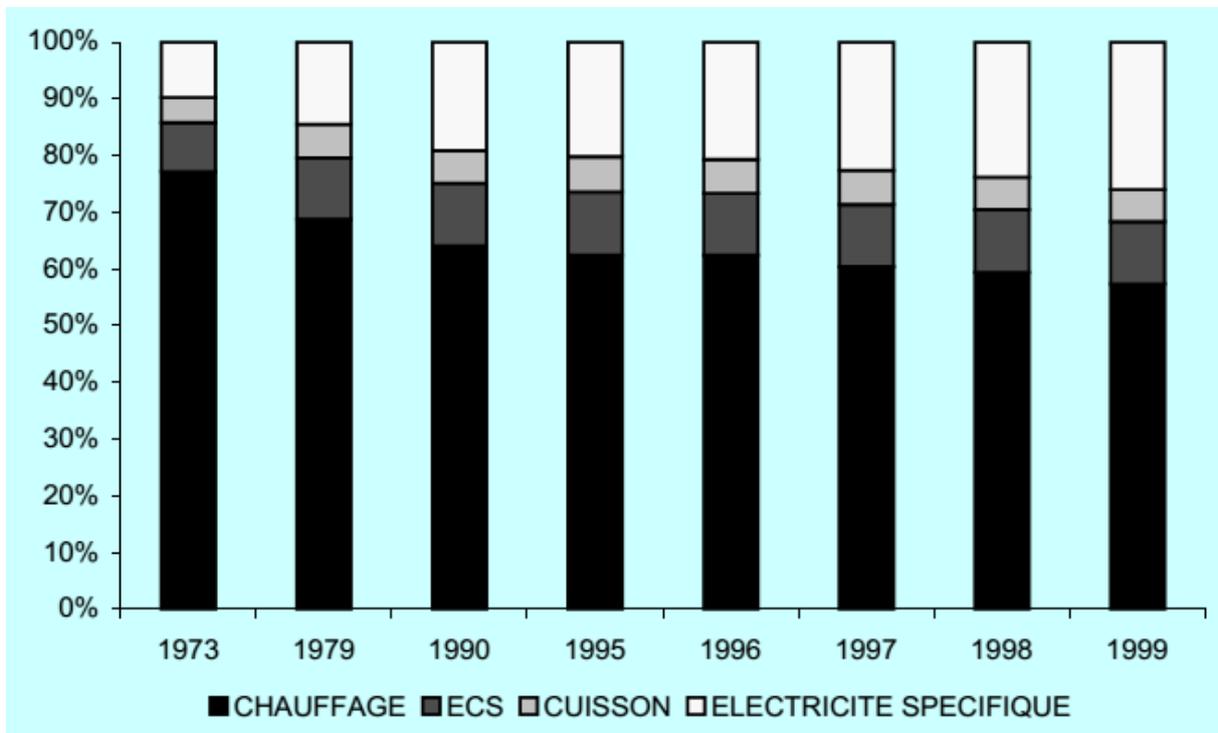


Figure 22 : Répartition des consommations du secteur résidentiel

Soit actuellement:

- 57% pour le chauffage
- 11% pour l' 'ECS
- 5.6% pour la cuisson
- 26% pour l' 'électricité spécifique

Le tableau suivant présente un extrait fourni par l'ADEME contenant les ratios de consommation des immeubles collectifs selon plusieurs paramètres tels que la surface, la date de construction, la zone climatique, le type de consommation :

|  |                                   | Consommation d'électricité |           |                    |              | Consommation combustible |           |                    |             | Consommation totale  |           |                    |              |
|--|-----------------------------------|----------------------------|-----------|--------------------|--------------|--------------------------|-----------|--------------------|-------------|----------------------|-----------|--------------------|--------------|
|  |                                   | kWh / m <sup>2</sup>       |           | F / m <sup>2</sup> |              | kWh / m <sup>2</sup>     |           | F / m <sup>2</sup> |             | kWh / m <sup>2</sup> |           | F / m <sup>2</sup> |              |
|  |                                   | Médiane                    | Min - Max | Médiane            | Min - Max    | Médiane                  | Min - Max | Médiane            | Min - Max   | Médiane              | Min - Max | Médiane            | Min - Max    |
| <b>IC 1</b><br>Surface : 50 à 80 m <sup>2</sup><br>Année de construction < 1974<br>Améliorations apportées : non<br>Chauffage : CCI gaz<br>ECS : gaz | Zone climatique H1                | 113                        | 60 - 340  | 80.5               | 50.3 - 209.9 | 15                       | 0 - 51    | 6.3                | 1.2 - 18.6  | 128                  | 60 - 391  | 86.8               | 51.5 - 228.5 |
|  | Zone climatique H3                | 86                         | 34 - 166  | 66.7               | 37.1 - 112.3 | 15                       | 0 - 33    | 6.5                | 1.4 - 12.6  | 101                  | 34 - 199  | 73.2               | 38.5 - 124.9 |
| <b>IC 2</b><br>Surface : < 39 m <sup>2</sup><br>Zone climatique : H2<br>Améliorations apportées : non<br>Chauffage : CCI gaz<br>ECS : gaz            | Année de construction < 1974      | 28                         | 0 - 68    | 25.8               | 7 - 52.6     | 177                      | 52 - 304  | 49.7               | 27.2 - 72.6 | 205                  | 52 - 372  | 75.5               | 34.3 - 125.2 |
|  | Année de construction : 1989-2001 | 30                         | 9.1 - 68  | 27                 | 12.9 - 52.4  | 169                      | 52 - 436  | 47.9               | 26.8 - 96   | 199                  | 61 - 504  | 74.9               | 39.7 - 148.4 |
| <b>IC 3</b><br>Surface : > 100 m <sup>2</sup><br>Zone climatique : H2<br>Améliorations apportées : non<br>Chauffage : CCI gaz<br>ECS : gaz           | Année de construction < 1974      | 25                         | 11.1 - 45 | 21                 | 11.6 - 34.4  | 120                      | 63 - 167  | 29.1               | 18.8 - 37.5 | 145                  | 74 - 212  | 50.1               | 30.5 - 72    |
|  | Année de construction : 1989-2001 | 28                         | 13 - 48   | 23.1               | 13 - 36.5    | 118                      | 50 - 210  | 28.8               | 16.5 - 45.3 | 146                  | 63 - 258  | 51.9               | 29.6 - 81.8  |

Figure 23 : Ratios de consommation des immeubles collectifs

C'est ainsi, qu'on a pu recueillir les ratios suivants :

- Résidentiel social : **140 kWh/m<sup>2</sup>/an**
- Résidentiel privé individuel : **193 kWh/m<sup>2</sup>/an**
- Résidentiel privé collectif : **134 kWh/m<sup>2</sup>/an**
- Moyenne : **155 kWh/m<sup>2</sup>/an**

### 3.1.5.2 Ratio de consommation d'ECS :

Cette étude présente différents indicateurs, établis par ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise d'Energie) à partir de plus de 400 suivis instrumentés et 14 250 relevés annuels de compteurs, permettant d'estimer les besoins d'ECS à l'échelle d'une maison ou d'un appartement :

- Des valeurs de besoins moyens journaliers par personne, par taille de ménage et par appartement,
- Des indications sur la part d'ECS dans le besoin total d'eau du logement,
- Des monotonies montrant la variation des besoins journaliers au cours d'une année,
- Des exemples de profils journaliers, hebdomadaires et mensuels.

Ces valeurs sont destinées au dimensionnement des systèmes de production mais aussi à la prévision et l'analyse des consommations ou bien encore à des applications de R&D. Elles ont été établies à partir de mesures réalisées au niveau de la production individuelle d'ECS ou à l'entrée de l'appartement (mesures de volumes et/ou d'énergies). Elles incluent donc les pertes de distribution individuelle jusqu'aux points de puisage. Les pertes de distribution prises en compte sont variables, selon les longueurs, les diamètres et les températures de distribution rencontrées.

Les **besoins d'ECS** d'un même logement peuvent différer fortement d'un jour à l'autre : les temps de présence, les activités et le nombre d'occupants étant très variables. Au maximum, ils peuvent atteindre jusqu'à 5 fois, voire plus, les besoins journaliers moyens du type de logements considéré.

Les besoins journaliers moyens **par personne** sur une année sont en moyenne de **56 ± 23 litres d'ECS à 40°C**.

Sachant qu'un mètre cube produit d'ECS à 40°C consomme à peu près **32.25 kWh**

Donc on obtient un ratio de :

$$0.056 * 365 * 32.25 = 659.19 \text{ kWh/pers/an}$$

Soit: **660 kWh/pers/an**

### 3.1.5.3 Bilan de consommation des logements du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA:

Pour cette fin, on va se servir du Tableau de contenance en utilisant les Surfaces hors œuvre nette (Shon) pour l'estimation de la consommation dû au chauffage. D'autre part, le calcul de la consommation d'Eau Chaude Sanitaire (ECS), nous admettons une densité d'habitants de 33%. Ainsi on donne les résultats suivant :

| Programme     | Foncier (ha) | Foncier constructible | ZONE PA | Cos  | Shon m2         | Chauffage GWh/an | Nombre d'Usagers | ECS GWh/an |
|---------------|--------------|-----------------------|---------|------|-----------------|------------------|------------------|------------|
| Chauffage     |              |                       |         |      |                 | 155              |                  |            |
| ECS           |              |                       |         |      |                 | 660              |                  |            |
| Ratio Usagers |              |                       |         |      |                 | 3%               |                  |            |
| logement      | 4 142        | 4 142                 | AGs8S16 | 3,6  | 14 911          | 2,311236         | 124,26           | 0,0820116  |
| logement      | 4 845        | 4 845                 | AGs8S16 | 3,6  | 17 442          | 2,70351          | 145,35           | 0,095931   |
| logement      | 5 142        | 5 142                 | AGs8S16 | 3,6  | 18 511          | 2,869236         | 154,26           | 0,1018116  |
| logement      | 5 618        | 5 618                 | AGs8S16 | 3,6  | 20 225          | 3,134844         | 168,54           | 0,1112364  |
| logement      | 3 729        | 3 729                 | AGs8S16 | 3,6  | 13 424          | 2,080782         | 111,87           | 0,0738342  |
| logement      | 1 912        | 1 912                 | AGs8S16 | 3,6  | 6 883           | 1,066896         | 57,36            | 0,0378576  |
| logement      | 2 288        | 2 288                 | AGs8S16 | 3,6  | 8 237           | 1,276704         | 68,64            | 0,0453024  |
| logement      | 2 951        | 2 951                 | AGs8S16 | 3,6  | 10 624          | 1,646658         | 88,53            | 0,0584298  |
| logement      | 2 779        | 2 779                 | AC      | 19,3 | 53 635          | 8,3133785        | 83,37            | 0,0550242  |
| Logement      | 4 378        | 4 378                 | AGs8S16 | 3,6  | 15 761          | 2,442924         | 131,34           | 0,0866844  |
| Logement      | 3 561        | 3 561                 | AGs8S16 | 3,6  | 12 820          | 1,987038         | 106,83           | 0,0705078  |
| Logement      | 4 000        | 4 000                 | AGs8S16 | 3,6  | 14 400          | 2,232            | 120              | 0,0792     |
| Logement      | 3 987        | 3 987                 | AGs8S16 | 3,6  | 14 353          | 2,224746         | 119,61           | 0,0789426  |
| Logement      | 2 439        | 2 439                 | AGs8S16 | 3,6  | 8 780           | 1,360962         | 73,17            | 0,0482922  |
| Logement      | 4 686        | 4 686                 | AGs8S16 | 3,6  | 16 870          | 2,614788         | 140,58           | 0,0927828  |
| Logement      | 3 433        | 3 433                 | AGs8S16 | 3,6  | 12 359          | 1,915614         | 102,99           | 0,0679734  |
| Logement      | 3 551        | 3 551                 | AGs8S16 | 3,6  | 12 784          | 1,981458         | 106,53           | 0,0703098  |
|               |              |                       |         |      | Total Chauffage | 42,1627745       |                  |            |
|               |              |                       |         |      | Total ECS       |                  |                  | 1,2561318  |
|               |              |                       |         |      | ECS+Chauffage   |                  | 43,4189063       |            |

On retient donc une consommation globale de l'ordre de : **56 GWh/an**

Dont : **Chauffage : 42.16 GWh /an**

**ECS : 13.81 GWh/an**

### 3.1.6 Ratio de consommation d'Énergie pour les Activités (Hôtels, Service Public...) :

#### 3.1.6.1 Ratio de consommation d'Énergie pour le Chauffage+ECS :

##### ➤ Hôtels :

Pour les Hôtels, on s'est basé sur le cas d'une étude sur la gestion de l'énergie dans l'hôtellerie en France.

En 1993, dans le cadre du programme d'incitation **RAVEL**, **22 hôtels**, de taille et de type différents, ont été étudiés, dans l'**Oberland bernois** essentiellement, mais également dans la partie campagnarde du Mittelland et dans les villes. Les analyses ont été effectuées par 11 spécialistes en énergie venant de différents bureaux de planification énergétique.

Les 22 hôtels analysés comprenant **2133 lits** consommaient annuellement une quantité d'énergie correspondant à **1'820 tonnes d'équivalents mazout**, dont deux tiers de carburants d'origine fossile (mazout, gaz et chauffage à distance) et un tiers d'électricité.

Le graphique qui suit montre la répartition de la consommation électrique de trois hôtels différents :

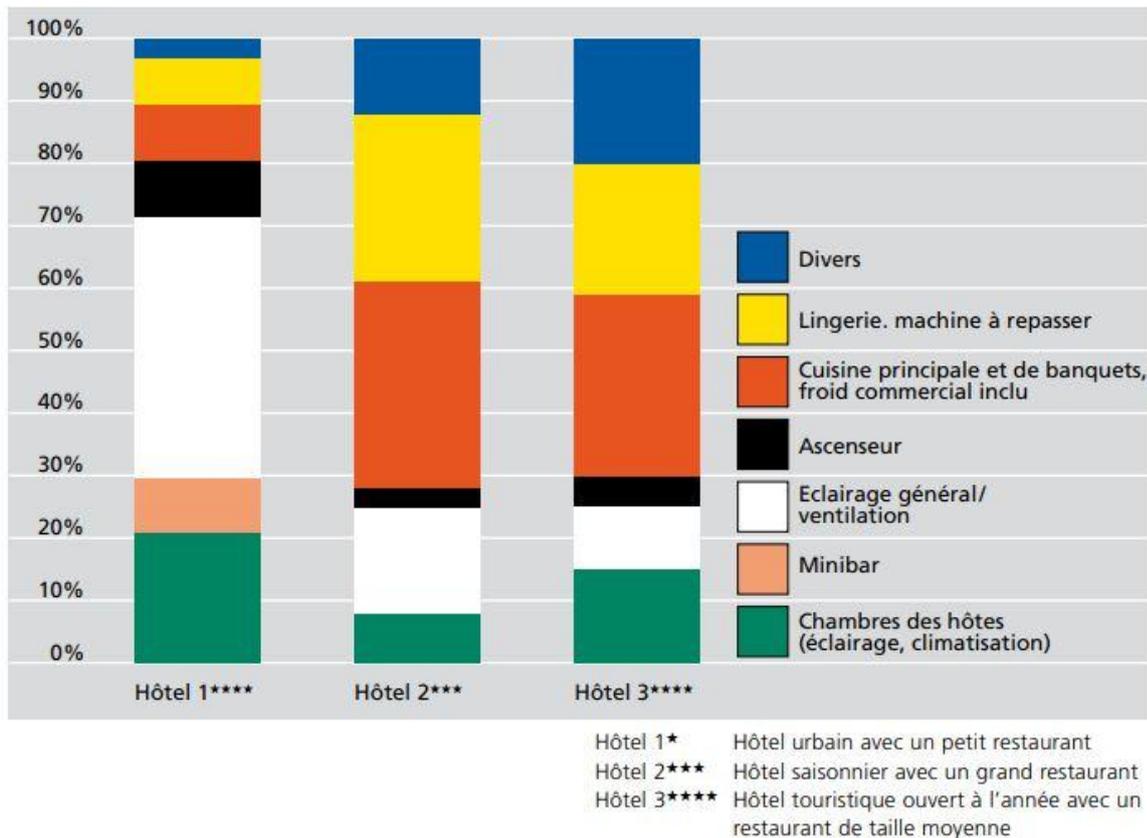


Figure 24: Répartition de la consommation électrique

➤ **Coefficient de dépense d'énergie :**

Le coefficient de dépense d'énergie définit la valeur de l'énergie globalement consommée dans un établissement pendant une année par rapport à la **surface de référence énergétique SRE** du bâtiment. Elle peut être indiquée dans les unités suivantes: MJ/m<sup>2</sup>a ou kWh/m<sup>2</sup>a (3.6 MJ = 1 kWh; 1 litre de mazout = 0,9 m<sup>3</sup> de gaz PCS = 11,3 kWh).

Dans la **norme SIA 380/1 Energie thermique dans les bâtiments, 2009**, l'indice de dépense d'énergie (chaleur) EF en MJ/m<sup>2</sup> contient la somme du **besoin de chaleur pour le chauffage Q<sub>h</sub>** et du **besoin de chaleur pour l'eau chaude sanitaire Q<sub>ww</sub>**, divisée par la fraction utile de la source d'énergie

$$[E_w = (Q_h + Q_{ww})/\eta_{hww}].$$

Ces indices servent à présenter **l'état «technique» du bâtiment** et des installations; ils sont très utiles afin d'établir une comparaison avec des valeurs mesurées. La **norme fixe** pour Q<sub>h</sub> des valeurs limites et pour Q<sub>ww</sub> des valeurs standard. Le calcul de ces indices sera plus détaillé en annexe cf.page On donne ainsi le tableau suivant des ratios de consommation de chaleur (Chauffage+ECS), et Electricité :

| Catégorie de bâtiment Bâtiments neufs    | Chaleur <sup>2)</sup> |                    | Électricité <sup>2)</sup> |                    |
|--|-----------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|
|  | MJ/m <sup>2</sup>     | kWh/m <sup>2</sup> | MJ/m <sup>2</sup>         | kWh/m <sup>2</sup> |
| Calculé avec valeurs limites             |                       |                    |                           |                    |
| Hôtel avec petit restaurant (part 10%)   | 378                   | 105                | 153                       | 42                 |
| Hôtel avec grand restaurant (part 40%)   | 491                   | 136                | 244                       | 68                 |
| Restaurant cuisine incluse <sup>1)</sup> | 715                   | 199                | 777                       | 216                |
| Piscine couverte (intégrée à l'hôtel)    | 739                   | 205                | 200                       | 56                 |
| Piscine couverte (ajoutée à l'hôtel)     | 1053                  | 293                | 270                       | 75                 |

Figure 25 : Ratio de Chauffage et d'Eau Chaude Sanitaire

On retient donc un ratio pour les deux besoins (ECS+Chauffage) : **200 kWh/m<sup>2</sup>**

➤ **Services Publics : Mairie**

Pour l'évaluation des besoins énergétiques des services publics, on se réfère du cas d'un Diagnostic énergétique de **la Mairie de Chonas lambellan**.

L'objectif de cette étude menée par la Mairie, est la détermination des gisements potentiels d'économies d'énergies et l'évaluation d'un plan d'action pour l'amélioration énergétique des bâtiments.

Le maître d'ouvrage pourra décider, en parfaite connaissance, des investissements qu'il souhaite entreprendre comme par exemple l'amélioration de l'isolation thermique du bâtiment, l'optimisation des systèmes thermiques etc...



Figure 26: Mairie ce Chonas l'Amballan

**✚ Pour le Chauffage :**

Pour l'étude énergétique, on a le zonage suivant :

- Surface utile : **568 m<sup>2</sup>**
- Volume chauffé : **1366 m<sup>3</sup>**
- Nombre de niveau : **2**

| Zone | Libellé                     | Surface [m <sup>2</sup> ] | Volume [m <sup>3</sup> ] | Hauteur sous plafond [m] |
|------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1    | Mairie rez-de-chaussée      | 190                       | 437                      | 2.3                      |
| 2    | Mairie étage                | 188                       | 470                      | 2.5                      |
| 3    | Dépendances rez-de-chaussée | 83.63                     | 200.7                    | 2.3                      |
| 4    | Dépendances étage           | 103                       | 247.2                    | 2.5                      |
| 5    | Véranda                     | 3.86                      | 10.8                     | 2.8                      |

Figure 27 : Détails du Zonage de la Mairie

Les déperditions thermiques du bâtiment ci-dessous sont calculées selon les normes NF EN 12831 et NP P 52-612/CN :

Pour ce bâtiment les pertes se répartissent de la manière suivante :

| Total des Pertes |                 |                  |                   |
|------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| Zone             | Perte           | Deperditions     | G                 |
|                  | W/K             | W                | W/Km3             |
| 1                | 187,61          | 5440,55209       | 0,8323214         |
| 2                | 271,35          | 7869,07305       | 1,10754019        |
| 3                | 292,81          | 7905,9463        | 1,45887055        |
| 4                | 446,17          | 12938,9794       | 1,80490171        |
| <b>Total</b>     | <b>1 197,94</b> | <b>34 154,55</b> | <b>1,28932444</b> |

Figure 28: Total des Déperditions et pertes du Bâtiment de la Mairie

Après avoir déterminé les pertes, les consommations de chauffage sont calculées selon la méthode des **DJU** en tenant compte de l'intermittence et des apports gratuits. **L'intermittence** prend notamment en compte le **taux d'occupation**.

**DJU** : Degrés jour unifiés

| 2007 | 2008 | 2009 | Moyenne |
|------|------|------|---------|
| 2104 | 2159 | 2333 | 2199    |

Figure 29 : Les Degrés Jour Unifiés de la Région de Chonas L'Amballan

Coefficient d'**intermittence** prenant en compte les réductions de consigne :

| Batiments | Coefficient d'intermittence moyen |
|-----------|-----------------------------------|
| Mairie    | 77.73%                            |

Figure 30 : Coefficient de la Mairie

**Rendement** de l'appareil de chauffage :

| Rendements |            |            |              |          |                  |
|------------|------------|------------|--------------|----------|------------------|
| Bâtiment   | Génération | Régulation | Distribution | Émission | Rendement global |
| Marie      | 75.00%     | 95.00%     | 90.00%       | 95.00%   | 60.92%           |

Figure 31: Rendement des Appareils de Chauffage

En fin de compte, on reprend la même méthode de calcul des besoins de chauffage utilisée dans les autres types de Bâtiments on retrouve les consommations suivantes présentée sur le tableau ci-dessous :

| Résumé consommation de chauffage |               |                  |               |                            |
|----------------------------------|---------------|------------------|---------------|----------------------------|
|                                  | Besoins bruts | Apports          | Consommation  |                            |
|                                  | <i>kWh/an</i> | <i>kWh/an</i>    | <i>kWh/an</i> | <i>kWh/m<sup>2</sup>an</i> |
| <b>Total</b>                     | <b>48 010</b> | <b>36 466.55</b> | <b>52 315</b> | <b>135.36</b>              |

Figure 32 : Résumé des Consommations de Chauffage

On retient alors le Ratio de consommation d'énergie dû au chauffage : **136 kWh/m<sup>2</sup>/an**

#### Pour l'ECS :

Le ratio de consommation d'Eau Chaude Sanitaire sera pris égal à celui des Ecoles, étant donné que le besoin en Eau chaude Sanitaire n'est pas primordial dans ce type de bâtiment, on retient donc le ratio : **91.2 kWh/usager/an**

Le même ratio sera retenu pour les différents services publics, à savoir les mairies, collectivités, et communes, comme étant des établissements à faible consommations d'Eau Chaude Sanitaire.

### 3.1.6.2 Bilan des Consommation des services Publics du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA :



Figure 33 : plaquette Master de l'Eco-Cité

On se servira du tableau de contenance pour le calcul du bilan d'énergie consommée, et on admettra pour le calcul du besoin en Eau chaude sanitaire une densité de **15%** (15 personne par 100 m<sup>2</sup>).

| Chauffage Service Public     | 136          |                       |         |     |                        |                  |                   |                   |
|------------------------------|--------------|-----------------------|---------|-----|------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| ECS Service Public           | 91,2         |                       |         |     |                        |                  |                   |                   |
| Ratio usager service publics | 15%          |                       |         |     |                        |                  |                   |                   |
| Programme                    | Foncier (ha) | Foncier constructible | ZONE PA | Cos | Shon m2                | Chauffage GWh/an | Nbr d'Usagers     | ECS GWh/an        |
| service public               | 911          | 911                   | AGs8S16 | 1,2 | 1 093                  | 0,1486752        | 136,65            | 0,01246248        |
| centre social                | 697          | 697                   | AGs8S16 | 1,2 | 836                    | 0,1137504        | 104,55            | 0,00953496        |
| Centre socio culturel        | 3 785        | 3 785                 | AGs8S16 | 1,2 | 4 542                  | 0,617712         | 567,75            | 0,0517788         |
|                              |              |                       |         |     | <b>Total Chauffage</b> | <b>0,8801376</b> |                   | <b>0,07377624</b> |
|                              |              |                       |         |     | <b>Total ECS</b>       |                  |                   |                   |
|                              |              |                       |         |     | <b>ECS+ Chauffage</b>  |                  | <b>0,95391384</b> |                   |
| Ratio Hotel kWh/m2           |              | 200                   |         |     |                        |                  |                   |                   |
| Programme                    | Foncier (ha) | Foncier constructible | ZONE PA | Cos | Shon m2                | ECS+Chauffage    |                   |                   |
| Hôtel                        | 4 443        | 4 443                 | I5S     | 1,5 | 6 665                  | 0,8886           |                   |                   |
| Hôtel                        | 4 485        | 4 485                 | I5S     | 1,5 | 6 728                  | 0,897            |                   |                   |
| Hôtel                        | 17 051       | 17 051                | I5S     | 1,5 | 25 577                 | 3,4102           |                   |                   |
| Hôtel                        | 29 140       | 29 140                | I5S     | 1,5 | 43 710                 | 5,828            |                   |                   |
| Hôtel                        | 6 958        | 6 958                 | I5S     | 1,5 | 10 437                 | 1,3916           |                   |                   |
| Hôtel                        | 7 049        | 7 049                 | I5S     | 1,5 | 10 574                 | 1,4098           |                   |                   |
|                              |              |                       |         |     | <b>Total GWh/an</b>    | <b>13,8252</b>   |                   |                   |

On retient donc pour les **Hôtels : 13.82 GWh/an**

Pour les **Services Publics : 0.95 GWh/an**

Dont : Chauffage : **0.88 GWh/an**

ECS : **0.073 GWh/an**

Nous allons à présent donner dans, ce qui suit, une estimation de la consommation globale du Quartier SUD de l'Eco-Cité de ZENATA.

### 3.2 Besoins Global du Quartier :

L'estimation du besoin global du Quartier va nous permettre de dimensionner l'unité de production la plus appropriée à notre contexte, dotée d'une énergie primaire dont l'approvisionnement et la conception, sont réalisable sans entraves.

On rappelle que les consommations calculées ont été requises des études établies en France, dont le contexte climatologique est assez différent. De ce fait, les résultats peuvent sembler relativement plus grands que le besoin réel étant donné le climat du Maroc en saison de chauffe.

| Programme                | ECS GWh/an  | Chauffage GWh/an |
|--------------------------|-------------|------------------|
| Logement                 | 5,39        | 42,1627745       |
| <b>Total</b>             |             | <b>47,55</b>     |
| Pole Santé               | 0,06        | 34,503375        |
| <b>Total</b>             |             | <b>34,56</b>     |
| Pole Universitaire       | 1,20        | 12,56295         |
| <b>Total</b>             |             | <b>13,76</b>     |
| Services Publics         | 0,16        | 1,5507264        |
| <b>Total</b>             |             | <b>1,71</b>      |
| Ecoles                   | 0,49        | 4,2346668        |
| <b>Total</b>             |             | <b>4,73</b>      |
| Activité                 | 2,35        | 22,9633677       |
| <b>Total</b>             |             | <b>25,32</b>     |
| <b>Total Chauffage</b>   |             | <b>117,98</b>    |
| <b>Total ECS</b>         | <b>9,65</b> |                  |
| <b>Total du Quartier</b> |             | <b>127,63</b>    |

On retient donc un besoin global de l'ordre de :

**127,63 GWh/an**

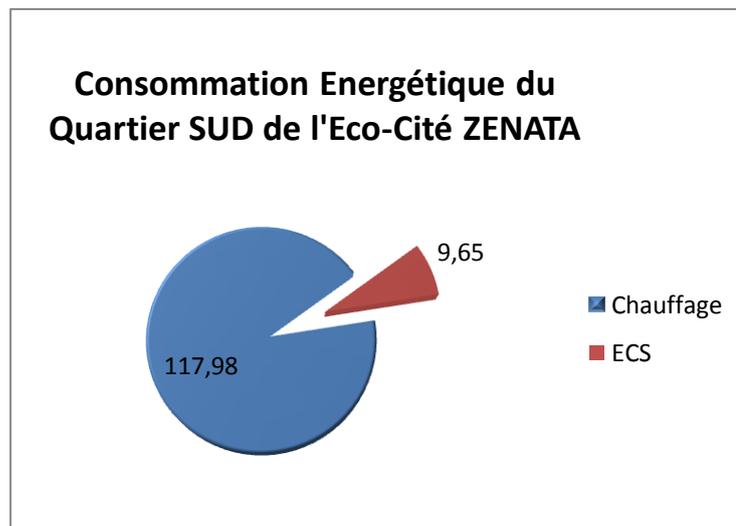


Figure 34: Parts de consommation du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA

## 4 Unité de Production d'Énergie et Réseau secondaire :

### 4.1 Production :

Une ou plusieurs chaufferies, ou « centrales de production », font appel à des sources d'énergies renouvelables et/ou de récupération et/ou fossiles pour alimenter le réseau en chaleur. Pour assurer notre besoin en Énergie, on a dû faire un bilan des filières de **production de Chaleur** existantes, le choix serait en fonction de plusieurs paramètres notamment la disponibilité des ressources (Énergie Primaire).

Dans ce cadre, on distingue deux types d'unités de Production : Filière d'Énergie Fossiles (Fuel, Gaz Domestique, Charbon...) et la Filière d'Énergie Renouvelables (Biomasse, Solaire, Géothermie...)

L'**unité de production de chaleur** peut être, par exemple, une usine d'incinération des ordures ménagères (**UIOM**), une chaufferie alimentée par un combustible (fioul, gaz, bois...), une centrale de géothermie profonde, etc.

Généralement un réseau de Chaleur comporte une unité principale qui fonctionne en continu et une unité d'appoint utilisée en renfort pendant les heures de pointe, ou en remplacement lorsque cela est nécessaire.

#### 4.1.1 La Biomasse :

##### a) Présentation générale :

**La BIOMASSE** : Le terme de biomasse énergie en écologie regroupe l'ensemble des **matières organiques** pouvant devenir des **sources d'énergie**. Ces matières organiques qui proviennent des plantes sont une forme de stockage de l'énergie qui nous vient du soleil. Cette énergie est captée par les plantes grâce à la synthèse chlorophyllienne.

Le bois est une énergie renouvelable appelée également « **bioénergie** » en raison de son caractère naturel et écologique. Il s'agit d'une « biomasse » qui repousse à l'infini.

De plus, le bois est considéré comme une énergie non polluante en CO<sub>2</sub>, puisque la pousse de tout nouvel arbre résorbe le gaz carbonique dégagé par la combustion d'un arbre coupé, car ses fibres fixent le carbone lors de sa croissance.

**La biomasse** propose une alternative intéressante aux énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz) à condition d'utiliser des appareils offrant un rendement élevé, évitant ainsi une pollution de l'air. **La biomasse** permet le chauffage, la production d'électricité, les transports (grâce aux biocarburants) et la conception de produits « bioplastique »

**b) Description du système de fonctionnement des Chaufferie à Biomasse :**

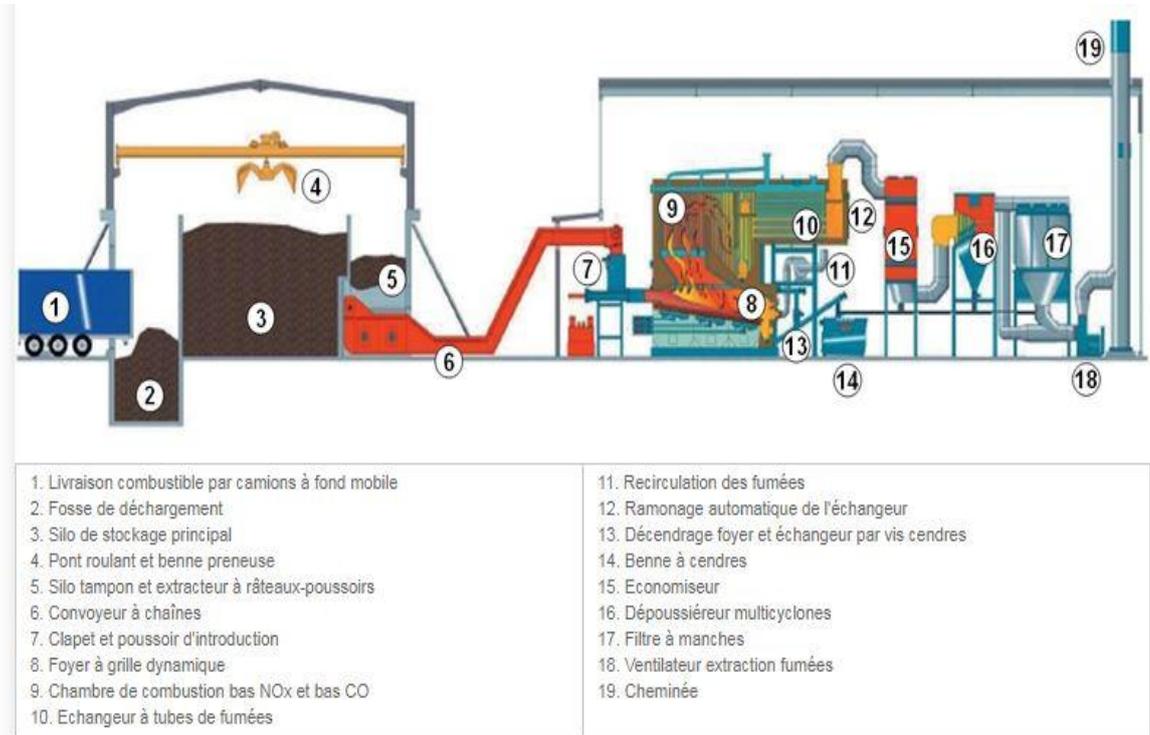


Figure 35 : Description du système de Fonctionnement d'une Chaufferie Biomasse

- La biomasse arrive par camion, à fond mouvant (d'environ  $90 \text{ m}^3$ ), depuis la plateforme de préparation, et est déversée au niveau de 2 fosses de réception de  $140 \text{ m}^3$  chacune.
- Ce bois est ensuite placé dans un **silo de stockage de  $2335 \text{ m}^3$**  à l'aide d'un grappin d'une capacité de  $4 \text{ m}^3$ . Le grappin est fixé sur un pont roulant (type bipoutre).
- Le bois est ensuite repris et stocké dans un silo tampon d'environ  $350 \text{ m}^3$ .
- **Deux loges d'échelles mobiles** disposées en partie basse poussent la biomasse vers le **convoyeur à chaînes** qui achemine ce bois jusque dans le foyer de la chaudière par l'intermédiaire d'un **poussoir d'introduction**.
- Ce bois s'enflamme par rayonnement de la **voûte réfractaire**. La combustion (entre  $800$  et  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se fait sur une **grille dynamique**.
- Les fumées issues de la combustion sont dépoussiérées via un **filtre multi-cyclone** puis un **filtre à manches** permettant d'avoir le niveau optimum de filtration des fumées. L'installation dispose également d'un **économiseur** permettant de réduire la température des fumées et d'améliorer, de ce fait, le rendement de la chaudière biomasse.

- La chaleur est acheminée **via un réseau enterré** vers les bâtiments raccordés.
- Quand la combustion est terminée, les cendres sont récupérées et remontées par l'intermédiaire d'un racleur à l'extérieur dans des **bennes**.

**c) Dimensionnement :**

**⚡ Puissance de la chaufferie :**

Le choix de la puissance à installer en chaufferie pour assurer le chauffage du bâtiment et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) est fonction de :

- la puissance nécessaire aux seuls besoins en chauffage du bâtiment (**PCH**);
- la puissance maximale pour l'eau chaude sanitaire (**PECS**) ;

En général, la puissance installée en chaufferie est la plus grande des deux valeurs :

$$P_{chaufferie} = \text{Max} (\text{PECS} ; \text{PCH})$$

**⚡ Caractéristiques du bois (Biomasse) :**

L'alimentation en Bois est fonction de trois paramètres principaux qui sont la **Granulométrie**, l'**Humidité** et le **PCI** (Pouvoir Calorifique inférieur)

- Le **PCI** est l'énergie thermique libérée comprenant uniquement la chaleur sensible. Il correspond à la chaleur maximale disponible dans une chaudière classique où les gaz de combustion sont évacués sans être condensés. Exprimé en **kWh/kg**.

A ceci se rajoute d'autres paramètres pris en compte lors du dimensionnement du silo de stockage, on en cite le **coefficient d'empilement CE** :

Le coefficient d'empilement (CE) permet de déterminer le volume réel de bois (volume plein) contenu **dans ce volume composé d'air et de bois** .Le **CE** est toujours inférieur à 1, et varie en fonction de la section des bûches et de leur rectitude.

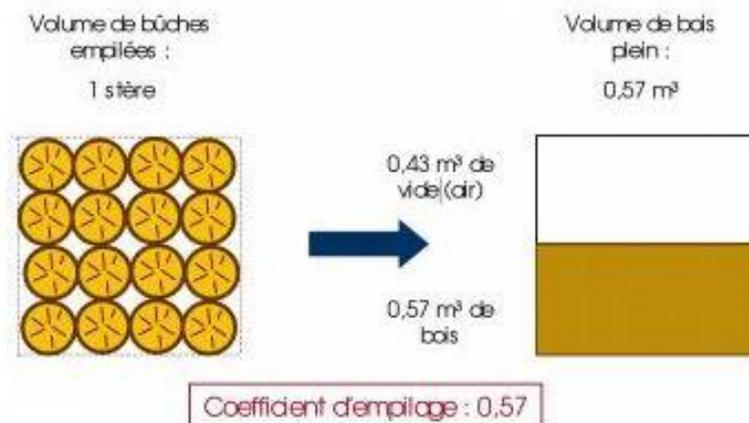


Figure 36: Description du Coefficient d'Empilement

Nous considérerons que les chaudières et leur réseau de chaleur ont un rendement de 0,85. Ainsi, la quantité d'énergie de la demande est divisée par ce rendement pour connaître la quantité de chaleur que doit réellement fournir la chaufferie.

Les ressources en bois énergie se caractérisent par leur pouvoir calorifique. Le pouvoir calorifique correspond à « la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète sous pression atmosphérique normale de 1,013 bars, de l'unité de quantité de ce combustible »

Il existe deux sortes de pouvoirs calorifiques : le **Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS)** et le **Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI)** qui s'expriment en kWh/t de bois. Afin d'obtenir les quantités de bois nécessaires pour répondre à la demande nous utiliserons le PCI. Le PCI du bois varie essentiellement selon son humidité et dans une moindre importance selon l'essence. Il serait peu pertinent de différencier chacune des essences mais nous pouvons les classer selon deux catégories: les feuillus et les résineux. Afin de laisser le choix entre une alimentation en feuillus et une alimentation en résineux, nous calculerons deux PCI. Ainsi, deux courbes seront utilisées pour calculer le PCI du bois : le PCI en fonction de l'humidité pour les feuillus et pour les résineux.

Le tableau ci-dessous présente les PCI en kJ/kg, ils sont convertis en kWh/t afin d'être utilisables pour la suite des calculs.

| % humidité     | 0     | 5     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 35    | 40    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| feuillus kJ/kg | 18246 | 17208 | 16170 | 15133 | 14095 | 13057 | 12020 | 10982 | 9944  |
| feuillus kWh/t | 5072  | 4784  | 4495  | 4207  | 3918  | 3630  | 3342  | 3053  | 2764  |
| résineux kJ/kg | 19186 | 18101 | 17017 | 15932 | 14847 | 13763 | 12678 | 11593 | 10509 |
| résineux kWh/t | 5334  | 5032  | 4731  | 4429  | 4127  | 3826  | 3524  | 3223  | 2922  |

| % humidité     | 45   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 85  |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| feuillus kJ/kg | 8907 | 7869 | 6831 | 5793 | 4756 | 3718 | 2680 | 1643 | 605 |
| feuillus kWh/t | 2476 | 2188 | 1899 | 1610 | 1322 | 1034 | 745  | 457  | 168 |
| résineux kJ/kg | 9424 | 8339 | 7254 | 6170 | 5085 | 4000 | 2916 | 1831 | 746 |
| résineux kWh/t | 2620 | 2318 | 2017 | 1715 | 1414 | 1112 | 811  | 509  | 207 |

Figure 37: Tableau des PCI de Bois en fonction de l'humidité

A partir de ces données, les équations de calcul des **PCI** en fonction de l'**humidité** ont pu être déterminées :

h : humidité du bois %

Equation de la courbe du PCI pour les feuillus : **PCI = - 57,696\*h + 5072,2**

Equation de la courbe du PCI pour les résineux : **PCI = - 60,309\*h + 5333,7**

Il faut donc fixer l'humidité du bois avec lequel on veut alimenter les centrales ainsi que son essence. Une fois le PCI déterminé, les quantités de bois nécessaires à l'alimentation de la chaudière pour répondre à la demande se calculent par l'opération suivante :

$$\text{Quantité de bois (t)} = \text{Quantité de chaleur (en kWh)} / \text{PCI (kWh/t)}$$

Ainsi, à partir des besoins auxquels doit répondre le réseau de chaleur, de l'humidité du bois voulu et de son essence, il est possible de déterminer la quantité de bois nécessaire pour répondre à la demande de chauffage.

#### Exemple :

Calculons la quantité d'énergie contenue dans **15 stères de chêne (CE : 0,57) à 25% HR.**

Volume de bois plein :  $15 \times 0,57 = 8,55 \text{ m}^3$

Masse de bois sec :  $8,55 \text{ m}^3 \times 670 \text{ kg/m}^3 = 5729 \text{ kg}$

Masse totale (bois + eau) :  $5729 / (1 - 0,25) = 7639 \text{ kg}$

**Contenu énergétique (PCI du bois à 25% HR = 3,7 kWh/kg) :**

$7639 \text{ kg} \times 3,7 = 28.264 \text{ kWh}$

**Les bûches** sont des combustibles extrêmement hétérogènes. Elles peuvent être d'essences variées, de bois frais ou de bois sec, de gabarits différents, aussi bien rectilignes que noueuses et irrégulières. **Leur PCI varie de 1.600 à 2.200 kWh/stère**, selon le type de bois et le coefficient d'empilement.

#### 🔧 Détails techniques de la chaufferie :

##### ▪ Le silo de stockage :

Situé à proximité immédiate de la chaufferie, le **silo** permet l'alimentation de la chaudière et assure une autonomie de plusieurs jours à plusieurs semaines. On distingue 4 types de silos : enterrés, en conteneurs métalliques, de plain-pied et en silo métallique cylindrique.

**Par exemple**, un volume de **200m<sup>3</sup>** permet une autonomie de 4 jours pour une chaufferie de **1,5 MW**. Un volume de 600 m<sup>3</sup> permet une autonomie de 3 jours pour une chaufferie de 5 MW.

##### ▪ L'alimentation automatique :

L'alimentation automatique comporte 3 étapes : désilage (extraction du combustible jusqu'au convoyeur), convoyage (par vis sans fin, par racleurs, par bande transporteuse ou pneumatique selon la gamme de puissance et le type de combustible) et l'introduction dans le foyer (par vis ou par poussoir).

##### ▪ Le générateur de chaleur :

C'est l'enceinte dans laquelle l'énergie contenue dans le combustible bois est libérée et transmise au fluide caloporteur. Il est généralement composé du foyer (début de flamme), de la chambre de combustion (développement de la flamme) et de l'échangeur de transfert de chaleur entre la flamme, les gaz chauds et le fluide caloporteur.

La combustion du bois est une réaction **d'oxydation exothermique** en 4 étapes :

- Séchage,
- Pyrolyse/gazéification,
- Oxydation des gaz,
- Combustion du résidu carbonneux.

Lors de son réchauffement dans le foyer (>300 degrés), le bois est d'abord séparé en hydrocarbures solides et gazeux (pyrolyse), sous l'action de l'air comburant primaire. A 500 degrés, 85% de la masse est libérée sous forme gazeuse (gazéification), avec production de CO et H. Ces gaz combustibles sont ensuite mélangés à l'air comburant secondaire en vue de leur oxydation. La combustion complète du bois se résume par la réaction : **bois + oxygène = fumées (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O) + chaleur.**

#### ▪ Cendres et traitement des fumées

La combustion de biomasse produit naturellement un mélange de gaz constitué de **CO<sub>2</sub>**, vapeur d'eau, particules fines, composés azotés (**NO<sub>x</sub>**), composés organiques volatiles (**COV**) ou hydrocarbures aromatiques polycycliques (**HAP**). Les dispositifs de traitement de fumées visent essentiellement à réduire les émissions de particules fines.

#### d) Calcul du besoin en Biomasse :

Dans cette optique, on se référera au cas de la **chaufferie Biomasse de Paris**, alimentant le réseau de chaleur urbain de Saint-Denis. Depuis 1957, Cofely Réseaux via sa filiale locale Société de Distribution de Chaleur de Saint-Denis (SDCSD) produit et achemine de l'énergie pour le chauffage et le réchauffement de l'eau chaude sanitaire de nombreux bâtiments de la Ville de Saint-Denis et de Plaine Commune.

Le réseau de chaleur de Saint-Denis a grandi et évolué au rythme des différentes mutations opérées par la Ville. Des premières cités aux bâtiments d'enseignement (écoles, collèges, lycées), des établissements de santé publics jusqu'aux immeubles tertiaires des zones du Cornillon et du Landy, les Archives Nationales et l'Université de Paris VIII, ce réseau de chaleur alimente aujourd'hui l'équivalent de 40 000 logements.

Initialement alimenté au charbon, il a constamment évolué vers une offre d'énergies diversifiée et optimisée : fuel, puis gaz et cogénération (production simultanée d'électricité et de chaleur). Depuis octobre 2011, il a franchi une nouvelle étape, avec la l'installation d'une chaufferie biomasse, projet pilote en Ile-de-France à la pointe des évolutions technologiques.

D'une puissance totale de **16 MW**, la **chaufferie de Stains** comporte deux chaudières bois et est installée sur le site de l'ancienne centrale Nord, qui fonctionnait au fuel.

La réalisation de cette chaufferie permet :

- De diversifier le bouquet énergétique utilisé pour la production de chaleur sur le réseau de Saint-Denis,
- D'introduire une part d'énergie renouvelable dans la production de chaleur en substitution de chaleur produite à partir d'énergies fossiles (gaz, fioul),
- De réduire de façon significative les émissions de CO<sub>2</sub>

### Centrale



- 2 chaudières bois de 8 MW
- 2 filtres à manche
- 2 ventilateurs de tirage
- 2 cheminées
- 2 circuits de cendre

### Stockage du bois

- 1 hall de stockage fermé
- 1 pont roulant
- Des convoyeurs

Figure 38: Chaufferie Biomasse de Paris

- **38 000 tonnes de bois** sont nécessaires au bon fonctionnement de la centrale chaque année. Elles proviennent de scieries et forêts situées dans un rayon maximum de 100 km autour de Stains et transitent par la plateforme multimodale de Gennevilliers. Pour garantir la sécurité de l'approvisionnement pendant les 24 années du contrat, Cofely Réseaux a mis en place un **partenariat avec les exploitants de forêts : ONF Energie, le groupement privé GCF (Groupement des coopératives forestières)**

### Chiffres-clés :

- **52 km** : Longueur du réseau.
- **40 000** : Nombre d'équivalents logements alimentés en chauffage et eau chaude sanitaire.
- **16 MW** : Puissance de la chaufferie biomasse.
- **25%** : Part du bois-énergie dans la production de chaleur du réseau.
- **38 000 tonnes** : Approvisionnement annuel de la chaufferie en bois-énergie.
- **23 000 tonnes** : Emissions de CO<sub>2</sub> évitées chaque année.

## e) Estimation du Tonnage de Bois nécessaire pour l'alimentation du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA :

Rappelons que la consommation globale de notre Quartier (ECS+Chauffage), s'élève à **127,31 GWh/an**.

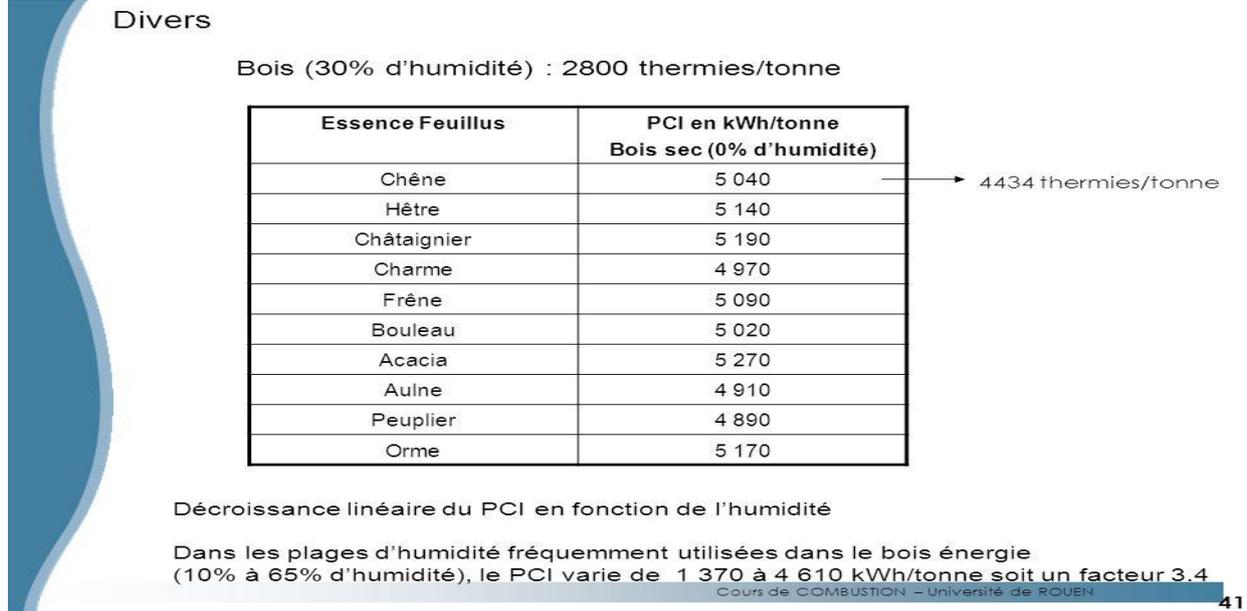


Figure 39 : PCI par type de Bois sec

Considérons un approvisionnement en **Bois de PCI=2800kWh/tonne** (Humidité= 30%), En prenant un **rendement de 80% pour la chaudière** bois, on peut estimer la consommation annuelle en bois de cette chaudière. On obtient :

$$127310000 \text{ kWh} / 2800/0.8 = \mathbf{56834.82 \text{ tonnes de Bois par an}}$$

### Remarque :

Etant donné la localisation du Projet, l'approvisionnement en Bois serait difficile pour couvrir les besoins du quartier Sud de l'Eco-Cité ZENATA, la difficulté réside en la rareté des ressources, due à l'inexistence de forêts avoisinantes. Nous verrons par la suite d'autres alternatives, dont la conception et la réalisation sur le terrain serait faisable.

### 4.1.2 Les UIOM :

#### a) Présentation générale :

**Une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM)** est composée d'un four pour la combustion, d'une chaudière pour la récupération de la chaleur, d'un système de traitement des fumées. La vapeur générée par la chaudière peut être :

- Utilisée pour alimenter un **réseau de chauffage urbain** pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire d'habitations ou distribuée à des établissements publics (hôpitaux, piscines...) ou des entreprises avoisinantes,
- Et / ou détendue dans un **turboalternateur produisant de l'électricité**.

### Le cout :

Le coût moyen d'incinération de déchets est de **94 € TTC par tonne en 2010** en France, en incluant la **Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP)** Avec l'effet de ces modulations, en 2010, le niveau moyen de la **TGAP** sur l'incinération est de **2,8 €/t.**

### Chiffres Clés :

La valorisation **d'une tonne** de déchets peut permettre de produire jusqu'à :

- **500 kWh d'électricité** (en valorisation d'électricité seule)
- **1 700 kWh de chaleur** (en valorisation thermique)

### Données techniques :

Capacité des usines 10 usines ( 17 %) ont une capacité inférieure à **4 tonnes/heure** 38 usines (63 %) ont une capacité comprise entre 4 et **20 tonnes/heure** 12 usines (20 %) ont une capacité supérieure à 20 tonnes/heure. **Le pouvoir calorifique inférieur (PCI)** des déchets traités est égal en moyenne à **2 298 kWh** par tonne. Il varie de 1 625 à 3 250 kWh par tonne. La plage de variation est large, mais il faut noter que 55 cas sur 60 se situent entre 2000 et 2600 kWh.

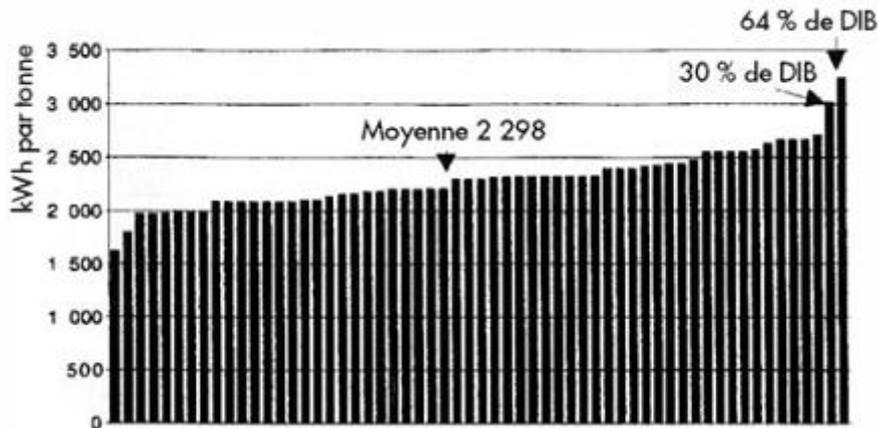


Figure 40 : Pouvoir calorifique inférieur des déchets incinérés

Le PCI est d'autant plus élevé que :

- la zone de collecte est urbaine,
- le pourcentage de DIB est important.

DIB\* : Déchets Industriels Banals.

### b) Application au Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA :

Etant donné le besoin global du Quartier : **127.31 GWh/an**, on suppose que l'Eco-cité dispose d'une usine d'incinération d'ordures ménagères, dont le PCI moyen est de l'ordre de **2298 kWh/tonne**. Donc, on estime un tonnage annuel de déchets ménagers:

$$127310000 \text{ kWh} / 2298 = 55400 \text{ tonnes/an}$$

c) **Situation du Maroc par rapport aux UIOMs :**

Les déchets s'accumulent. De plus en plus, de nombreuses villes au Maroc se trouvent confrontées au problème de leur élimination. Un certain nombre de solutions peuvent être envisagées, l'incinération, les rejets dans la mer ou le recyclage. Des études sont en cours.



Figure 41: Décharge Publique de Mediouna-Casablanca

On cite le chiffre de **0,65kg** de déchets par habitant et par jour à Agadir, **0,55kg** à Rabat, **0,50kg** à Oujda, moins de **0,40kg** à Marrakech et **0,80kg** à Casablanca. Les différences sont assez sensibles suivant les habitudes de consommation. Le taux de collecte varie aussi probablement suivant les prélèvements avant l'arrivée à la décharge.

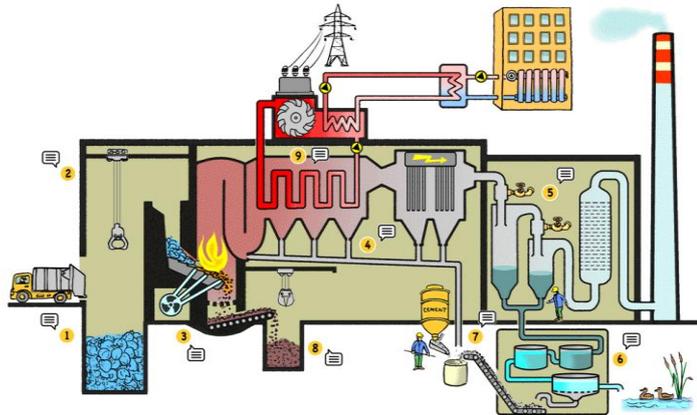


Figure 42: Description du Mécanisme d'une UIOM

Pour la région de Casablanca on note **750.000 tonnes** de déchets par an, Concernant la nature des déchets, la différence avec les villes européennes est plus grande. Compte-tenu **des habitudes de consommation** des légumes frais et des circuits de récupération-recyclage, les ordures ménagères marocaines à leur arrivée à la station sont essentiellement constituées d'épluchures et de quelques sacs en plastiques. A l'usine de traitement des ordures ménagères de Salé, les analyses ont montré que les déchets comprennent près de 70% de matière organique et **70% d'eau**. C'est pourquoi l'incinération qui se développe en France n'est pas encore à l'ordre du jour au Maroc. Cependant, il est certain qu'avec les nouvelles formes de distribution commerciale, la composition des ordures ménagères change. Toutefois cette évolution serait très lente.

### 4.1.3 Chaudières à Energie Fossiles :

Les énergies fossiles sont principalement le Gaz Naturel, et le Fuel. Notre étude va se baser sur le cas de l'audit menée par l'Institut Wallon. En effet, chaque année l'institut réalise une analyse des consommations par type d'activités, afin d'établir des ratios de consommation par élève ou par m<sup>2</sup>. L'alimentation se fait par Fuel et en Gaz Naturel, et on sait que **1000 litres de Fuel ou 1000 m<sup>3</sup> Gaz Naturel** produit environ **36 GJ**, et que **1000 kWh = 3,6 GJ**

Ce qui veut dire que pour la même quantité de fuel et de Gaz Naturel on peut produire **10000 kWh**. Un extrait de l'Analyse menée en 1994 sur l'institut de Wallon donne les ratios suivant :

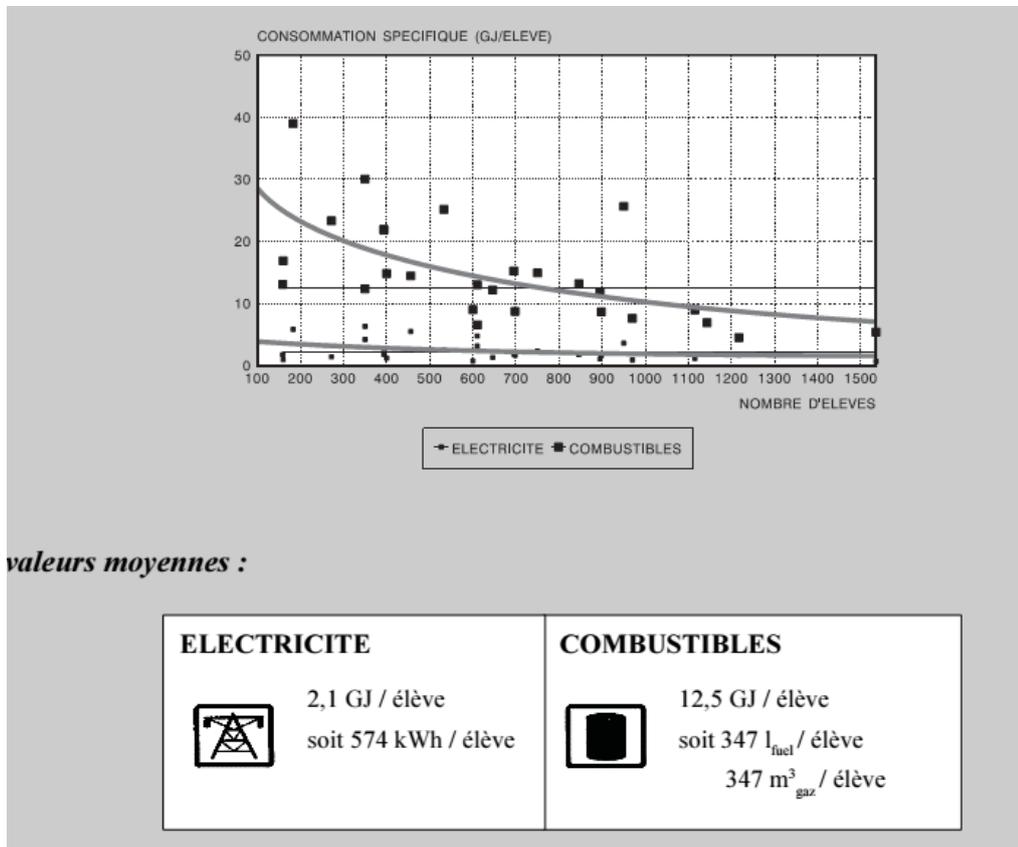


Figure 43: Bilan de consommation par élève de L'Institut

On retient :

**12.5 GJ/élève** de combustibles

Soit : **347 L<sub>fuel</sub>/élève**

Ou encore **347 m<sup>3</sup>gaz/élève**.

**Application aux Ecoles du quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA :**

On rappelle le Bilan énergétique des écoles du Quartier :

|           |              | Ratio Chauffage kWh/m2 | 157     |     |                 |                  |                   |             |
|-----------|--------------|------------------------|---------|-----|-----------------|------------------|-------------------|-------------|
|           |              | Ratio ECS kWh/usager   | 91,2    |     |                 |                  |                   |             |
|           |              | Ratio d'usagers        | 20%     |     |                 |                  |                   |             |
| Programme | Foncier (ha) | Foncier constructible  | ZONE PA | Cos | Shon m2         | Chauffage GWh/an | Nombres d'usagers | ECS GWh/an  |
| Collège   | 8 570        | 8 570                  | ISS     | 1,2 | 10 284          | 1,614588         | 2056,8            | 0,18758016  |
| Lycée     | 4 869        | 4 869                  | ISS     | 1,2 | 5 843           | 0,9173196        | 1168,56           | 0,106572672 |
|           |              |                        |         |     | Total Chauffage | 2,5319076        |                   |             |
|           |              |                        |         |     | Total ECS       |                  |                   | 0,294152832 |
|           |              |                        |         |     | ECS+Chauffage   | 2,826060432      |                   |             |

Donc pour un total d'élèves de l'ordre de **3220 élèves**, on retrouve :

- **3220\*347= 1 117 340 Litres de Fuel.**
- **1 117 340 m3 de Gaz Naturel.**

Ce qui correspond à la production de :

$$1\ 117\ 340 * 10000\ \text{kWh} / 1000\ \text{m}^3 = 11\ 173\ 400\ \text{kWh}$$

$$\text{Soit : } \mathbf{11.73\ GWh}$$

On constate que la quantité de fuel ou de Gaz naturel requise est énorme, une telle solution pour notre quartier est inapplicable. Cependant, les énergies fossiles sont utilisées en **chaudière d'appoint**, couvrant ainsi des surplus de besoins, et pouvant être intégrée comme solution d'appoint d'une chaudière à biomasse ou une Usine d'incinération des déchets ménagers.

**Note :**

Dans ce cadre, les réseaux de chaleur utilisent comme source de chaleur des systèmes Mix énergétique. L'exemple de **l'Eco-Cité du Val d'Alzette**, où l'alimentation en Chaleur est basé sur un système **Bois/gaz**. En fait, en appoint et en secours, deux **chaudières gaz** sont installées dans un local voisin séparé par un mur coupe-feu pour permettre à la chaudière bois de fonctionner en cas de dysfonctionnement des installations gaz.

La chaudière d'appoint couvre une puissance de **2 300 kW** et est équipée d'un condenseur d'eau de 200 kW. La chaudière de secours a une puissance de **3 500 kW**. La chaufferie peut couvrir plus de **9 MW** en puissance instantanée.

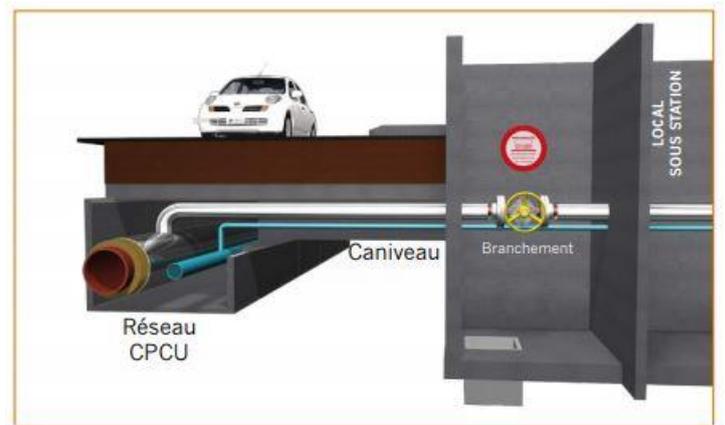
## 4.2 Echange avec le réseau secondaire :

A partir de l'**unité de production**, un réseau de distribution enterré ou disposé en caniveau, ou en galerie, dit « **réseau primaire** », achemine l'énergie grâce à un **fluide caloporteur** qui peut être sous forme **d'eau chaude, d'eau surchauffée**, ou de **vapeur**, jusqu'aux bâtiments. Le réseau possède une canalisation aller qui amène le fluide caloporteur chaud, et une canalisation retour qui le ramène une fois refroidi. Le réseau est caractérisé, entre autres, par sa longueur, son diamètre, sa typologie.

La livraison : La chaleur est livrée et comptée au niveau d'un poste de livraison, la « **sous station** », via un(ou plusieurs) échangeur de chaleur qui marque non seulement la séparation physique entre le **réseau primaire** et le **réseau secondaire**, mais représente également la **limite contractuelle** du service, en général juste après l'échangeur. Du fait de cette séparation physique, on parle de raccordement « indirect ».

### 4.2.1 Les sous-stations :

Les **sous-stations** sont à la charge des promoteurs immobiliers et sont implantées dans un local technique de l'immeuble en principe en sous-sol ou en rez-de-chaussée. Les **sous stations** sont construites autour de deux échangeurs à plaques distinguant ECS et chauffage, munis notamment de compteurs d'énergie au primaire. Tout ce qui est en aval des échangeurs constitue le secondaire à la charge du promoteur. Celui-ci assurera une installation de type Chauffage Individuel Centralisé avec la préparation d'ECS à partir de l'énergie du réseau, mais aussi grâce à des capteurs solaires en toiture. La distribution est collective en gaines techniques et la régulation est autonome par logement avec compteurs de chauffage et d'ECS... Une sous-station peut être associée à un bâtiment seul ou à un ensemble de bâtiments gérés par une même entité. Une fois ses calories transmises au niveau d'une sous-station, le fluide caloporteur refroidi circule en sens inverse jusqu'à la chaufferie. Le réseau de chaleur fonctionne ainsi en boucle.



**Le réseau secondaire** : Il assure la distribution de la chaleur interne au bâtiment (circuits de chauffage et eau chaude). Bien qu'étant en dehors du service réseau de chaleur, les installations secondaires doivent impérativement être prises en compte dans l'étude de faisabilité.

Le principe étant toujours de livrer de la chaleur aux usagers au pied du bâtiment, le propriétaire du logement, est en charge de la mise en place des installations nécessaires pour les différents usages dont il en aura besoin, en d'autres termes : Le **réseau tertiaire** circulant au sein du Bâtiment, notamment les circuits de chauffage, et les ballons de stockage d'**Eau chaude Sanitaire**. La chaleur livrée aux usagers est d'autre part soumise à une tarification calculée à la base d'un compteur de Chaleur, qui mesure la quantité de chaleur livrée aux sous stations.

#### 4.2.2 L'échangeur :

L'échangeur du poste de livraison transfère la chaleur de la vapeur CPCU à l'eau de l'installation secondaire. L'échange thermique s'opère sans contact entre les deux fluides. Plusieurs technologies d'échangeur sont couramment mises en œuvre, en particulier les échangeurs multitubulaires et les échangeurs à plaques. Les échangeurs multitubulaires sont les mieux adaptés à la vapeur et sont donc vivement recommandés par la CPCU. Comparé à d'autres appareils de production de chaleur, l'échangeur offre de multiples avantages :

- Robustesse;
  - matériel statique,
  - pas de combustion,
  - faibles contraintes thermiques,
- Fiabilité et longévité;
- Rendement très élevé;
- Fonctionnement silencieux;
- Compacité.

Ci-dessous, deux coupes de principe d'échangeur multitubulaire vertical sont représentées. En fonction de la puissance ou du constructeur, la vapeur peut circuler à l'intérieur ou à l'extérieur des tubes.

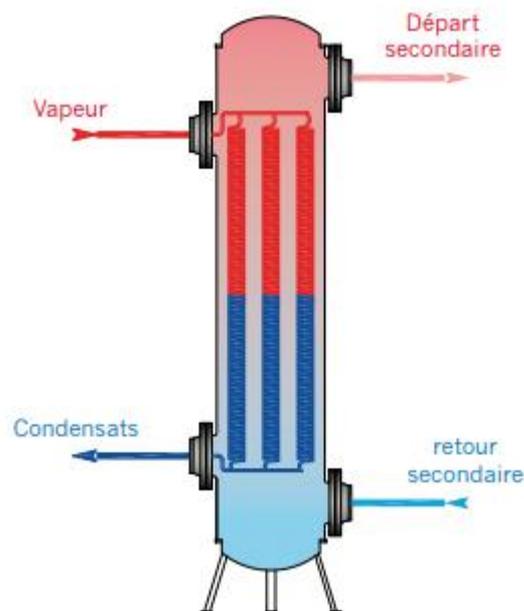


Figure 44: Schéma d'échangeur dans une sous station

## 5 Calcul des débits transités et des diamètres de Canalisations :

### 5.1 Les Fluides chauffants :

#### 5.1.1 Vapeur d'eau

La vapeur d'eau est un fluide chauffant qui a été très utilisé et qui l'est encore dans de nombreux réseaux de chaleur. Il est à noter que seule est employée la vapeur saturée ; la vapeur surchauffée étant moins bon fluide chauffant ne sert que pour la production de force motrice et, éventuellement, pour certaines applications industrielles.

On peut toutefois avoir au départ du réseau une légère surchauffe (10 à 20°C au maximum) pour diminuer les condensations dans les tuyauteries. Il y a intérêt à augmenter le plus possible la pression de vapeur pour diminuer le diamètre des tuyauteries. Toutefois, des pressions trop élevées conduisent finalement à des prix d'installation plus importants du fait de l'augmentation de prix des chaudières, des tuyauteries et des accessoires.

Pratiquement, on trouve des **pressions maximales de 18 à 20 bars au départ** de la chaufferie, la pression aux **sous-stations les plus éloignées** pouvant être réduite à **6 à 7 bars**, compte tenu des pertes de charge. Les condensats peuvent être récupérés et renvoyés à la chaufferie ou envoyés à l'égout. En fait, ils ont une valeur à un double point de vue : chaleur sensible et dépense d'épuration d'eau.

Le plus souvent, les condensats récupérés passent dans une bache à l'air libre et, malgré la récupération maximale de l'échangeur de la sous-station, la température de retour est en moyenne de 50 à 60° C environ. Cela revient donc à gagner environ 16 à 20 J par kilogramme de vapeur (1 cal = 4,18 J), soit un peu moins de 10 %, mais cela n'est pas négligeable dans le bilan thermique de l'ensemble ; il s'y ajoute, comme indiqué ci-dessus, l'économie d'épuration de l'eau, tout au moins en partie, car l'eau de retour peut nécessiter un traitement, en particulier un dégazage après avoir séjourné dans les baches à l'air libre.

Par contre, la récupération des condensats conduit à augmenter légèrement le prix des sous-stations, du fait de l'installation de bache et de pompe, et à prévoir un réseau de tuyauteries de retour qui est coûteux d'installation et d'exploitation. En effet, l'eau de condensation peut être agressive et corroder rapidement les réseaux.

#### 5.1.2 Eau surchauffée

C'est le fluide chauffant **le plus utilisé** dans les **réseaux de chaleur**. En fait, il y a deux sortes d'installations à eau surchauffée. Les installations à température relativement basse: **120 à 140°C** au maximum au départ. Ce fluide chauffant est très utilisé dans les installations en combinaison chaleur-force. Dans celles-ci en effet, il faut, pour maintenir à un niveau assez élevé la production d'énergie électrique, réduire autant que possible la contre-pression de la turbine ou la pression de soutirage, ce qui limite la température du fluide chauffant réchauffé à partir de la vapeur de contre-pression ou de soutirage.

Les chutes de température entre l'aller et le retour du réseau étant plus faibles que dans le cas de l'eau surchauffée à haute température, les diamètres de tuyauteries sont plus importants.

Toutefois, la pression de ce fluide chauffant à faible température étant relativement assez basse, les sous-stations d'installations de chauffage peuvent être le plus souvent des sous-stations de mélange.

La température de retour est réduite à celle du retour des installations intérieures, ce qui est le minimum possible. Ce fluide de retour à basse température est le fluide froid circulant dans le condensateur chaud des turbines pour y être réchauffé. Les installations à haute température : **180 à 210°C** au départ.

Les températures élevées permettent des chutes de température importantes, et par là même un faible débit dans le réseau pour une puissance déterminée à transporter.

En effet, les installations de chauffage des locaux, qui sont aujourd'hui toujours à eau chaude, fonctionnant à 90°C au maximum au départ pour les installations par radiateurs et 40°C pour les chauffages par le sol, on peut obtenir sur le réseau primaire à eau surchauffée des chutes de température de l'ordre de 100°C entre l'aller et le retour. Ces chutes importantes permettent d'utiliser des diamètres de tuyauteries allé équivalents à ceux employés avec la vapeur haute pression, les diamètres des tuyauteries retour restant seuls plus élevés.

### 5.1.3 Eau chaude

Avec ce fluide chauffant, dont la température maximale est de **90 à 100°C**, la chute de température dans le réseau est limitée et comprise entre 40 et 70°C suivant le type d'installations intérieures de chauffage (radiateurs ou sol chauffant) même avec des sous stations de mélange, le plus souvent prévues dans ce cas. Il en résulte, pour un même débit thermique, des diamètres de tuyauteries nettement plus élevés qu'avec de l'eau surchauffée

## 5.2 Tracé général du réseau :

Les points de livraison et les puissances à fournir étant déterminés, on dresse un premier schéma général du réseau, avec la puissance à transporter dans les différents tronçons.

Ce schéma devra découler du tracé envisagé, compte tenu, dans le cas de réseau urbain, des voies publiques à emprunter et aussi, dans une certaine mesure, du programme de raccordement des usagers. Le but à atteindre est d'avoir le réseau le moins long possible au stade définitif, mais il ne faut toutefois pas perdre de vue le problème des frais financiers : par exemple, il peut être plus économique d'alimenter par deux tronçons de réseau différents deux groupes d'usagers dont l'un à échéance lointaine, plutôt que par un tronçon unique de longueur totale inférieure mais qui entraînera une dépense initiale beaucoup plus importante, et par là même des frais financiers plus élevés.

## 5.3 Formule de Calcul :

Le principe du dimensionnement se base sur le calcul des ratios de besoins en puissance, couplés à un débit puis à un diamètre de conduit pour lesquels la vitesse du fluide et les pertes de charge sont faibles. La différence de température entre le départ et le retour du réseau chaud est de 25 degrés Kelvin. Pour le cas du **Quartier SUD de l'Éco-Cité ZE NATA**, nous avons utilisé le **réseau de Micheville** comme référence.

Voici pour le cas du réseau de Micheville, le relevé des températures et débit pour la chaudière bois et pour le réseau :

| Date             | Chaudière bois (réseau primaire) |            |                           | Réseau secondaire |            |                           |
|------------------|----------------------------------|------------|---------------------------|-------------------|------------|---------------------------|
|                  | Départ(°C)                       | Retour(°C) | Débit (m <sup>3</sup> /h) | Départ(°C)        | Retour(°C) | Débit (m <sup>3</sup> /h) |
| 13/04/2011 08:00 | 88                               | 74         | 131,08                    | 81                | 74         | 195,32                    |
| 13/04/2011 09:00 | 89                               | 76         | 129,55                    | 83                | 75         | 206,15                    |
| 13/04/2011 10:00 | 83                               | 63         | 96,89                     | 70                | 63         | 232,24                    |
| 13/04/2011 11:00 | 85                               | 65         | 105,9                     | 75                | 65         | 369,88                    |
| 13/04/2011 12:00 | 85                               | 66         | 110,93                    | 73                | 65         | 277,26                    |
| 13/04/2011 13:00 | 85                               | 68         | 124,97                    | 76                | 68         | 277,26                    |
| 13/04/2011 14:00 | 87                               | 71         | 131,69                    | 78                | 70         | 278,93                    |
| 13/04/2011 15:00 | 89                               | 74         | 132,14                    | 81                | 74         | 251,93                    |
| 13/04/2011 16:00 | 86                               | 73         | 131,38                    | 80                | 72         | 213,32                    |
| 13/04/2011 17:00 | 86                               | 71         | 132,14                    | 79                | 70         | 229,5                     |
| 13/04/2011 18:00 | 86                               | 71         | 130,62                    | 78                | 71         | 238,5                     |
| 13/04/2011 19:00 | 85                               | 67         | 118,1                     | 75                | 67         | 261,84                    |
| 13/04/2011 20:00 | 85                               | 64         | 106,2                     | 73                | 63         | 271,76                    |
| 13/04/2011 21:00 | 85                               | 69         | 122,38                    | 75                | 69         | 272,68                    |
| 13/04/2011 22:00 | 79                               | 74         | 132,14                    | 78                | 71         | 132,3                     |
| 13/04/2011 23:00 | 83                               | 73         | 132,45                    | 79                | 71         | 182,65                    |
| 14/04/2011 00:00 | 89                               | 76         | 129,55                    | 85                | 75         | 207,06                    |

Figure 45: Relevés de températures et débits chaudière bois et réseau de distribution.

Contractuellement, la température à fournir au réseau est de 90 °C, la température de Retour est fixée à 75°C, en cas de baisse de la température de retour, les chaudières d'appoint(à Fuel ou à Gaz Naturel) se déclenche, afin de combler le défaut.

| Données                 |                       |
|-------------------------|-----------------------|
|                         |                       |
| Débit bois              | 130 m <sup>3</sup> /h |
| Température départ bois | 97 °C                 |
| Puissance bois          | 3326 kW               |
|                         |                       |
| Débit gaz 1             | 200 m <sup>3</sup> /h |
| Température départ gaz  | 90 °C                 |
| Puissance gaz 1         | 3489 kW               |
|                         |                       |
| Débit gaz 2             | 135 m <sup>3</sup> /h |
| Température départ gaz  | 90 °C                 |
| Puissance gaz 2         | 2355 kW               |
|                         |                       |
| Débit gaz 1+2           | 335 m <sup>3</sup> /h |
| Départ gaz 1+2          | 90 °C                 |
| Puissance gaz 1+2       | 5844 kW               |
|                         |                       |
| Retour réseau           | 75 °C                 |

Figure 46 : Consignes de température des chaudières bois et gaz et température retour réseau

Le but c'est de savoir quel est le volume d'eau qu'on doit apporter, pour répondre à la puissance appelée par l'utilisateur, c'est-à-dire la quantité de chaleur transmise par un volume/débit d'eau donné. Dans ce cadre, nous avons trouvé la formule relient le Débit d'eau surchauffée, et la puissance appelée :

On a :

$$P = Q * C_{\text{eau}} * \rho_{\text{eau}} * DT$$

- **P : Puissance (kW)**
- **Q : Débit transitant (m<sup>3</sup>/s)**
- **C<sub>eau</sub> : Chaleur massique (kJ/kg.K)**
- **DT : Différence de température entre le départ eau chaude et le retour eau froide (°C)**
- **ρ<sub>eau</sub> : Masse volumique de l'eau (kg/m<sup>3</sup>)**

**On donne :** Pour de l'eau à 80°

$$C_{\text{eau}} = 4.195 \text{ KJ/kg.K}$$

$$\rho_{\text{eau}} = 971.6 \text{ kg/m}^3$$

Les valeurs de la chaleur massique et de la masse volumique ont été prises à 80°C, étant donné que le départ d'eau surchauffée se fait à 90°C et le retour à 70°C, on a donc pris comme moyenne de 80°C, température d'eau dans les canalisations du réseau.

#### Application :

Le départ se fait à 90°C et le retour à 70°C, Nous avons donc **un DT de 20°C**

Nous obtenons ainsi une formule entre **Q et P** :

$$Q = P / (C_{\text{eau}} * \rho_{\text{eau}} * DT)$$

Les puissances appelées par les lots du quartier sont en **GWh/an**.

Il nous faut donc convertir les résultats en **GW** :

On a:

$$1 \text{ GWh/an} = 1 \text{ GWh} * (1000000 / 365 * 24) = 114.15 \text{ KW}$$

**On a ainsi:**

$$Q \text{ (l/s)} = P \text{ (GWh/an)} * 114.15 * 1.22 / 100000$$

**Ce qui correspond à:**

$$1 \text{ GWh/an} = 1.40 \text{ l/s}$$



## 6 Tracé du réseau :

### 6.1 Tracé général des réseaux de chaleur et Matériau des Tuyauteries:

#### Tracé définitif du réseau -Profils en long :

Un tracé général du réseau ayant été établi, le tracé précis tronçon par tronçon est étudié compte tenu, dans le cas de réseau en zone urbaine, des possibilités de passage dans les différentes voies communes et des impératifs techniques concernant, en particulier, la compensation des dilatations.

Le profil en long sera établi compte tenu des pentes prévues sur le réseau de chauffage et des emplacements possibles pour les points bas (**purge de condensats et vidange**) et les points hauts (**purge d'air**) qui devront être prévus ; les points bas devront autant que possible être raccordés aux égouts, donc situés à proximité des croisements avec ceux-ci. **Ces pentes** seront en principe de **2 mm/m au minimum pour l'eau**, un peu plus, si possible, pour la vapeur ; il faudra éviter les contre-pentes en vapeur. Cette étude de profil en long doit être conduite en considérant les priorités relatives des différents réseaux. Les réseaux d'égout dans lesquels l'écoulement se fait par gravité, sans évidemment possibilité de contre-pente, ont une priorité absolue. Par contre, les réseaux d'électricité et de téléphone peuvent très facilement être déplacés : c'est un peu moins facile pour les réseaux d'eau et de gaz qui ont certains impératifs, mais on peut dire cependant qu'ils en ont moins que les réseaux de chaleur, surtout si ces derniers sont en caniveau.

Ces priorités varient également suivant qu'il s'agit de réseaux existants ou à construire : le déplacement de réseaux existants peut être plus coûteux que la modification du parcours du réseau de chaleur. Il faut également ne pas perdre de vue que ce dernier est chaud, ce qui peut nécessiter de prévoir un certain éloignement des autres réseaux aux points de croisement ; l'avis des autorités compétentes doit être sollicité sur ce point dans le cas de réseau en zone urbaine.

Il n'y a pas intérêt à enterrer trop profondément car :

- Cela est beaucoup plus coûteux en terrassement, et en réfection éventuelle de chaussée ou trottoir (plus la fouille est profonde, plus elle est large), non seulement lors de la construction initiale mais également en cas d'ouverture ultérieure pour réparation toujours à envisager ;
- Il faut, si possible, se trouver au-dessus des égouts pour pouvoir y évacuer les eaux (d'infiltration et de vidange) sans utiliser de pompe ;
- On risque de se trouver à certaines époques dans les nappes phréatiques.

**La profondeur minimale** (distance verticale entre dessus de la dalle du caniveau et sol) est **de 0,20 à 0,30 m** suivant la nature du revêtement (sous chaussée en particulier). La plus courante est de l'ordre de **0,50 m en moyenne**. Il faut éviter de descendre au-delà de **1 m** si possible.

Tout cela nécessite en général une étude importante, surtout quand il s'agit de construire un réseau de chaleur dans des zones où sont déjà installés ces différents autres réseaux. La position de ces derniers est très souvent difficile à connaître avec précision, et il peut être nécessaire de procéder à des sondages préalables aux points litigieux, plutôt que de se trouver par la suite mis en face de situations inextricables

Ces conditions sont les suivantes:

- ✓ **Vitesse Minimale : 0.15 m/s**
- ✓ **Vitesse maximale : 1.3 m/s**
- ✓ **Pression de service minimale : 0.2 bars**
- ✓ **pression maximale de service : 2.5 bars**

#### **a) Tuyauteries des réseaux :**

En 1985, les tubes en acier sont, de loin, les plus utilisés. Les avantages de l'acier sont la résistance mécanique, l'élasticité et la soudabilité. Son inconvénient est sa sensibilité à la corrosion : corrosion interne suivant la qualité du fluide chauffant, corrosion externe par suite de l'humidité, des phénomènes électriques et de la nature du calorifuge. Il en résulte que l'on cherche à remplacer l'acier par d'autres produits.

Mais il faut par ailleurs tenir compte de la réglementation dont le texte de base à l'heure actuelle est constitué par l'arrêté du 6 décembre 1982 Réglementation technique des canalisations de transport de fluides sous pression autres que les hydrocarbures et le gaz combustible.

Les canalisations soumises à cet arrêté sont, aux termes de ce texte :

— les canalisations d'eau surchauffée, dans lesquelles la **température** peut **excéder 120°C**, ou de vapeur d'eau, lorsque les trois conditions suivantes sont simultanément remplies :

- le **diamètre intérieur** est supérieur à **80 mm**,
- la **pression effective** du fluide peut dépasser **4 bars**,
- le produit de la pression effective maximale en service (exprimée en bars) par le diamètre intérieur (exprimé en millimètres) dépasse le **nombre 1 000** ;

— les canalisations, non visées ci-dessus, de gaz, vapeurs ou liquides dont la pression effective de vapeur en service peut **excéder 1 bar**, lorsque les trois conditions suivantes sont simultanément remplies :

- le **diamètre intérieur** est supérieur à **80 mm**,
- la **pression effective** du fluide peut dépasser **10 bars**,
- le produit de la **pression effective maximale** en service (exprimée en bars) par le diamètre intérieur (exprimé en millimètres) dépasse le nombre **1 500**.

Pratiquement, ce texte n'autorise pour les canalisations qui lui sont soumises que les tubes en acier.

Ces tubes sont aussi les seuls considérés comme traditionnels vis-à-vis des assurances et les autres matériaux doivent faire l'objet d'un avis technique délivré par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

#### *I) Tubes en matières plastiques :*

Les matières plastiques sont en continuelle évolution mais, toutefois, il faut bien tenir compte du fait qu'un réseau de distribution de chaleur est fait pour durer des dizaines d'années et que l'on ne peut donc pas raisonnablement utiliser des matériaux et procédés qui n'ont pas la sanction de l'expérience sur une certaine durée.

L'avantage des matières plastiques réside dans leur prix (pour certaines) et leur résistance à la corrosion, notamment avec des eaux agressives telles que celles des forages géothermiques. Leur usage est actuellement limité à ce domaine.

Leur inconvénient réside dans leur tenue à la température et à la pression et aux conditions de leur vieillissement. Deux types de tubes peuvent être utilisés pour les réseaux de chaleur.

— **Les tubes en polyéthylène réticulé PER**, capables de résister à des températures de pointe de **110°C** ; ils ne sont toutefois fabriqués à ce jour que pour des diamètres relativement faibles (jusqu'à des diamètres de l'ordre de **50 mm**), ce qui limite évidemment leur emploi dans les réseaux.

— **Les tubes en résine** (polyester ou époxy) **renforcée verre**, constitués par un enroulement de fibre de verre et de résine **thermodurcissable**. La température limite d'utilisation est, en général, **de 100°C** en continu. Les pressions admissibles sont fonction de l'épaisseur. Ils sont fabriqués, ainsi que les accessoires correspondants, dans des **diamètres allant de 50 mm à 1 000 ou 2 000 mm** ; les assemblages se font par collage ou par brides. Il existe des versions pré isolées.

**Les tubes en matières plastiques** sont posés le plus souvent **en pleine terre**.

#### *II) Tubes en Fonte :*

Ils ont l'avantage d'être moins onéreux que les tubes en acier et **d'être peu sensibles à la corrosion**, mais ils ne peuvent être utilisés qu'à température relativement basse (**110°C au maximum**).

Les tubes utilisés sont **en fonte ductile** (norme **NF A 48-870**) avec assemblage par **joint en élastomère**, ce qui permet d'absorber les dilatations sans avoir besoin d'organes particuliers.

Mais il faut, en général, buter tous les coudes et raccords compte tenu de l'effet de fond (ce qui n'est pas toujours facile dans le cas de tuyauteries en caniveau), et cela d'autant plus que, du fait de la présence de deux tuyauteries en parallèle, on doit avoir à chaque piquage une accumulation de raccords qui sont coûteux et posent de délicats problèmes de butée (la solution simple est de les noyer dans un massif de béton qui peut être éventuellement isolant).

Par contre, l'utilisation des tubes pré isolés, noyés directement dans le sol, devrait se développer. La résistance à la corrosion de la fonte lui donne, dans ce cas, un avantage important par rapport à l'acier en cas de pénétration d'eau dans le **calorifuge**. Ce procédé s'adapte particulièrement bien à des transports de chaleur à grande distance, sans pratiquement de piquage.

### III) Tubes en Acier

Le choix des tubes doit tenir compte des conditions de température et de pression et de la réglementation du 6/12/82 dans le cas des tuyauteries qui lui sont soumises.

Il y a lieu d'examiner les problèmes de soudure ainsi que ceux concernant la corrosion.

#### Qualités utilisées :

##### ■ Tubes noirs

Compte tenu des températures atteintes jusqu'à ce jour dans les réseaux de chaleur (250°C au maximum), on utilise des **tuyauteries en acier au carbone** ordinaire mais il faut cependant ne pas perdre de vue que les caractéristiques mécaniques, et en particulier la limite élastique de l'acier, diminuent avec la température (à 250°C, elle n'est que de 75 % de la valeur à 0°C et elle baisse rapidement au-delà).

L'article 6 (§ 2) de l'arrêté du 6/12/82 précise que les matériaux constitutifs des canalisations et de leurs accessoires doivent être exempts de fragilité aux températures de service et d'épreuve et l'article 8, de ce même arrêté, précise les valeurs de l'allongement de ces matériaux.

Pratiquement, les tubes disponibles sur le marché et utilisés en réseau de chaleur sont ceux indiqués ci-après (d'autres tubes peuvent convenir mais ils sont plus difficilement disponibles sur le marché).

#### Normes de Tuyauterie :

Ces tubes font l'objet de normes. La plupart de ces normes donnent des indications concernant les températures limites d'emploi. Par contre, elles laissent à l'utilisateur le soin de déterminer les pressions admissibles en fonction des conditions de service, de la réglementation, etc. (quelques-unes cependant mentionnent une pression maximale admissible à température ambiante).

— Norme **NF A 49-112** : **tubes sans soudure**, de **13,5 à 419 mm de diamètre**, utilisables **jusqu'à 300°C**. Ils se font en trois nuances (Tu 37-b, Tu 42-b et Tu 48-b, mais cette dernière nuance n'est habituellement pas disponible) en une épaisseur courante et plusieurs autres épaisseurs par diamètre. Ils répondent aux exigences de l'arrêté du 6/12/82 sous réserve qu'ils puissent être fournis

avec un certificat de contrôle des produits d'usine (CCPU) ou équivalent, que le marquage des tubes permette de relier ceux-ci au certificat et que les tubes aient subi, avant mise en œuvre, un essai hydraulique à une pression au moins égale à celle définie par l'article 13 de l'arrêté du 6/12/82, essai faisant l'objet d'un procès-verbal. Ces exigences ne sont pas imposées par la norme mais sont couramment satisfaites pour les fournitures commercialisées.

— Norme **NF A 49-115** : **tubes sans soudure**, de **13,5 à 139,7 mm de diamètre**, utilisables jusqu'à **110°C**. Ils ne peuvent donc pas être utilisés sur des réseaux soumis à la réglementation du 6/12/82.

Ils sont file tables et sont généralement disponibles dans la série moyenne. Pour celle-ci, la norme indique les pressions nominales à température ambiante suivantes :

- tubes filetés : **16 bars** ;
- tubes lisses : **25 bars** ;

— Norme **NF A 49-141**: **tubes soudés** longitudinalement, de **60,3 à 168,3 mm de diamètre**, utilisables jusqu'à **200°C**. Généralement, ils ne peuvent pas être fournis avec les documents et garanties imposés pour les réseaux soumis à la réglementation du 6/12/82. La norme indique une pression maximale admissible à température ambiante **de 36 bars**.

— Norme **NF A 49-145** : **tubes soudés** longitudinalement, de **13,5 à 139,7 mm de diamètre** (au-dessus de **114,3 mm**, les possibilités d'approvisionnement sont incertaines), utilisables jusqu'à 110°C. Ils ne peuvent donc pas être utilisés sur des réseaux soumis à la réglementation du 6/12/82. Ils sont file tables et généralement disponibles dans la série légère. Pour celle-ci, la norme indique les pressions nominales à température ambiante suivantes :

- tubes filetés : **10 bars** ;
- tubes lisses : **16 bars** ;

— Norme **NF A 49-150** : **tubes soudés** longitudinalement ou en hélice, destinés à être revêtus ou protégés, **de 168,3 à 406,4 mm de diamètre** (soudure longitudinale) et **de 457 à 1 016 mm** (soudure en hélice), utilisables **jusqu'à 110°C**. Ils ne peuvent donc pas être utilisés sur des réseaux soumis à la réglementation du 6/12/82.

— Norme **NF A 49-211**: tubes sans soudure, de **26,9 à 610 mm de diamètre** (mais généralement disponibles jusqu'à **406,4 mm** seulement). La norme ne donne pas de température dans le domaine d'application de ces tubes. A titre indicatif les valeurs de la **limite élastique** jusqu'à **425°C**, ce qui sous-entend que les tubes sont utilisables jusqu'à cette température. La norme prévoit trois nuances mais seuls les tubes en Tu 42-b sont habituellement tenus en stock par les négociants. Pour un même diamètre, il est possible de trouver plusieurs épaisseurs. Ces tubes répondent en tout point à l'arrêté du 6/12/82.

■ **Tubes galvanisés** : ces tubes suivant les **normes NF A 49-115 et 49-145** sont utilisés pour les retours de purge et les réseaux de distribution d'eau chaude sanitaire. Ils sont disponibles dans le commerce

jusqu'à **114,3 mm de diamètre**. Pour les diamètres supérieurs à **165 mm**, il faut faire galvaniser à façon des tubes noirs.

Ces tubes sont assemblés par raccords vissés ou par brasure.

■ **Coudes, tés et réductions** : les coudes obtenus par forgeage ou plissés à chaud ne sont plus guère employés. On utilise en règle générale des coudes du commerce fabriqués en usine, dits courbes Vallourec. Il faut noter que les coudes constituent les points faibles d'une tuyauterie. Les contraintes transversales qui s'y développent, du fait de la pression, y sont plus fortes que dans les parties droites. De plus, c'est dans la courbe que se concentrent les contraintes longitudinales (effet de fond). Il s'y ajoute également les flexions dues aux dilatations.

#### **b) Corrosion des Tuyauterie :**

Les problèmes de corrosion se posent de plus en plus ; ils sont particulièrement complexes, et il n'est pas question de les traiter ici, mais seulement de les évoquer pour attirer l'attention des usagers.

Les tuyauteries peuvent se corroder à l'intérieur ou à l'extérieur.

■ **Corrosion interne** : l'acier est corrodé par l'eau, en particulier si le **pH** de celle-ci est inférieur à **8** et si elle est **chargée en oxygène** ; la température accélère la corrosion.

Dans le cas de réseau d'eau surchauffée, l'eau doit être traitée impérativement au départ et ses qualités vérifiées périodiquement ; si les traitements et contrôles sont bien effectués, il n'y a pas de corrosion interne des réseaux.

Dans le cas de réseau d'eau chaude, le traitement n'est pas obligatoire mais souhaitable ; cela dépendra de la qualité de l'eau.

Dans le cas de réseau de vapeur, ce sont les tuyauteries de condensats qui peuvent se corroder ; on y remédie en rendant les condensats basiques.

■ **Corrosion externe** : elle se produit toujours en milieu humide. Les tuyauteries doivent toujours être peintes après brossage avec une peinture antirouille résistant à la température maximale du fluide chauffant.

Dans tous les cas, la meilleure protection contre la corrosion est constituée par le fonctionnement continu de l'installation, qui maintient sèche la surface extérieure des tubes. La nature du calorifuge peut accélérer la corrosion : des garanties des fournisseurs doivent être exigées à ce sujet.

Dans le cas de tuyauteries posées à même le sol, avec un calorifuge qui peut ne pas être rigoureusement étanche, **une protection cathodique est indispensable**.

### c) Compensation des dilatations :

Sous l'effet de la température, les tuyauteries se dilatent, et leur allongement, s'il est entravé, entraîne des contraintes qui peuvent aller jusqu'à la rupture après, éventuellement, flambage dans les parties droites. Pour y remédier, on utilise des organes de dilatation qui, par leur déformation élastique, compensent l'allongement des tuyauteries. Ces organes sont placés entre des points fixes qui permettent de limiter les dilatations absorbées par ces organes compte tenu de leurs caractéristiques. Ils opposent à la déformation une certaine résistance qui se reporte sur ces points fixes ; ceux-ci doivent donc être calculés en conséquence.

Deux méthodes sont utilisées pour la compensation des dilatations:

- **La compensation dite naturelle**, qui consiste à utiliser la flexibilité des tubes acier : dans un changement de direction à angle droit, la déformation du tube permet d'admettre un certain allongement de chacune des branches tout en restant dans les limites acceptables de fatigue du métal ;
- **L'utilisation de compensateurs** qui, par leur déformation, absorbent l'allongement des tuyauteries.

### d) Calorifugeage des tuyauteries :

Le calorifugeage des tuyauteries est un problème primordial du fait de l'importance des pertes thermiques par suite du développement du réseau. Le calorifuge doit avoir l'efficacité maximale possible non seulement à l'origine, mais il doit la conserver dans le temps, et ceci malgré les dilatations des tuyauteries et les intempéries diverses auxquelles il peut être soumis.

Les diverses méthodes d'installation des tuyauteries dont il sera question ci-après sont en grande partie des méthodes de protection du calorifuge ou des méthodes de calorifugeage.

Un matériau calorifuge est caractérisé par sa **conductivité thermique (W/m · K)** qui varie en fonction de la masse volumique et de la température. Elle permet de calculer la perte thermique au mètre de tuyauterie, d'où l'on déduit ce que l'on appelle son rendement, ou mieux son efficacité  $E$  qui est le rapport :

$$E = (D - d) / D$$

- **D** déperditions du tube nu.
- **d** déperditions du tube calorifugé.

L'efficacité d'un calorifuge ne doit jamais être inférieure à 80 % et il est souhaitable d'atteindre 85 à 90 % ; le prix de revient augmentant très rapidement avec l'efficacité, c'est un problème de rentabilité qui se pose. Le calorifuge ne doit pas attaquer la tuyauterie en milieu humide, des garanties doivent être exigées des fournisseurs sur ce point.

### Types de Calorifuges :

■ **Les matériaux fibreux et légers** : Laine de verre, laine de roche, mousse de polyuréthane rigide, qui sont fragiles et le plus souvent hygroscopiques (cas de la laine de verre qui est la plus utilisée). Leur conductivité thermique est de l'ordre de **0,02 à 0,10 W/m · K**

■ **Les agglomérés de lin et le liège** : ce dernier a l'avantage d'être assez rigide mais il est d'un prix plus élevé que les matériaux fibreux cités ci-dessus (à efficacité égale) et lui aussi utilisable seulement aux basses températures (**moins de 150°C**).

■ **La vermiculite** a été utilisée en vrac dans les caniveaux pour certaines installations ; les résultats n'ont pas été satisfaisants, les tuyauteries ayant été corrodées rapidement du fait de l'humidité permanente par suite de l'absence de ventilation, de l'impossibilité d'écoulement des eaux et de l'agressivité de la vermiculite en milieu humide ; cette solution ne doit donc pas être retenue.

■ **Les matériaux pulvérulents hydrophobes** (gilsulate, par exemple) : ils sont placés autour des tuyauteries, directement dans le sol, et servent à la fois de calorifuge et de protecteur des tuyauteries contre l'humidité. Leur conductivité thermique est de l'ordre de **0,08 à 0,10 W/m · K**.

■ **Les bétons isolants**: bétons de granulats légers, bétons cellulaires, bétons bitumineux. Ces matériaux peuvent être coulés autour de la tuyauterie directement dans le sol, à l'intérieur d'un caniveau de béton ordinaire, ou utilisés sous forme de coquilles. La **conductivité thermique** moyenne du **béton cellulaire** est de l'ordre de **0,08 à 0,15 W/m · K**

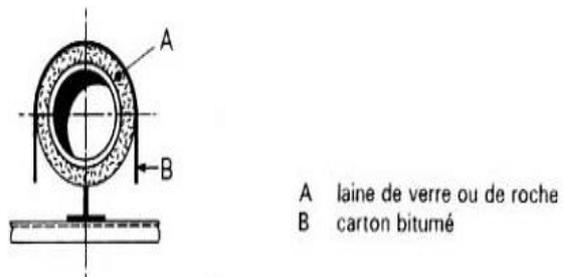
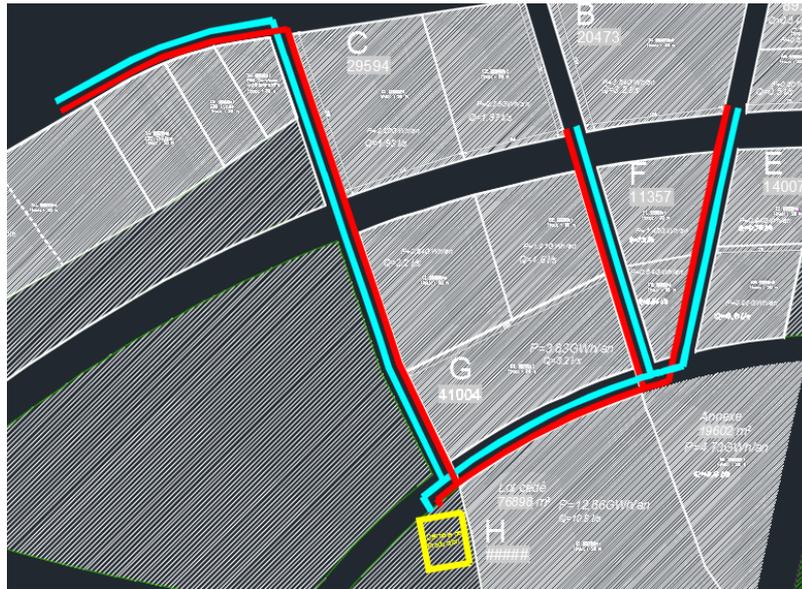


Figure 49 : Protection du calorifuge par un carton bitumé simplement posé dessus

## 6.2 Tracé du réseau sur le plan du quartier SUD de l'Eco Cité ZENATA :

Sur **AutoCAD**, on a élaboré un tracé du réseau de chaleur urbain dans le quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA, le réseau comporte une conduite **allé du fluide caloporteur, et une autre de retour.**

Voici notre modèle du tracé sur AutoCAD, la conduite en Rouge correspond à celle de l'allé, celle en Bleu correspond au retour.



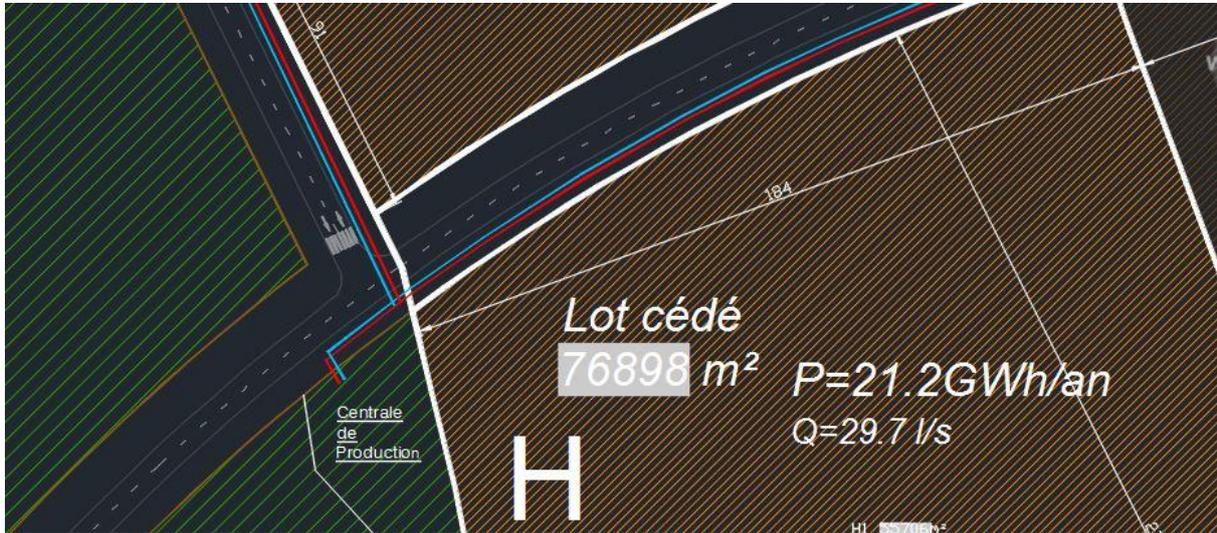


Figure 47 : Emplacement de l'unité de production sur le Quartier SUD

L'endroit de l'installation de la centrale de production est indiqué sur la figure, il s'agit d'un espace vert du quartier SUD.

### 6.3 Dimensionnement Du Réseau et simulation Epanet :

#### 6.3.1 Tracé Epanet :

L'équation de Darcy (D-W) pour les pertes de charge est une amélioration de l'équation de Prony et a été développée par **Henry Darcy**, avant d'être modifiée par Julius Weisbach (scientifique allemand) en 1845 qui lui donna sa forme actuelle. La perte de pression s'exprime par :

La perte de charge, obtenue en divisant l'expression précédente par  $\rho g$  s'exprime par :

$$\Delta P = f_D * (L / D_h) * (V^2 / 2g)$$

Avec

- $\Delta P$  - perte de pression [Pa]
- $\Delta H$  - perte de charge [m]
- $f_D$  - coefficient de perte de charge de Darcy [-]
- $L$  - longueur de la conduite [m]
- $\rho$  - masse volumique du fluide [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
- $D_h$  - diamètre hydraulique [m]
- $V$  - vitesse moyenne du fluide [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- $g$  - accélération de la pesanteur [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

- ✓ Dans le cas de **vapeur**, la perte de charge admissible dépend de la pression disponible au départ: pour le chauffage urbain de Paris, la pression maximale au départ des **chaufferies est de 18 bars** ; la pression minimale admise à la sous-station la plus défavorisée est de **5 à 7 bars**. La **vitesse maximale admise** varie **entre 45 m/s (petits diamètres) et 80 m/s (gros diamètres)**.
- ✓ Dans le cas de **l'eau chaude** et de **l'eau surchauffée**, on peut considérer des pertes de charge totales de **5 bar (petits réseaux à eau chaude) à 15 bar (réseaux très importants et à eau surchauffée)** comme des valeurs normales, les pressions en sous-station pouvant d'ailleurs, si nécessaire, être limitées par la conception d'installation des pompes (§ 2.2.3). **Les vitesses** dans les tuyauteries varient **entre 1 m/s (petits diamètres) et 3 m/s (gros diamètres)** et même au-delà, sans autre inconvénient que la perte de charge élevée qui en résulte.

A l'aide du **Logiciel EPACAD**, on a pu transférer le tracé du réseau depuis **AutoCAD** vers **Epanet**. Sur le Logiciel Epanet, on a mis en place les nœuds, pour définir les zones nodales du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA, en y associant les débits transités et les cotes NGM de chaque Nœud.



Figure 48 : répartition des Zones Nodales sur le Quartier SUD

Ensuite grâce à la formule précitée liant le **débit à la puissance** appelée par chaque lot du Quartier, on a défini les **lots desservis par chaque Nœud** du réseau. Par la suite, grâce au **levé topographique** du Quartier SUD, On a réalisé un calque du réseau sur le plan topo, afin de récupérer les cotes des nœuds.

### 6.3.2 Calcul des diamètres et simulation Epanet :

#### Répartition spatiale de la demande :

La répartition spatiale de la demande a pour objet d'affecter pour chaque nœud une zone de desserte appelée zone nodale. Les débits ainsi obtenus serviront au dimensionnement du réseau Le tableau 4 ci-après donne cette répartition spatiale des nœuds:

| N° du nœud | Consommation par Nœud en (l/s) | Cotes des Nœuds m |
|------------|--------------------------------|-------------------|
| 1          | 38.12                          | 42                |
| 2          | 10.36                          | 52                |
| 3          | 2.21                           | 46                |
| 4          | 2.18                           | 40                |
| 5          | 2.8                            | 39                |
| 6          | 6.04                           | 46                |
| 7          | 7.35                           | 39                |
| 8          | 3.95                           | 37                |
| 9          | 5.35                           | 30                |
| 10         | 2.02                           | 28                |
| 11         | 2.52                           | 28                |
| 12         | 9.14                           | 27                |

Les conduites choisies pour notre réseau de chaleur sont en Acier Galvanisé, et protégées par un calorifuge, limitant les pertes thermique, pour un meilleur rendement du réseau de chaleur. On s'est basé sur un guide des tubes en Acier dédiés à ce type de réseau, fourni par « **AXIOM Tubes** ».



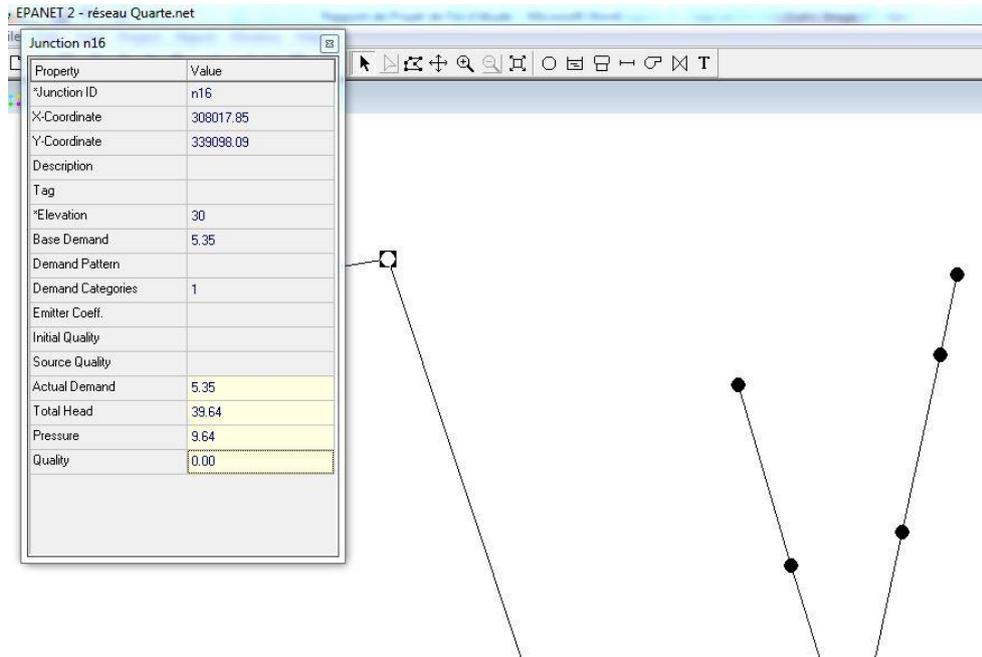
Réseaux de distribution de chaleur  
 Eau glacée  
 Haute température  
 Double enveloppe sécurité

Les diamètres commerciaux présents pour ce type de conduites sont donnés ci-dessous :

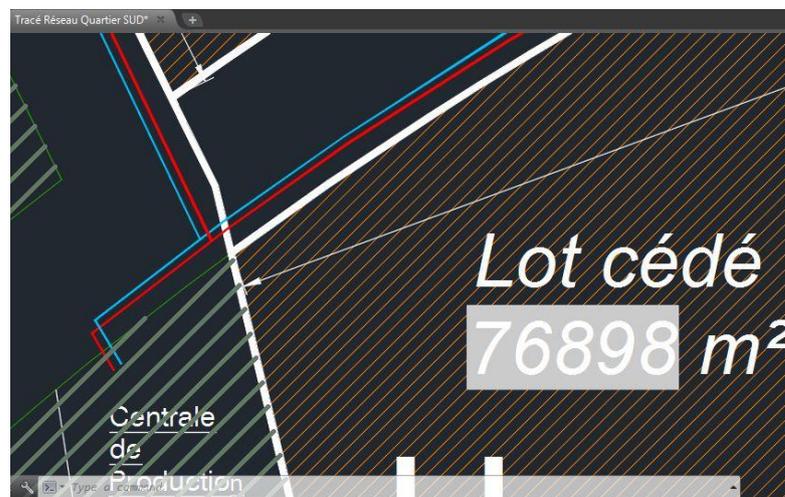


| Tube médian |             |           | Enveloppe extérieure |     |             |     |             |     | Longueur | Volume int. |
|-------------|-------------|-----------|----------------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|----------|-------------|
| Ø Nominal   | Ø Extérieur | Epaisseur | Isolation 1          |     | Isolation 2 |     | Isolation 3 |     |          |             |
| DN          | Dz          | E         | Dzp                  | m   | Dzp         | m   | Dzp         | m   | L        | V           |
| mm          | mm          | mm        | mm                   | kg  | mm          | kg  | mm          | kg  | m        | l/m         |
| 20          | 26.9        | 2.6       | 90                   | 2   | 110         | 3   | 125         | 4   | 6        | 0.37        |
| 25          | 33.7        | 2.6       | 90                   | 3   | 110         | 4   | 125         | 4   | 6        | 0.67        |
| 32          | 42.4        | 2.6       | 110                  | 4   | 125         | 5   | 140         | 6   | 6 , 12   | 1.09        |
| 40          | 48.3        | 2.6       | 110                  | 4   | 125         | 6   | 140         | 6   | 6 , 12   | 1.46        |
| 50          | 60.3        | 2.9       | 125                  | 6   | 140         | 7   | 160         | 7   | 6 , 12   | 2.33        |
| 65          | 76.1        | 2.9       | 140                  | 7   | 160         | 8   | 180         | 9   | 6 , 12   | 3.88        |
| 80          | 88.9        | 3.2       | 160                  | 9   | 180         | 10  | 200         | 11  | 6 , 12   | 5.35        |
| 100         | 114.3       | 3.6       | 200                  | 13  | 225         | 15  | 250         | 16  | 6 , 12   | 9.01        |
| 125         | 139.7       | 3.6       | 225                  | 16  | 250         | 18  | 280         | 19  | 6 , 12   | 13.79       |
| 150         | 168.3       | 4.0       | 250                  | 21  | 280         | 23  | 315         | 25  | 6 , 12   | 20.18       |
| 200         | 219.1       | 4.5       | 315                  | 31  | 355         | 34  | 400         | 38  | 6 , 12   | 34.67       |
| 250         | 273.0       | 5.0       | 400                  | 44  | 450         | 50  | 500         | 55  | 6 , 12   | 54.33       |
| 300         | 323.9       | 5.6       | 450                  | 57  | 500         | 64  | 560         | 71  | 6 , 12   | 76.80       |
| 350         | 355.6       | 5.6       | 500                  | 64  | 560         | 73  | 630         | 83  | 6 , 12   | 93.16       |
| 400         | 406.4       | 6.3       | 520                  | 77  | 630         | 91  | 670         | 100 | 6 , 12   | 121.80      |
| 450         | 457.0       | 6.3       | 560                  | 86  | 670         | 105 | 710         | 111 | 6 , 12   | 155.25      |
| 500         | 508.0       | 6.3       | 630                  | 98  | 800         | 130 | 900         | 146 | 6 , 12   | 192.75      |
| 600         | 610.0       | 7.1       | 800                  | 150 | 900         | 166 | 1000        | 183 | 6 , 12   | 278.80      |

DN des Conduites en Acier Galvanisé du réseau de Chaleur



La simulation sur Epanet nous permettra par la suite d'estimer les diamètres nominaux des canalisations.



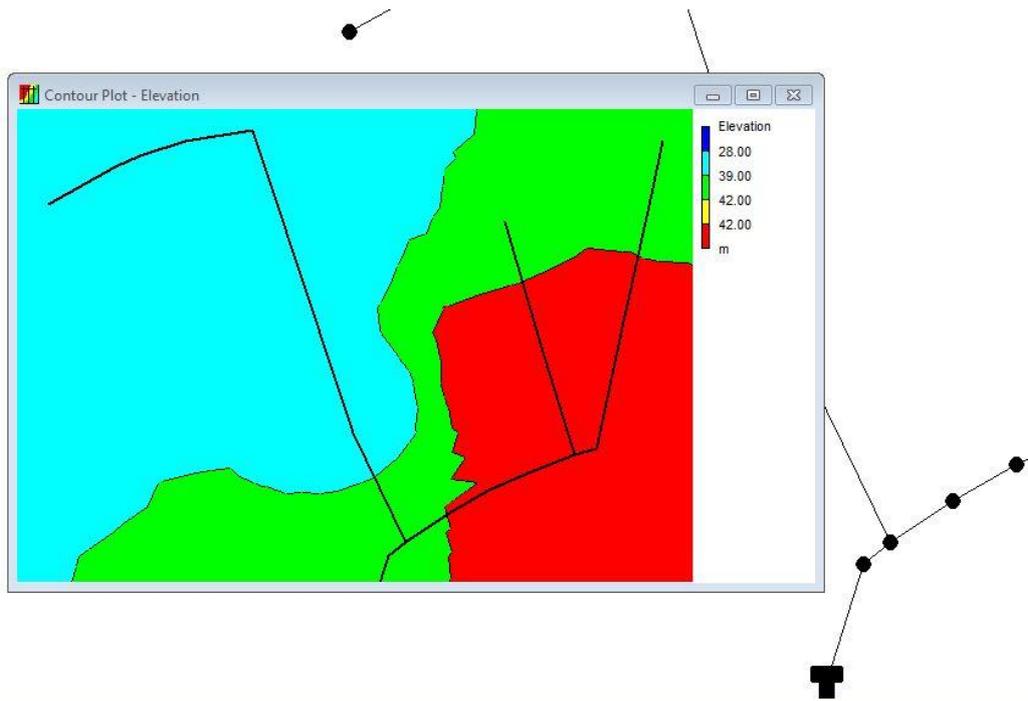
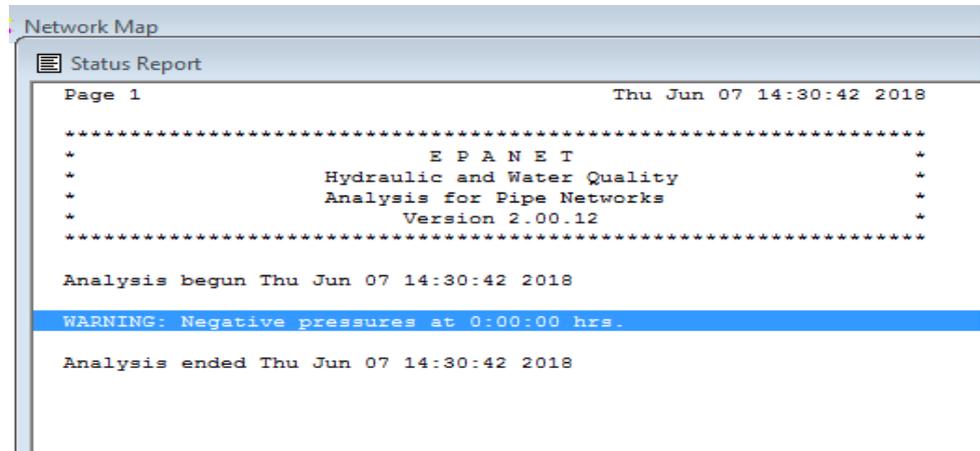
Conduite Maitresse du réseau de Chaleur

On a effectué une première simulation sur **Epanet**, en mettant en place une **Bâche** de stockage d'eau (Tank) sur une cote de **50m**, avec une charge initiale de 10m de colonne d'eau. La conduite maitresse montrée ci-dessus, a été prise d'un diamètre **DN200**, ce qui correspond suivant le tableau précité à un diamètre intérieur de **215.6 mm**, le reste des conduites du réseau en Acier Galvanisé ont été prise au même diamètre.

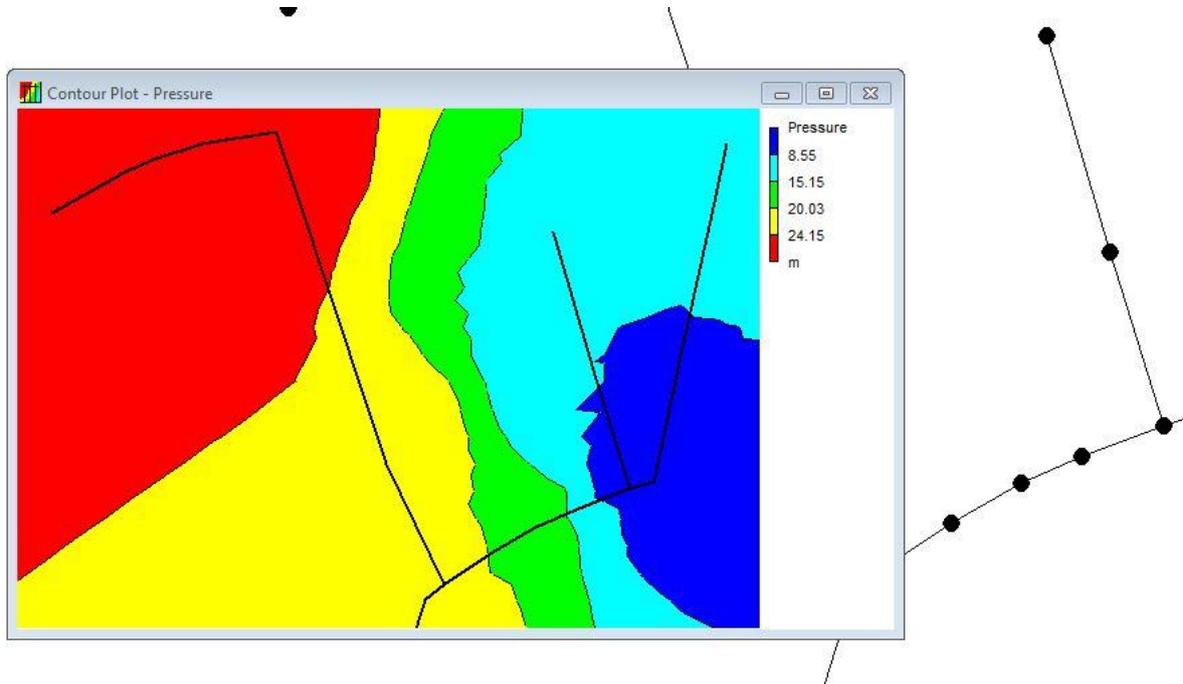
Une première simulation du réseau déclare une erreur de **pressions négatives**

Ce qui veut dire qu'il faut effectuer des changements au niveau des **diamètres de conduites** ou/et sur la cote de la Bâche. On a donc générer un

graphique du comportement de la pression à travers le réseau, que les variations de la pression dans le réseau de chaleur, afin de mieux voir l'écoulement d'eau chaude, à travers les graphes fournis par Epanet :



**Pression :**



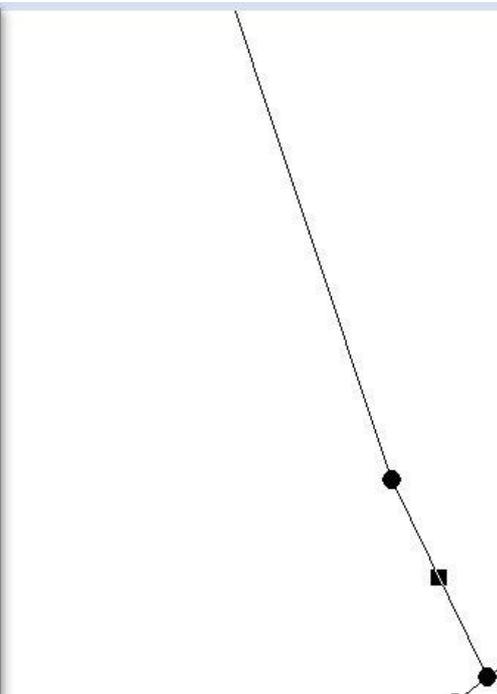
On a donc dû de rajouter 15m comme charge initiale de la Bache d'eau, et changer le diamètre de la conduite maitresse à **DN400**, ce qui veut dire, un diamètre intérieur de  $406.4 - 6.3 = 400.1$  mm

le reste des conduites est maintenu au même diamètre précédent **DN200**

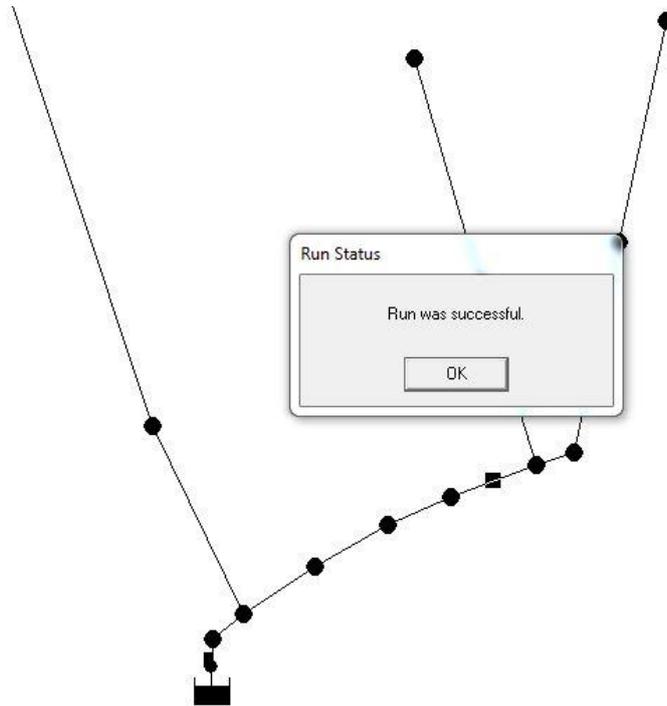
| Property        | Value |
|-----------------|-------|
| *Pipe ID        | 1     |
| *Start Node     | 1     |
| *End Node       | n1    |
| Description     |       |
| Tag             |       |
| *Length         | 30    |
| *Diameter       | 400   |
| *Roughness      | 0.1   |
| Loss Coeff.     | 0     |
| Initial Status  | Open  |
| Bulk Coeff.     |       |
| Wall Coeff.     |       |
| Flow            | 92.14 |
| Velocity        | 0.73  |
| Unit Headloss   | 1.15  |
| Friction Factor | 0.017 |
| Reaction Rate   | 0.00  |
| Quality         | 0.00  |
| Status          | Open  |



| Property        | Value |
|-----------------|-------|
| *Pipe ID        | p13   |
| *Start Node     | n2    |
| *End Node       | n15   |
| Description     |       |
| Tag             |       |
| *Length         | 122.5 |
| *Diameter       | 215.6 |
| *Roughness      | 100   |
| Loss Coeff.     | 0     |
| Initial Status  | Open  |
| Bulk Coeff.     |       |
| Wall Coeff.     |       |
| Flow            | 23.00 |
| Velocity        | 0.63  |
| Unit Headloss   | 28.86 |
| Friction Factor | 0.308 |
| Reaction Rate   | 0.00  |
| Quality         | 0.00  |
| Status          | Open  |



La simulation a donc réussi pour les changements effectués, après d'autres tentatives faites en changeant les diamètres des tuyauteries. Le souci étant d'avoir des pressions capables d'alimenter les sous-stations trouvées en pied des bâtiments des usagers, et de maintenir par ailleurs des vitesses comprises entre 0.3 m/s et 1.5 m/s.



Par la suite, on a récupéré la Note de Calcul fournie par Epanet contenant la Charge(Head), les Pressions et les débits suivant les Nœuds du réseau :

| Node ID  | Demand LPS | Head m | Pressure m | Quality |
|----------|------------|--------|------------|---------|
| Junc n1  | 0.00       | 64.97  | 22.97      | 0.00    |
| Junc n2  | 38.12      | 64.68  | 22.68      | 0.00    |
| Junc n5  | 0.00       | 62.03  | 20.03      | 0.00    |
| Junc n6  | 0.00       | 59.52  | 17.52      | 0.00    |
| Junc n7  | 0.00       | 57.39  | 15.39      | 0.00    |
| Junc n8  | 10.36      | 54.63  | 2.63       | 0.00    |
| Junc n9  | 0.00       | 54.56  | 2.56       | 0.00    |
| Junc n10 | 2.21       | 54.20  | 8.20       | 0.00    |
| Junc n11 | 2.18       | 54.02  | 14.02      | 0.00    |
| Junc n12 | 2.80       | 54.00  | 15.00      | 0.00    |
| Junc n13 | 6.04       | 54.55  | 8.55       | 0.00    |
| Junc n14 | 7.35       | 54.15  | 15.15      | 0.00    |
| Junc n15 | 3.95       | 61.15  | 24.15      | 0.00    |
| Junc n16 | 5.35       | 54.72  | 24.72      | 0.00    |

Les pressions aux réseaux varient entre **2.7 bars et 0.25 bars**, il faut donc prévoir des supprimeurs au niveau des locaux techniques des sous stations des bâtiments afin de remonter les pressions surtout au niveau des Nœuds N8, N9 et N10.

La Note de Calcul relative aux vitesses d'écoulement dans les **conduites(Pipes)** , **les débits et les pertes de charge singulières(Unit Headloss)** est aussi donnée par le tableau suivant :

| Link ID  | Flow LPS | Velocity m/s | Unit Headloss m/km | Friction Factor | Reaction Rate mg/L/d | Quality | Status |
|----------|----------|--------------|--------------------|-----------------|----------------------|---------|--------|
| Pipe p1  | 92.14    | 0.73         | 12.51              | 0.183           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p3  | 30.94    | 0.85         | 52.21              | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p4  | 30.94    | 0.85         | 52.21              | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p5  | 30.94    | 0.85         | 52.21              | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p6  | 30.94    | 0.85         | 52.21              | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p7  | 7.19     | 0.20         | 2.83               | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p8  | 7.19     | 0.20         | 2.83               | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p9  | 4.98     | 0.14         | 1.36               | 0.309           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p10 | 2.80     | 0.08         | 0.43               | 0.310           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p11 | 13.39    | 0.37         | 0.67               | 0.021           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p12 | 7.35     | 0.20         | 2.95               | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p13 | 23.00    | 0.63         | 28.86              | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p14 | 19.07    | 0.52         | 19.85              | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |
| Pipe p16 | 13.75    | 0.38         | 10.31              | 0.308           | 0.00                 | 0.00    | Open   |

Les vitesses varient entre **1.16 m/s et 0.08 m/s**, pour les faibles vitesses on propose des supprimeurs en pied du Bâtiment.

### 6.3.3 Emplacement des vidanges et des ventouses :

Pour permettre une exploitation adéquate des conduites de réseau, il est nécessaire de prévoir un certain nombre d'organes de manœuvres et de sécurité qui comprennent :

- Vidanges pour l'équipement de quelques points bas qui permettent le nettoyage de la conduite,
- Ventouses pour l'équipement de quelques points hauts qui permettent le dégazage de la conduite.

Les ouvrages de points hauts et points bas doivent être accessibles à tout moment. Ils ne doivent pas être implantés dans des endroits inondables, ni dans les exutoires des bassins versants pluviaux. Les

regards abritant ces ouvrages doivent être rehaussés de 15 à 20 cm/TN, pour éviter toute pénétration des eaux de pluies.

Pour les ouvrages de points bas, ils doivent être implantés, dans la limite du possible, près des routes et des pistes, pour pouvoir utiliser, le cas échéant, les fossés de ces dernières.

#### a) Equipement des points haut

Les ventouses doivent être de type triple fonction conformément aux normes NF EN 1074-1 & NF EN 1074-4. Ces ventouses doivent avoir les caractéristiques essentielles suivantes :

- Corps et chapeau en fonte ductile revêtus en interne et en externe en peinture époxy alimentaire de couleur Blue, épaisseur min **200 $\mu$ m** ;

- Et permettre de réaliser automatiquement les trois fonctions suivantes :

- Evacuation de l'air à grand débit pendant le remplissage des canalisations,
- Rentrée de l'air à grand débit pendant la vidange,
- Purge de l'air sous pression chaque fois qu'une poche d'air tend à se créer.

Elles seront installées aux points hauts de la canalisation, munie d'un robinet vanne de sectionnement. Comme cité auparavant, Il est adopté les ventouses suivantes :

- **DN 60 mm** pour la conduite de DN < 315 mm ;
- **DN 80 mm** pour la conduite de DN > ou = 315 mm.

Les regards destinés à abriter les ventouses sont en **béton armé**.

#### b) Equipement des points bas

Le montage de ces appareils, lorsqu'ils sont prévus, doit être réalisé au point bas d'un tronçon. Leur raccordement sur un réseau d'eaux usées est interdit.

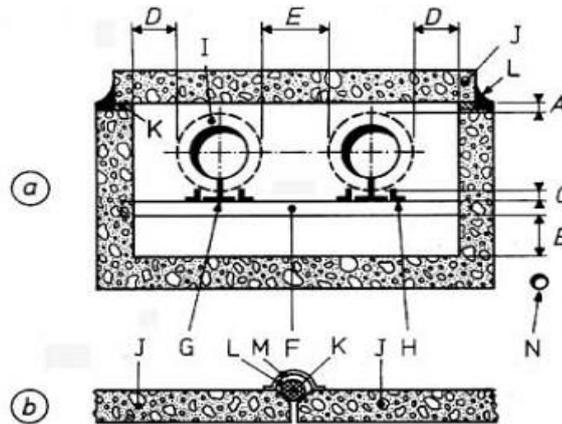
Il est adopté les vidanges suivantes:

- DN 80 mm pour la conduite de DN < 315 mm ;
- DN 100 mm pour la conduite de DN > ou = 315 mm.

6.4 Détails de Tranchée du réseau :

6.4.1 Modes d'installation des tuyauteries :

1) **Installation en caniveau** C'est la méthode certainement la plus utilisée pour l'installation des tuyauteries des réseaux urbains de chaleur, et celle que l'on peut considérer comme la plus sûre, à condition évidemment de suivre un certain nombre de règles.



Cotes minimales :  $A = C = 20 \text{ mm}$   
 $B = D = 80 \text{ mm}$   
 $E = 120 \text{ mm}$

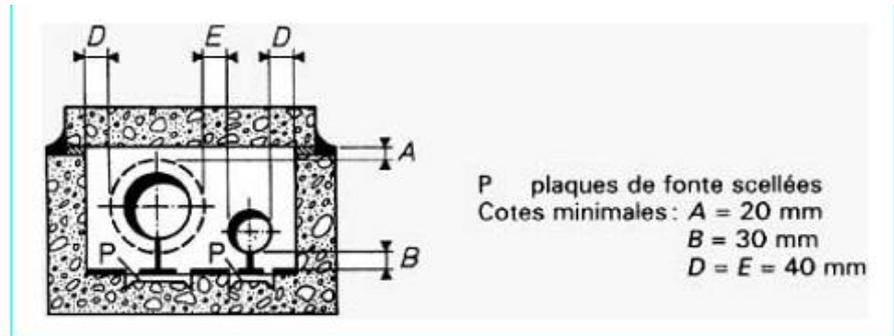
- F support de tuyauteries scellé dans le caniveau
- G patin
- H guidage
- I calorifuge
- J dalles de couverture
- K joint bitumineux plastique
- L joint au mortier
- M enduit bitumineux ou carton bitumé collé (éventuellement)
- N drain éventuel

- (a) coupe transversale du caniveau
- (b) coupe longitudinale des dalles

Figure 50 : Tuyauteries de chauffage installées dans un caniveau en béton armé

**Construction des caniveaux :**

Le caniveau est, en règle générale, réalisé en béton armé coulé sur place, les dalles étant préfabriquées. Le béton armé doit être calculé en fonction du poids de la terre et des surcharges au niveau du sol, qui peuvent être fixes ou roulantes : c'est le cas des véhicules pour les caniveaux sous chaussée, sous trottoir, ou même sous espaces verts, car il ne faut pas oublier dans ce cas la période d'aménagement dans les zones nouvelles, durant laquelle les véhicules de chantier circulent un peu partout.



P plaques de fonte scellées  
 Cotes minimales :  $A = 20 \text{ mm}$   
 $B = 30 \text{ mm}$   
 $D = E = 40 \text{ mm}$

Figure 51 : Tuyauteries de chauffage installées dans un caniveau en BA: deux tubes de diamètres différents

- le **caniveau** est supposé enfoncé à une **profondeur** au plus égale à **0,40 m** (au-dessus de la dalle) ;
- la **charge statique** est égale à **1,2 × 6 t** sur un carré de **0,25 m** de côté.

**II) Tuyauteries enterrés :**

On désigne sous ce nom les tuyauteries qui ne sont ni en galeries ni en caniveau, mais directement enfouies dans la terre avec leur calorifuge autour.

Les avantages recherchés dans ces procédés, par rapport aux caniveaux, sont :

- un prix de revient moins élevé ;
- un plus faible encombrement ;
- une parfaite étanchéité de la protection du calorifuge.

Ce genre de Tuyauteries est conçu pour les zones à faible activité de trafic, surtout le passage du Poids Lourd, le passage des tranchées lors des traversées de Chaussées pourrait être accompagnée d'une dalle éventuelle afin de répartir la charge du trafic et protéger les conduites contre l'écrasement. Des dispositions de lit de Pose et de travaux de terrassement sont aussi prévues. La Figure ci-dessous montre les détails de pose des conduites du réseau de Chaleur Urbain.

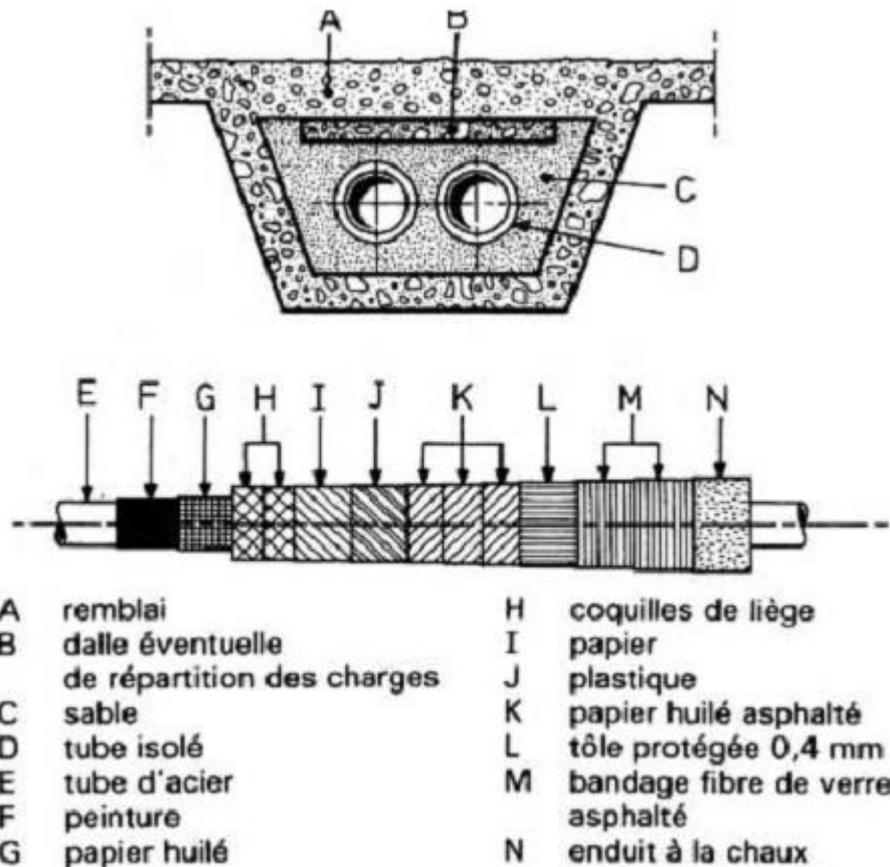


Figure 52: Tuyauteries calorifugées enterrées, protégées par couches multiples

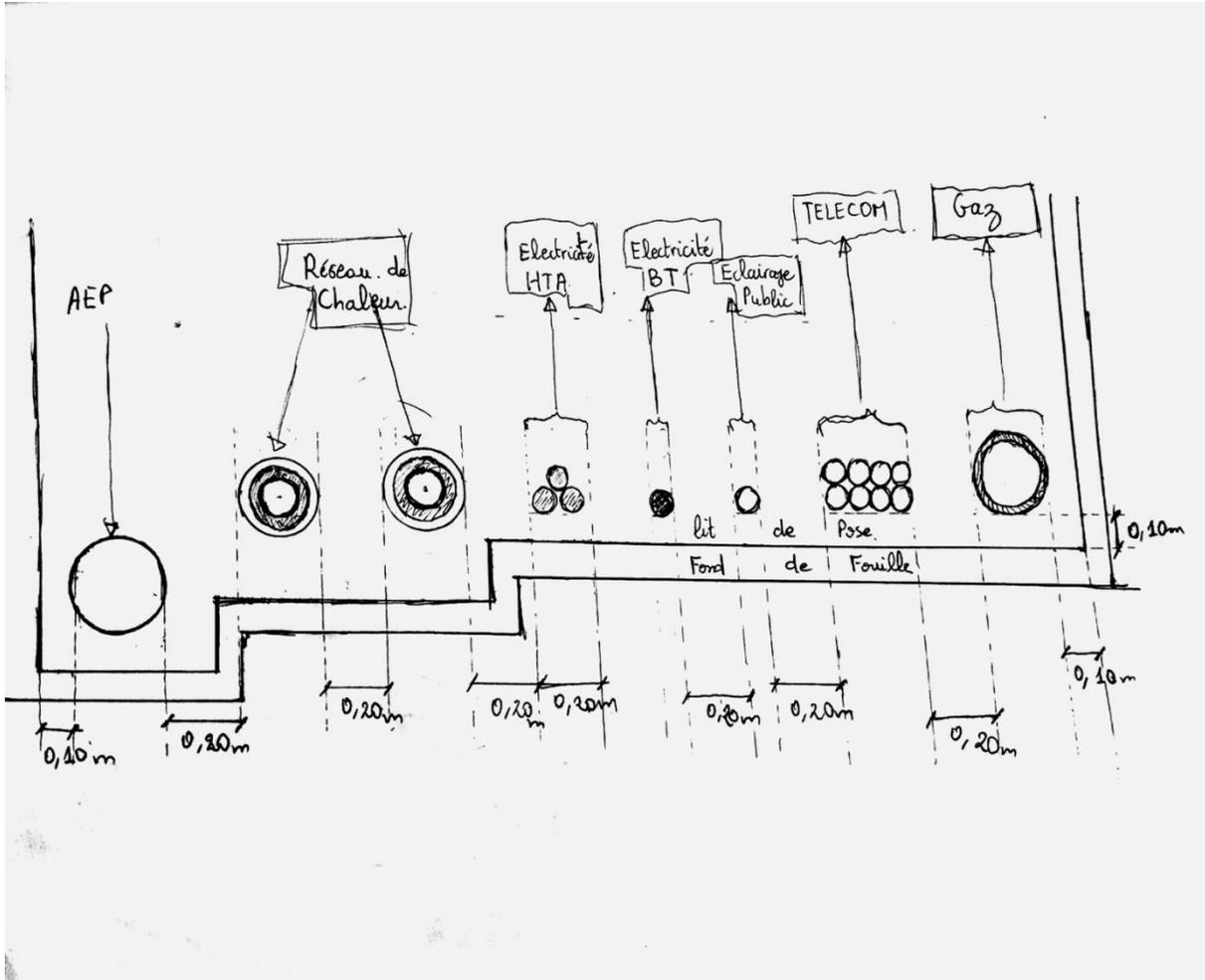


Figure 53: détails tranchée du réseau de chaleur/ distance par rapport aux autres réseaux

## 6.5 Cout de réalisation du réseau de chaleur (Réseau Primaire) :

### Des conduites en Acier Galvanisé

Le matériau choisi pour notre cas serait l'**Acier Galvanisé** ; Pour les qualités que ce dernier porte, il est le plus utilisé dans les réseaux de chaleur en France ; le coût du réseau de Chaleur en **Acier** dépend du diamètre des conduites ainsi que de l'environnement dans lequel elles sont posées, la densité urbaine principalement. On trouve ainsi des prix allant de moins de **300€ par mètre linéaire de réseau (€/ml) à plus de 1300€/ml (matériel et pose)**. Ces nouvelles conduites sont cependant réservées à des températures basses (température maximale d'environ 95°C).

Ci-dessous un tableau des prix du mètre linéaire des tuyauteries, évoluant en fonction du DN :

| Code     | Réf Four. | Ø nominal (DN) | Ø extérieur (mm) | Epaisseur (mm) | Prix Public HT  | Dispo   |
|----------|-----------|----------------|------------------|----------------|-----------------|---|
| 11730397 | 73039     | 200            | 218,1            | 6,3            | 112,44 €<br>1 M |   |
| 11730413 | 73041     | 200            | 244,5            | 6,3            | 141,73 €<br>1 M |   |
| 11730439 | 73043     | 250            | 273              | 6,3            | 129,70 €<br>1 M |   |
| 11730454 | 73045     | 300            | 323,9            | 7,1            | 214,46 €<br>1 M |   |
| 11730470 | 73047     | 350            | 355,6            | 8              | 270,08 €<br>1 M |   |
| 11730496 | 73049     | 400            | 408,4            | 8,8            | 395,98 €<br>1 M |   |

#### L'isolation thermique- Calorifuge :

En matière de **Calorifuge et Isolation thermique**, les tuyauteries du réseau seront calorifugé par de couches de **Laine de Roche**, avec l'utilisation des **coquilles** sur les points de soudure et les coudes du réseau ; on a donc recueilli les prix de vente de ce type de matériau sur le marché marocain, les tableaux ci-dessous montrent les prix en fonction des épaisseurs du Calorifuge :

| COQUILLE LR 450                       | Caractéristiques Techniques |       |       |       | Normes                |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|
| Matière                               | Laine de roche              |       |       |       |                       |
| Coefficient de conductivité thermique | t° moy (°C)                 | 100   | 200   | 300   | EN ISO 8497           |
|                                       | $\lambda$ (W/mK)            | 0,047 | 0,069 | 0,100 |                       |
| Température de service maximale       | 550 °C                      |       |       |       | EN 14707<br>ASTM C411 |
| Réaction au feu                       | M0                          |       |       |       |                       |
| Masse volumique                       | 90 Kg/m3                    |       |       |       | EN 13468              |
| Longueur des coquilles                | 1000 mm                     |       |       |       |                       |

| Diam int | Ep. 30 mm |          | Ep. 40 mm |          | Ep. 50 mm |          | Ep. 60 mm |          |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
|          | prix ml   | colisage |
| 21       | 6,49      | 52       | 9,97      | 30       | 13,67     |          | 20,02     |          |
| 27       | 6,93      | 46       | 10,58     | 30       | 14,34     | 22,5     | 20,92     | 16       |
| 34       | 7,51      | 40       | 11,27     | 27       | 15,13     | 20       | 21,90     | 14       |
| 42       | 8,15      | 38       | 12,06     | 24       | 16,02     | 18       | 23,06     |          |
| 49       | 8,74      | 34       | 12,72     | 21       | 16,83     | 14       | 24,01     |          |
| 60       | 9,61      | 28       | 13,83     | 20       | 18,08     | 14       | 25,56     |          |
| 70       | 10,39     | 24       | 14,81     |          | 19,22     |          | 27,02     |          |
| 76       | 10,90     | 23       | 15,42     | 15       | 19,87     | 12       | 27,87     |          |
| 89       | 11,93     | 20       | 16,72     | 15       | 21,38     | 10       | 29,72     | 8        |
| 102      | 12,99     | 17       | 18,02     | 11       | 22,83     |          | 31,55     | 7        |
| 108      | 13,49     | 15       | 18,61     | 11       | 23,48     |          | 32,43     |          |
| 114      | 13,98     | 15       | 19,18     | 11       | 24,17     | 9        | 33,26     | 6        |
| 133      | 15,47     | 12       | 21,05     | 9        | 26,28     | 7        | 40,71     |          |
| 140      | 16,02     | 11       | 21,75     | 9        | 32,23     | 7        | 41,84     | 6        |
| 160      | 17,65     | 10       | 28,19     | 7        | 34,92     | 6        | 45,14     |          |
| 168      | 18,28     | 9        | 29,13     | 7        | 35,96     | 6        | 46,35     | 6        |
| 194      | 24,23     | 7        | 32,21     | 6        | 39,48     | 5        | 50,48     | 4        |
| 219      | 26,64     | 6        | 35,11     | 5        | 42,80     | 4        | 54,54     | 3,5      |
| 244      | 29,01     | 6        | 38,06     | 4        | 46,17     | 3        | 58,57     | 3,5      |
| 273      | 31,78     | 6        | 41,48     | 3,5      | 50,08     | 3        | 63,25     | 3,5      |
| 324      | 36,62     | 7        | 47,46     |          | 56,90     |          | 71,45     | 2,5      |

\*\*Les Prix sont en MAD

#### Estimation du cout de réalisation des conduites du réseau :

D'après le tracé sur **Epanet**, on récupère les longueurs des conduites (Allé et Retour sont identiques).

Par la suite on a élaboré la feuille de calcul Excel suivante, en se basant sur les données précitées dans les tableaux ci-dessus :

| Diamètre DN mm | Longueur du Tronçon Ml | Cout Du tronçon MAD |                                 | DN400   | DN200   |
|----------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|---------|---------|
| DN400          | 22,53                  | 71282,667           | Laine de Roche Ep30mm           | 36,45   | 24,23   |
| DN400          | 30                     | 94917               | Cout du mL d'acier Galvanisé    | 3127,45 | 1015,5  |
| DN200          | 323,8                  | 336664,574          | Cout du Ml Conduite+ Calorifuge | 3163,9  | 1039,73 |
| DN200          | 68,65                  | 71377,4645          |                                 |         |         |
| DN200          | 47,37                  | 49252,0101          |                                 |         |         |
| DN200          | 27,06                  | 28135,0938          |                                 |         |         |
| DN200          | 78,07                  | 81171,7211          |                                 |         |         |
| DN200          | 50,87                  | 52891,0651          |                                 |         |         |
| DN200          | 48,12                  | 50031,8076          |                                 |         |         |
| DN200          | 40,7                   | 42317,011           |                                 |         |         |
| DN200          | 52,96                  | 55064,1008          |                                 |         |         |
| DN200          | 110,5                  | 114890,165          |                                 |         |         |
| DN200          | 137,7                  | 143170,821          |                                 |         |         |
| DN200          | 23,49                  | 24423,2577          |                                 |         |         |
| DN200          | 126,2                  | 131213,926          |                                 |         |         |
| DN200          | 132,2                  | 137452,306          |                                 |         |         |
| DN200          | 60,37                  | 62768,5001          |                                 |         |         |
|                | Total DN200            | 166199,667          |                                 |         |         |
|                | Total DN400            | 1380823,824         |                                 |         |         |
|                | Total Réseau (Allé)    | 1547023,491         |                                 |         |         |
|                | Total Allé + Retour    | 3094046,982         |                                 |         |         |

Donc on peut récapituler dans le tableau ci-dessous les coûts généraux de la réalisation du réseau primaire (Aller et Retour), en tenant compte des travaux de terrassements généraux, et des coûts des études, qui ont été fournies par nos collaborateurs français du **Groupe TRACTABEL ENGIE**, et qui s'élève à **30 000 €** ; la F+P (Fourniture et Pose) de **pièces spéciales en fonte et équipements hydromécanique** est estimée à **30% montant de canalisations**. Ce qui donne :

| N°Prix             | Désignation  | Unité | Quantité                        | Prix unitaire | Prix total       |
|--------------------|--|-------|---------------------------------|---------------|------------------|
| 1                  | Etudes d'exécution   | F     | 1                               | 300 000       | 300 000          |
| 2                  | Travaux de terrassement  | M3    | 2 800                           | 150           | 420 000          |
| 3                  | F+P de canalisation en DN 400                                  | MI    | 108                             | 3 164         | 341 712          |
| 4                  | F+P de canalisation en DN 200                                  | MI    | 2 658                           | 1 015         | 2 697 870        |
| 5                  | F+P de pièces spéciales en fonte et équipements hydromécanique | Ens   | 30% du montant de canalisations |               | 1 128 000        |
| <b>Total en HT</b> |  |       |                                 |               | <b>4 887 582</b> |

On retient ainsi un **montant global** du réseau primaire de **4 887 582 HT**

## 7 Solution SMART pour les réseaux de Chaleur Urbain :

### 7.1 Généralités :

Les **réseaux intelligents ou smart grids** permettent de mieux ajuster production et consommation d'énergie, mais aussi d'accéder aux consommations réelles des clients connectés au réseau de chaleur. La cartographie des consommations des clients permet d'ajuster avec finesse les besoins, en particulier pendant les pics de consommation. La maîtrise des consommations d'énergie favorise les économies.

## Le réseau intelligent : Les acteurs

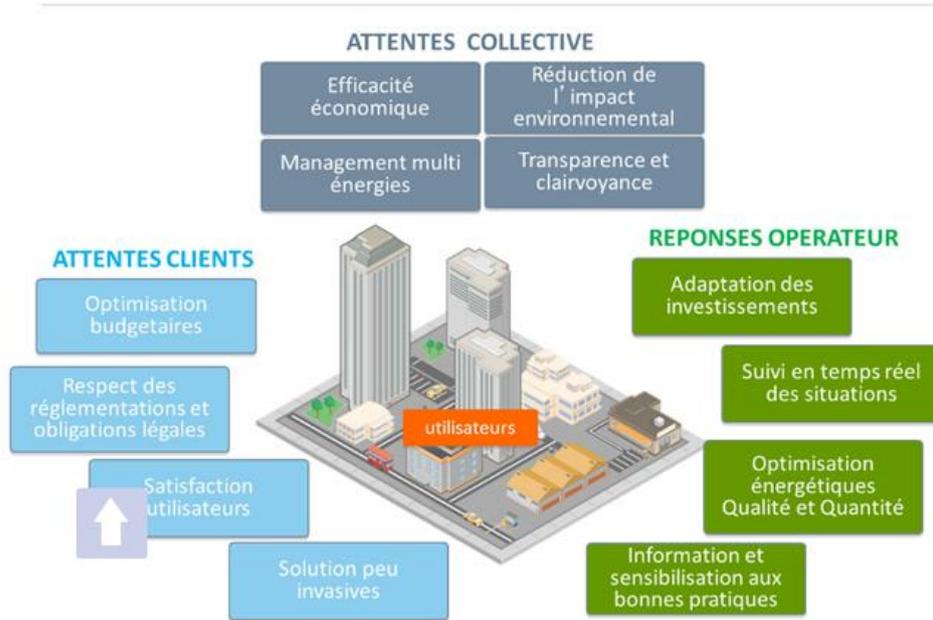
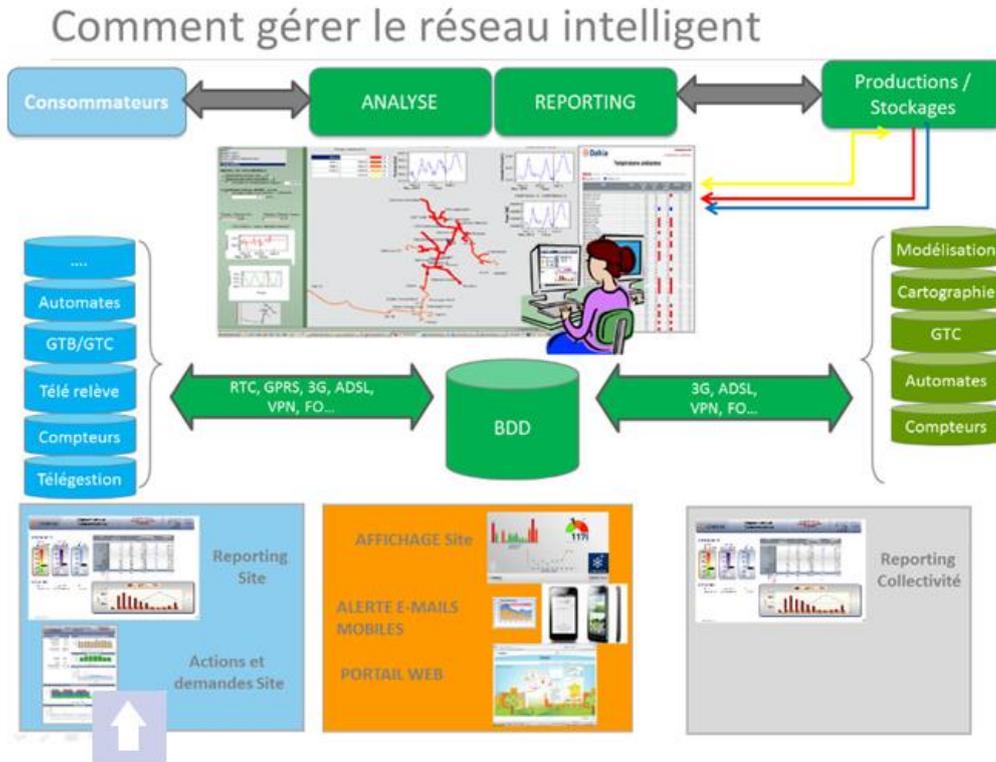


Figure 55: les acteurs d'un réseau intelligent

La réponse de l'opérateur face aux demandes **d'efficacité économique et d'optimisation budgétaire** est une optimisation des investissements et la mise en œuvre d'un suivi en temps réel des situations. Le pilotage du réseau est en train de passer du mode « la chaleur était produite sans grande préoccupation de la consommation » à un mode « **la chaleur est produite pour répondre à une demande actuelle ou à venir en limitant l'impact** ». Cette demande n'est pas nécessairement de la chaleur utile à l'instant T pour les clients. Il s'agit d'avoir une démarche d'optimisation énergétique – ne pas seulement produire en quantité, mais de surveiller la qualité de l'énergie consommée et quand elle est consommée – et c'est bien l'objet des réseaux intelligents. Outre une conception et une gestion sophistiquée, un des moyens est également d'informer et de sensibiliser les utilisateurs aux bonnes pratiques.

## 7.2 Gestion d'un réseau de chaleur intelligent :



Source : Delia

Figure 56: mise en œuvre d'un réseau intelligent

La mise en œuvre du réseau de chaleur doit prendre en compte la notion de **planification urbaine**. Il faut faire des choix (quels bâtiments seront raccordés au réseau de chaleur, quelles énergies seront utilisées, quels impacts cela aura) en fonction du mix énergétique (électricité, gaz, chaleur) souhaité pour le quartier. Cela est possible grâce à l'outil « **Gestion Mix** ». Il permet à l'opérateur de proposer aux autorités territoriales de comparer différents mix énergétiques en prenant en compte les types de bâtiments, les demandes et les ressources en fonction de différents critères (empreinte environnementale, développement durable, etc.).

Cette gestion met en œuvre une **relation tridimensionnelle** entre les états de **Consommations**, l'**Analyse** du comportement des consommateurs, le **Reporting** et l'**affichage** sur des plateformes informatiques, qui vont permettre par la suite **d'agir sur les modes de stockage et de production**.

Rendre les réseaux intelligents consiste à les doter de **capteurs** et à connecter ces derniers à **des systèmes de communication**. En collectant et en analysant les données provenant des divers points des réseaux, il est ainsi possible de prendre en compte les actions des acteurs du système électrique, parmi lesquels figurent les consommateurs. L'objectif est d'optimiser le fonctionnement des réseaux et d'assurer, à tout instant et moyennant une réactivité et une fiabilité accrues, l'équilibre entre l'offre et la demande. En France, le compteur communicant Linky constitue la première pierre de ces réseaux du futur.

### Description synthétique :

Le principe des **Smart Grids** pour la chaleur, consiste à permettre au réseau de distribution de chaleur de communiquer en doublant le réseau déjà existant d'une infrastructure de télécommunication reliant le producteur au consommateur. Le but est d'assurer l'équilibre entre **l'offre et la demande** de la Chaleur à tout instant et de fournir un approvisionnement sûr, durable et compétitif aux consommateurs.

Le réseau de distribution intelligent se compose :

- D'un compteur « intelligent » (**smart meter**) chez l'utilisateur,
- D'un **logiciel de suivi** et de gestion de la consommation client,
- D'une infrastructure de **communication** reliant le consommateur au producteur,
- De serveurs informatiques et de logiciels de back-office permettant au producteur de stocker et d'analyser les informations. La communication en temps réel entre l'électricien et l'utilisateur final permet un pilotage plus fin du réseau.

Grâce au **Smart Grid** :

- le producteur d'énergie peut connaître **la consommation en temps réel** et ainsi optimiser l'allocation des sources de production,
- le consommateur reçoit un maximum d'informations afin d'analyser et d'éventuellement réduire sa consommation.

### 7.3 Supervision et Maitrise :

Le **CPCU**, Chauffage Parisien de Chauffage Urbain, est un délégataire de service public de distribution de chaleur de la Ville de Paris, exploite et développe ainsi le plus important réseau de chaleur urbain de France : 9 sites de production d'énergie et un réseau de distribution de 509 km pour les besoins de 500 000 équivalents logements desservant 17 communes dont Paris. Cette compagnie a développé un système de **supervision du réseau Parisien**, il dispose de très nombreuses informations en temps réel grâce à **des capteurs** placés à des endroits spécifiques sur les installations CPCU. Ils connaissent en permanence l'état du bouquet **énergétique, les émissions de**



**CO<sub>2</sub>**, la **température**, la **pression** et le **débit** de valeur au sein du réseau, l'état de fonctionnement d'équipements, la conductivité de l'eau, les prévisions météorologiques, etc.

Plusieurs logiciels développés spécifiquement pour CPCU permettent par exemple de simuler très précisément l'impact de tout événement sur le réseau (nouveau raccordement, etc.) ou de prévoir et anticiper les besoins en chaleur des clients.

La **Main Courante Informatique (MCI)**, concept novateur développé spécialement par CPCU, permet d'assurer toutes les actions de conduite : commande à distance de **l'ouverture d'une vanne**, mise en **fonctionnement d'une pompe** ou modification de son débit, etc. Toutes les actions réalisées sont totalement traçables pour permettre une analyse a posteriori et une amélioration continue des processus.

Pour assurer la supervision et la conduite du réseau en toutes circonstances, un dispatching de repli est implanté dans un bâtiment annexe, il dispose de ses propres serveurs informatiques et d'une alimentation électrique indépendante. Si ce site de repli venait à être indisponible, CPCU prévoit en secours un système de pilotage du réseau à distance, opérationnel depuis chacun de ses sites de production.

#### 7.4 Exemple d'un réseau de Chaleur intelligent :

Dans ce qui suit, on va citer un modèle de réseau intelligent de la marque **Terrendis**, en collaboration avec **RFID ELIOT**, spécialistes des capteurs sur les **SMART Grids**.

Par ailleurs, la possibilité d'intégrer la **RFID ELIOT**, est la seule technologie permettant de **géo référencer** les réseaux à tranchée fermée, aux réseaux de canalisations enterrées en **tube pré-isolé**, ce qui constitue une avancée importante en termes de gestion des chantiers.



Figure 57: Capteurs de Géo référencement des canalisations

Il s'agit d'un système de canalisations pré-isolées **"intelligent"** équipé de **puces RFID** qui en permet la localisation et l'identification avec une précision de **l'ordre du cm** et ceci jusqu'à **1,5 m de profondeur**.

Cette technologie est la seule permettant de géo référencer les réseaux enterrés sans ouvrir la tranchée avec une précision centimétrique quel que soit le type de sol.

Les marqueurs RFID, tags passifs protégés dans des boîtiers en polymère rigides, étanches et très résistants, peuvent être installés sur des parties importantes des réseaux enterrés comme les kits d'isolation, les boîtes de jonction, etc..., ou alors à intervalles réguliers tout au long de la canalisation

Avec le **détecteur portatif ELIOT**, les ouvrages enterrés peuvent être précisément localisés et identifiés depuis la surface du sol (sans ouvrir la tranchée). ELIOT mobile est une application dédiée aux Smartphones Android équipés de la fonction **NFC (Near Field Communication)** qui permet de communiquer au contact avec le marqueur ELIOT, qu'il s'agisse de l'interroger ou de le programmer.

Le **GPS** intégré au détecteur portatif permet de **recupérer des informations géographiques** et de les intégrer avec les informations stockées dans le tag RFID dans n'importe quel type de **SIG** (Système d'informations géographiques), via un port USB. Pour une encore meilleure précision, les coordonnées géographiques peuvent également être importées par l'intermédiaire du Bluetooth d'un GPS différentiel externe. Résultats :

- Meilleure traçabilité et contrôle des réseaux ;
- Récupération des informations stockées dans le tag RFID, puis association des coordonnées GPS de chaque point et intégration dans n'importe quel type de SIG ;
- Gestion avancée des ouvrages ;

## 8 Comparaison entre rendement de la production électrique locale et du réseau de chaleur à chaudière Fioul :

Afin d'évaluer l'efficacité dudit réseau de chaleur, on a été amené à mener une étude comparative en terme de rendement, entre celui d'un réseau de chaleur urbain et un système de chauffage individuel, grâce à des installations principalement électriques, les résultats de cette étude sont issues d'un rapport fourni par le **Conseil Général des Mines, Ministère de l'Economie des finances et de l'industrie de France**.

### 8.1 Présentation de l'Etude :

L'étude est menée sur le cas d'un logement résidentiel de référence d'une superficie de **70 m<sup>2</sup>**, Dans un immeuble de **50 logements**, Dans le cas du chauffage individuel, l'étude citée estime que les occupants régulent plus finement leur chauffage, ce qui, pour un même confort, diminue un peu la chaleur utile.

Les systèmes de Chauffage électrique fréquemment utilisés sont :

#### 1-1) Le convecteur électrique :

##### Principe

L'air froid entre par la partie basse de l'appareil. Il est chauffé par la résistance placée à l'intérieur, puis il ressort à travers une grille frontale.



## Indications

Pour chauffer les pièces de volume moyen (15 à 20 m<sup>2</sup>), en neuf ou rénovation. Il n'est pas recommandé dans les pièces de grande hauteur. Vérifier que les portes et les fenêtres sont bien isolées, mais interdire l'obstruction des bouches d'aération qui amplifie le phénomène d'humidité dans le logement par manque de ventilation.

### 1-2) Le radiateur électrique

#### Principe

Différentes technologies permettent de restituer progressivement la chaleur par rayonnement à l'air ambiant par toute la carrosserie. Le radiateur électrique constitue un point de chaleur douce et permanente sans toutefois la stocker comme les radiateurs à accumulation.



#### Indications

Pour toutes les pièces de volume moyen (15 à 20 m<sup>2</sup>) du logement, neuf ou existant.

**Donc à raison de 3 installations électriques par logement de 70 m<sup>2</sup>**

## 8.2 Evaluation de la chaleur utile et du rendement :

Dans ce logement de référence, qui a 70 m<sup>2</sup> dans un habitat social récemment construit, la chaleur utile de chauffage est de :

- **7150 kWh** pour le chauffage **individuel**,
- **7565 kWh** pour le chauffage **urbain**.

La chaleur utile pour l'**eau chaude** est de **2231 kWh**.

Donc au total, pour le chauffage et l'eau chaude la chaleur utile est de :

- **9400 kWh** par an en chauffage **individuel**.
- **9800 kWh** par an de chaleur utile en chauffage **urbain**.

L'Etude identifie d'autres pertes appelées « de régulation » et « de distribution ».

Les pertes de régulation et de distribution dans l'immeuble et jusqu'aux radiateurs sont de :

- **5 %** pour le chauffage électrique.
- **11 %** pour le chauffage individuel.
- **14 %** pour le chauffage urbain.

Quant à l'eau chaude, les pertes de stockage et distribution sont de :

- **15 %** pour le **chauffage individuel**.
- **30 %** pour le chauffage par **réseau urbain**.

#### Remarque :

Le rendement d'un chauffe-eau électrique et celui des échangeurs du chauffage urbain sont proches de 1. En revanche le rendement des chaudières individuelles est de **65 %**, celui des chaudières collectives de **75 %**.

#### 1) Quantité d'Energie Facturée :

En tenant compte des rendements et des pertes, selon cette étude, les quantités facturées chaque année sont donc de :

- **10100 kWh** pour l'électrique.
- **13000 kWh** pour l'individuel au gaz.
- **14500 kWh** pour le collectif au gaz ou au fioul.

Quant au chauffage urbain, pour une même quantité de chaleur utile, la quantité facturée sera inférieure à la quantité facturée par un chauffage collectif ou individuel. Pour le logement de référence, elle est de :

- **12200 kWh** chauffage Urbain.

#### 2) Calcul du Rendement :

Le rendement est défini comme le rapport entre la chaleur utile et la quantité d'énergie consommée par la chaudière, y compris les périodes transitoires, les périodes de fonctionnements en régime non optimal, etc.

- le rendement d'une **chaudière individuelle** ou collective est de **82 %**
- le rendement de **l'échangeur d'un réseau** de chaleur est de **95 %**.

| Chauffage + ECS Individuel  | Chauffage + ECS par Réseau de Chaleur   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Chaleur Utile de chauffage :<br/><b>7150 kWh</b></li> <li>▪ Pertes de Régulation et de Distribution :<br/><math>11\% * 7150 = \mathbf{786.5 kWh}</math></li> <li>▪ Chaleur Utile d'ECS :<br/><b>2231 kWh</b></li> <li>▪ Pertes de Stockage d'ECS :<br/><math>2231 * 15\% = \mathbf{334.65 kWh}</math></li> </ul> <p>Total : <b>10503 kWh</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Chaleur Utile de chauffage :<br/><b>7565 kWh</b></li> <li>▪ Pertes de Régulation et de Distribution :<br/><math>14\% * 7565 = \mathbf{1060 kWh}</math></li> <li>▪ Chaleur Utile d'ECS :<br/><b>2231 kWh</b></li> <li>▪ Pertes de Stockage d'ECS :<br/><math>2231 * 30\% = \mathbf{669.3 kWh}</math></li> </ul> <p>Total : <b>11525.3 kWh</b></p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le Rendement est donc :<br/><math>(10503 / 13000) * 100 = \mathbf{81\%}</math></li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le Rendement est donc :<br/><math>(11525.3 / 12200) * 100 = \mathbf{95\%}</math></li> </ul>  |

## 9 Les dispositions législatives de gestion et organisation du réseau de Chaleur en tant que délégation d'un service public :

### 9.1 L'organisation :

La **collectivité locale** est l'autorité responsable du service public de distribution de chaleur. Le chauffage urbain est, dans la plupart des cas, un **service public** que la collectivité peut soit exercer elle-même au travers d'une « **régie** », soit **déléguer à une entreprise privée**. Cette seconde option, la « **délégation de service public** » sous la forme d'une « **concession** » ou d'un « **affermage** », est le mode de gestion des réseaux de chaleur le plus utilisé en France (54 % concession ; 27 % affermage ; 19 % régie). La procédure de délégation de service public est réglementée et assure ainsi une mise en concurrence des opérateurs. La collectivité locale ou l'entreprise privée en charge de la délégation de service public vend la chaleur à ses abonnés, les gestionnaires des bâtiments.

#### 9.1.1 Les parties prenantes, leurs rôles, leurs relations :

Les principaux acteurs d'un réseau de chaleur

- **La collectivité** : autorité compétente responsable du service public de distribution de chaleur
- **L'opérateur** : gestionnaire du réseau
- Les **gestionnaires des bâtiments** raccordés : abonnés au réseau
- **Les usagers**, « bénéficiaires » du service : habitants et utilisateurs des locaux chauffés.

### 9.1.2 Type de Contrats :

- ✚ **Le contrat de délégation de service public** : précise les relations entre la collectivité et le gestionnaire du réseau (hors du cas des régies).
- ✚ **Le contrat d'abonnement** : précise les relations entre l'abonné et le gestionnaire du réseau.
- ✚ **Le règlement de service** : précise les modalités de livraison de la chaleur aux usagers.

Ils sont complétés par le contrat **d'entretien ou de performance** des installations dans le bâtiment (réseau secondaire).

## 9.2 Responsabilités des parties prenantes :

### 9.2.1 La collectivité, autorité responsable du service public de distribution de chaleur :

La distribution publique de chaleur est de **compétence communale**. La commune peut transférer sa compétence à une intercommunalité dont elle fait partie (syndicat, communauté de communes...). Le réseau de chaleur **appartient donc soit à la commune, soit à un organisme public**. Le rôle de cette autorité compétente consiste à organiser le service et à veiller à son bon fonctionnement et à sa bonne gestion tout au long de la vie du réseau.

La collectivité, autorité compétente :

- Définit le périmètre à l'intérieur duquel le réseau se développe
- Définit les caractéristiques techniques de la production de chaleur
- Choisit le mode de financement, d'exploitation et l'opérateur du réseau
- Élabore et signe les actes (notamment les contrats) nécessaires à la mise en œuvre de ses décisions
- Contrôle la bonne exécution des contrats
- Analyse chaque année les documents d'exploitation (rapport annuel)
- Organise la concertation et l'information des usagers et tient à la disposition du public les documents réglementaires
- Négocie les éventuelles modifications (changement d'installations, de mode d'exploitation, modernisation ou extension du réseau, évolution de la tarification, diversification de la production de chaleur...)

**N.B** : A chaque instant de la vie du réseau, la collectivité, autorité organisatrice, reste garante de la qualité du service public et de l'égalité de traitement des usagers.

### 9.2.2 L'opérateur : gestionnaire du réseau :

L'**opérateur**, gestionnaire du **réseau primaire**, est désigné par la collectivité, autorité organisatrice du service, en fonction des modalités de réalisation et de gestion qu'elle a choisies. Dans le cas de la régie, une **délibération de** l'autorité compétente définit les responsabilités et l'organisation du service de la collectivité en charge du réseau. Dans le cas d'une délégation, les contrats d'affermage ou de concession signés entre la collectivité et l'opérateur précisent le rôle, les responsabilités et les engagements de chacun.

Quel que soit le mode de gestion choisi par la collectivité, l'opérateur, gestionnaire du réseau, est responsable de la bonne exécution du service.

Dans le cas le plus fréquent de la **concession**, l'opérateur du réseau :

- Réalise ou fait réaliser sous son contrôle les ouvrages nécessaires à la production et à la fourniture de la chaleur
- Assure la conformité, le renouvellement et la modernisation des ouvrages
- Conduit et entretient les ouvrages et établit des programmes prévisionnels de travaux
- Module les énergies dans un souci économique, environnemental et de sécurité d'approvisionnement et garantit la continuité du service
- Garantit la fourniture de chaleur nécessaire au chauffage des bâtiments et, le cas échéant, à la production de l'eau chaude sanitaire
- Assure le comptage de l'énergie livrée en sous-station
- Prend toutes mesures intéressant la sécurité ainsi que toutes mesures d'urgence lorsqu'elles sont nécessaires
- Réalise chaque année un compte-rendu technique et financier de l'exploitation
- Transmet à l'autorité compétente, en fin de contrat, tous les biens et équipements Des contrats d'abonnement sont signés entre l'opérateur (gestionnaire du réseau) et les gestionnaires des bâtiments (ses abonnés).

Ces contrats de droit privé précisent l'ensemble des conditions de fourniture de la chaleur ; ils reprennent les règles du contrat de délégation établi entre la collectivité et l'opérateur

### 9.2.3 Les Modes d'exploitation du réseau de chaleur :

Le Tableau suivant montre les modes d'exploitation entre la collectivité et l'opérateur du réseau de Chaleur, à savoir la gestion, l'exploitation, le financement et la réalisation des investissements.

|            | Financement | Réalisation des investissements | Exploitation & gestion |
|------------|-------------|---------------------------------|------------------------|
| REGIE      | ●           | ●                               | ●                      |
| AFFERMAGE  | ●           | ●                               | ● 10 à 15 ans          |
| CONCESSION | ●           | ●                               | ● 20 à 30 ans          |

Collectivité ●      Opérateur ●

Figure 58: Modes d'exploitation du réseau de Chaleur Urbain

### 9.2.4 Les relations Collectivités/Opérateur :

Ce Graphique montre la relation qui regroupe la collectivité avec l'Opérateur dans le cadre d'une gestion déléguée d'un service public, et montre les responsabilités régies entre ces deux entités.

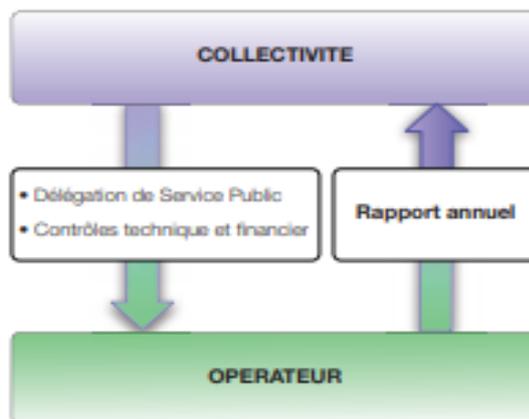


Figure 59: relation Collectivité/Opérateur

### 9.3 Les gestionnaires des bâtiments raccordés au réseau :

Dans la plupart des cas, les bâtiments raccordés à un réseau de chaleur ont un usage collectif, qu'il s'agisse d'habitat ou d'activité tertiaire. Le bâtiment est géré par un organisme dont la désignation et le rôle dépendent de son statut :

- ❖ Organismes d'habitat social ou investisseurs immobiliers pour les immeubles locatifs ;
- ❖ Syndicats de copropriétaires représentés le plus souvent par les syndicats ;
- ❖ Entreprises propriétaires de leurs locaux ;
- ❖ Services techniques des collectivités ;
- ❖ Organismes de santé et de loisirs ;

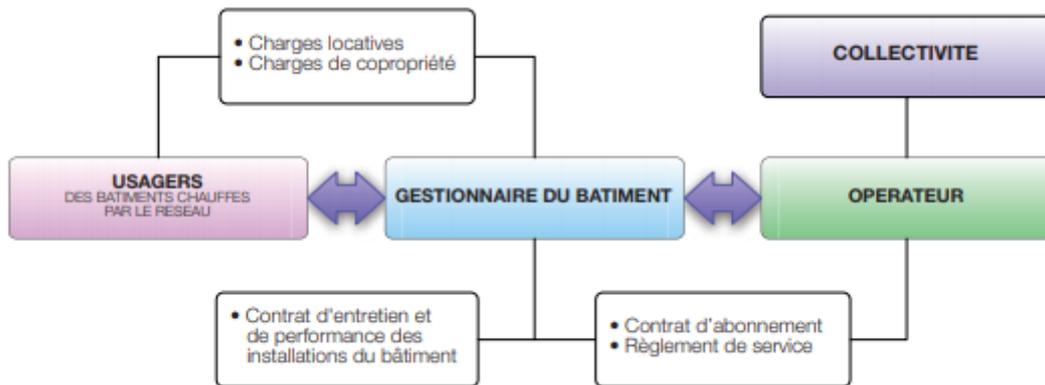


Figure 60 : Les Relations Usagers/ Gestionnaire de Bâtiment/ Opérateur

Les **gestionnaires des bâtiments** représentent les usagers des bâtiments chauffés par le réseau. Ils signent les **contrats d'abonnement** avec **l'opérateur**, gestionnaire du réseau primaire. Leur rôle est important dans le bon fonctionnement du réseau, car ils doivent organiser la circulation de l'information entre les usagers et l'opérateur. Tout particulièrement, le gestionnaire du bâtiment doit vérifier les factures reçues de l'opérateur, les régler dans les délais contractuels, répartir les charges correspondantes entre les occupants de l'immeuble et en collecter les montants. La responsabilité des installations de chauffage et d'eau chaude sanitaire **internes à l'immeuble (réseau secondaire)** incombe au **gestionnaire du bâtiment**. Celui-ci en confie généralement l'entretien, la maintenance et la garantie de performances à une société prestataire de services en efficacité énergétique (opérateur du secondaire).

## 10 Conclusion

Depuis mon arrivée au sein du Pole étude de la Société d'aménagement de ZENATA, filiale du groupe CDG, j'ai pris connaissance de ce projet d'Éco-Cité de ZENATA, et du concept de cette « Ville Nouvelle ». J'ai été tout de suite passionné de par son envergure et la volonté des acteurs de ce projet d'en faire une ville durable grâce à des solutions innovantes.

Il a fallu immédiatement réfléchir au principe énergétique de cette Éco-Cité et proposer un réseau de chaleur innovant avec des solutions à caractère reproductibles et digne d'un concept de SMART CITY. L'enjeu est de taille, car il s'agit d'une étude générale sur la faisabilité d'un réseau de chaleur urbain sur le Quartier SUD de l'Eco-Cité de ZENATA, présentant plus d'avantages que les installations individuelles ; une solution inédite, et première de son genre au Maroc.

Ainsi, j'ai rapidement pris part aux réunions avec mon tuteur de stage Mr A.MGHAZLI, de ce projet, confrères du Pole étude de la SAZ, assistant à la maîtrise d'ouvrage. Mon quotidien est vite devenu celui d'un ingénieur d'études grâce à ma participation à ce projet à la fois dans son dimensionnement, son chiffrage, sa diffusion. J'ai par la suite réussi à recueillir des informations importantes au niveau du bilan de puissance, ce qui est constitue l'étape primordiale de cette étude.

Afin de mener à bien cette étude, j'ai commencé par me familiariser avec les réseaux de chaleur. J'ai ensuite rassemblé une multitude de documents sur ce sujet, ainsi que des données relatives au Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA, afin de comprendre les besoins et les attentes futures du réseau.

Par la suite j'ai abordé toutes les énergies qui pouvaient être mises en place sur les réseaux de chaleur. Certaines ont dû être écartées à cause des contraintes ou de l'environnement du site, en attente d'une recommandation de lois qui puisse donner jour à des Solutions amies de l'environnement au Maroc tel que : la Biomasse et l'Incinération des Ordures Ménagères.

Certes la rigueur climatologique n'est pas la même qu'en France, mais on a issu de quelques études réalisées par des agences et opérateurs français dans le domaine énergétique ; Ce qui est important, c'est de suivre un raisonnement logique et une démarche raisonnable, en se référant à des ordres de grandeurs et à des chiffres clés.

Nous avons par ailleurs, profité de l'expertise du groupe ENGIE dans le domaine des réseaux de chaleur urbain, pour nous guider, et nous faire part de leur savoir faire.

Au final ce PFE a permis de déterminer quelles étaient les évolutions possibles du réseau de Chaleur du Quartier SUD de l'Eco-Cité ZENATA. J'ai pu obtenir une estimation des consommations par lot de terrain, et par type de bâtiment, et réussis à donner une première idée des sources d'énergie pouvant être apportée au Quartier.

## 11 Annexes :

### 11.1 Annexe1 : Complément de calcul des besoins de chauffage :

La mesure de la consommation de combustible ne pose pas de problèmes : sa centralisation permet un comptage facile. (\*)  
Une autre chose est sa répartition en postes consommateurs : parmi les 33 000 litres consommés, quelle est la « responsabilité » des vitrages ?  
Une telle répartition est très utile pour établir un plan d'action de réduction des dépenses énergétiques. En voici une approche très simplifiée, mais efficace.

Procédons par étapes.

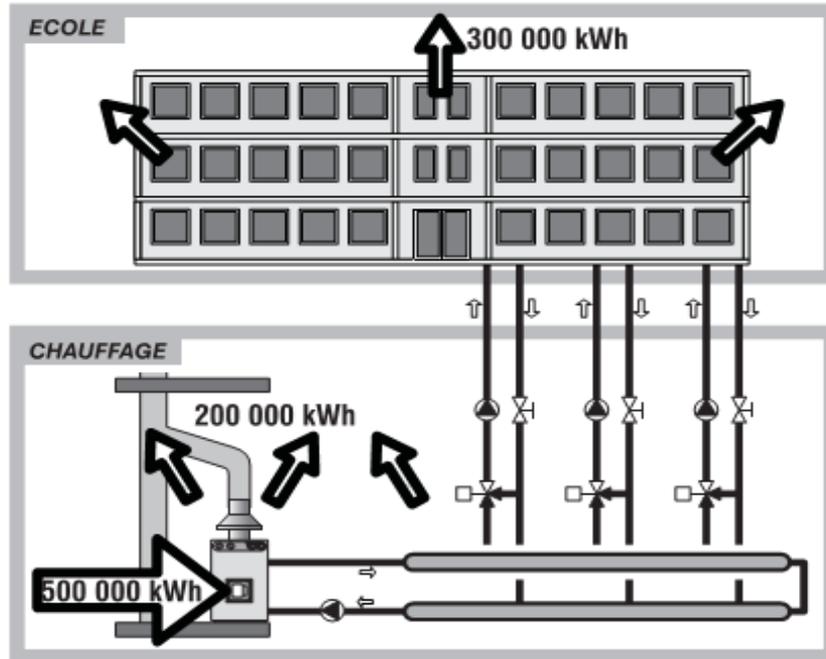
#### **étape 1 : dissocier l'enveloppe du bâtiment et l'installation de chauffage**

Il est primordial de scinder l'étude en deux parties : l'étude des besoins du bâtiment, et l'étude du rendement du système de chauffage.

La consommation d'un bâtiment est donnée par :

$$\text{consommation} = \frac{\text{besoins du bâtiment}}{\text{rendement du chauffage}}$$

Ainsi, si les besoins sont de 300 000 kWh et que le rendement de l'installation de chauffage est de 60 %, la consommation annuelle sera de  $300\,000 / 0.60 = 500\,000$  kWh. Les 200 000 kWh de différence représentent les pertes de l'installation de chauffage. On peut d'ailleurs dissocier mentalement le bâtiment et le système de chauffage comme le montre la figure ci-dessous.



## étape 2 : établir les pertes de l'enveloppe

La consommation d'un bâtiment est directement liée au flux de chaleur qui traverse les parois extérieures.

On peut faire une analogie avec un seau percé que l'on remplit d'eau. Pour maintenir le niveau, il faudra ajouter en permanence de l'eau pour compenser les pertes par les divers trous. Il en est de même pour les radiateurs qui compensent en permanence les pertes de chaleur des parois des locaux, pour maintenir la température intérieure à sa consigne.

Seules les pertes par les parois **extérieures** de l'enveloppe du bâtiment doivent être évaluées. Les parois internes (parois de séparation entre deux locaux) n'ont aucune importance dans le bilan.

Prenons l'exemple d'un vitrage. Pour évaluer la perte calorifique pour 1 m<sup>2</sup> de vitrage, il faudra :

- **estimer la qualité thermique du vitrage** : elle est donnée par son coefficient de transmission thermique « k ». Ainsi, pour du simple vitrage, le coefficient k vaut 6 Watts par m<sup>2</sup> et par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur.
- **déterminer la température intérieure moyenne du local**, moyenne jour-nuit, semaine-week-end, intégrant les périodes de congé : elle est évaluée à 15,5°C pour les écoles avec cours du soir et à 14°C pour les écoles sans cours du soir et de faible inertie thermique. De cette valeur, on retirera encore 2 à 3°C pour tenir compte des apports gratuits : soleil, occupants,... (la valeur de 3°C est prise pour les bâtiments avec façades largement vitrées).
- **déterminer la température moyenne extérieure durant la saison de chauffe** : cette température varie d'un bout à l'autre du pays, de même que la durée de la saison de chauffe sur base de laquelle on établit la température moyenne. Pour simplifier on considérera que la saison démarre le 15 septembre et finit le 15 mai. Dans ce cas la température extérieure moyenne équivalente est de :

D

|             |       |
|-------------|-------|
| - Uccle     | 6,5°C |
| - Hastière  | 5,5°C |
| - Libramont | 3,5°C |
| - Mons      | 6°C   |

**Conclusions** : pour calculer les besoins de chaleur, on prendra :

$$\text{besoins} = \text{surface} \times \text{coefficient de transmission} \times \text{écart de température} \times \text{durée de chauffe}$$

Appliquons ceci à 1 m<sup>2</sup> de simple vitrage, situé à Mons, dans un bâtiment occupé le soir :

$$\begin{aligned} \text{besoins} &= 1 \text{ m}^2 \times 6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \times (15,5^\circ - 2^\circ - 6^\circ) \times 5 \ 800 \text{ h} \\ &= 261 \ 000 \text{ Wh} \\ &= 261 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Remarques :

- En principe, la normalisation impose d'exprimer les écarts de température en Kelvin « K » (1K = 1°C). On utilisera donc dorénavant des valeurs de coefficient k exprimés en W/m<sup>2</sup>.K.
- Cette méthode permet d'évaluer rapidement l'impact d'un remplacement de vitrage. Sachant que le coefficient k d'un double vitrage ordinaire est de 2,9 W/m<sup>2</sup>.K, on voit de suite que les pertes du vitrage diminueront de moitié.

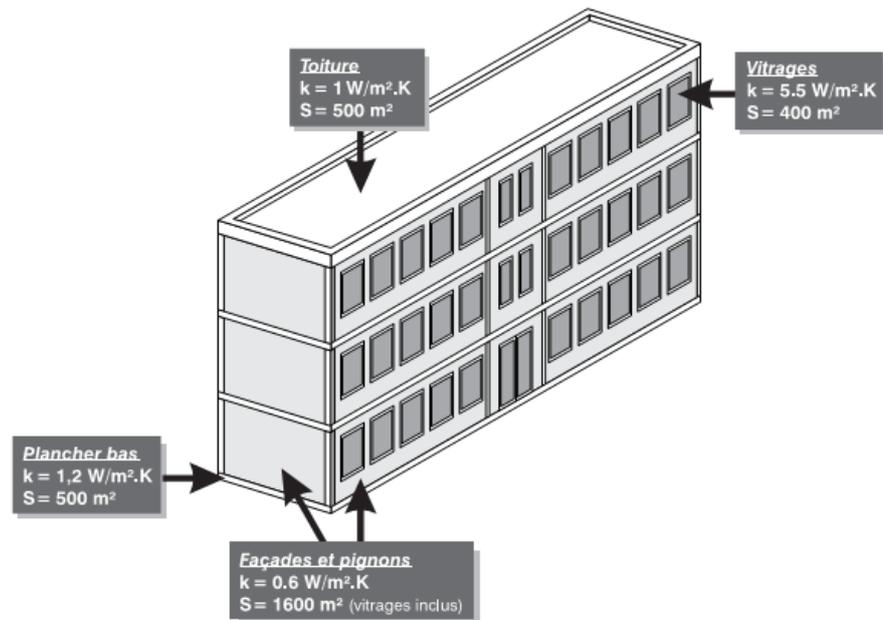
**Généralisation** :

Pour calculer les pertes de l'ensemble du bâtiment, on établira un bilan similaire pour toutes les parois de l'enveloppe. Ceci suppose :

- un relevé des surfaces de toutes les parois des façades,
- un repérage des parois de l'enveloppe qui ne seraient pas en contact avec l'air extérieur mais bien en contact avec des locaux non chauffés ou avec le sol. Afin de diminuer leurs déperditions, on prendra par exemple 2/3 des déperditions lorsque la paroi est en contact avec un local non chauffé, comme un garage ou une cave, et 1/3 des déperditions lorsque la paroi est en contact avec le sol,
- l'établissement des coefficients « k » de chacune de ces parois, sur base des valeurs moyennes du tableau ci-contre.

| type de paroi          |                                       | épaisseur d'isolant (cm)   | coefficient k (W/m <sup>2</sup> .K) |     |
|------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------------|-----|
| <b>fenêtres</b>        | <i>simple vitrage</i>                 | châssis bois   | 5                                   |     |
|                        |                                       | châssis alu sans coupure thermique   | 6,2                                 |     |
|                        | <i>double vitrage</i>                 | châssis bois ou PVC  | 2,7                                 |     |
|                        |                                       | châssis alu sans coupure thermique   | 3,9                                 |     |
|                        |                                       | châssis alu avec coupure thermique   | 3,1                                 |     |
|                        |                                       |  |                                     |     |
| <b>porte</b>           | <i>bois de 4 cm</i>                   |  | 2,5                                 |     |
|                        | <i>aluminium</i>                      | 0  | 6                                   |     |
|                        |                                       | 3  | 0,9                                 |     |
| <b>murs extérieurs</b> | <i>mur plein</i>                      | briques 23 cm  | 0                                   | 1,7 |
|                        |                                       | briques 35 cm  | 0                                   | 1,2 |
|                        | <i>mur creux</i>                      | blocs intérieurs en béton lourd, parement en briques, + laine minérale             | 0                                   | 2   |
|                        |                                       |  | 4                                   | 0,7 |
|                        |                                       |  | 8                                   | 0,4 |
|                        | <i>mur creux</i>                      | blocs intérieurs creux en béton léger, parement en briques , + polystyrène extrudé | 0                                   | 1,4 |
|                        |                                       |  | 4                                   | 0,5 |
|                        |                                       |  | 8                                   | 0,3 |
| <b>toitures</b>        | <i>toiture inclinée</i>               | tuile, sous-toiture en bois 15 mm  | 0                                   | 3,5 |
|                        |                                       | + laine minérale   | 6                                   | 0,6 |
|                        |                                       |  | 12                                  | 0,3 |
|                        | <i>toiture plate</i>                  | béton 12 cm  | 0                                   | 2,8 |
|                        |                                       | + polystyrène extrudé  | 6                                   | 0,5 |
|                        |                                       |  | 10                                  | 0,3 |
| <b>planchers</b>       | <i>plancher sur vide ventilé</i>      | béton + chape : 22 cm  | 0                                   | 2,4 |
|                        |                                       | + polystyrène extrudé  | 4                                   | 0,6 |
|                        | <i>plancher sur local non chauffé</i> | béton + chape : 17 cm  | 0                                   | 2   |
|                        |                                       | + polystyrène extrudé  | 4                                   | 0,6 |
|                        | <i>plancher sur sol</i>               | béton + chape : 15 cm  | 0                                   | 3,2 |
|                        |                                       |  | 4                                   | 0,7 |

La totalisation des pertes pourra avoir lieu, comme repris dans l'exemple suivant :



|                 | surface<br>( $\text{m}^2$ ) | coeff. k<br>( $\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ ) | influence des<br>locaux non<br>chauffés | puissance de<br>déperdition<br>( $\text{W} / \text{K}$ ) |
|-----------------|-----------------------------|--|---|--|
| vitrages        | 400                         | 5,5  |   | 2 200  |
| murs extérieurs | 1 200                       | 0,6  |   | 720  |
| toitures        | 500                         | 1  |   | 500  |
| plancher        | 500                         | 1,2  | 2/3 (cave)                              | 400  |
| <b>total :</b>  |                             |  |   | <b>3 820</b>   |

*estimation des pertes de chaleur par les parois :*  
 $3\ 820 \times (15,5^\circ - 2^\circ - 6^\circ) \times 5\ 800 \times 1/1\ 000 = 166\ 170 \text{ kWh/an}$

Remarque : le facteur 1/1 000 est utilisé pour passer de Wh en kWh

### 11.2 Annexe 2 : Estimation des besoins en Eau Chaude Sanitaire :

Le poste chauffage de l'eau chaude sanitaire est un poste très variable d'une école à l'autre.

Il peut être estimé (source Ademe - France) sur base de **besoins** forfaitaires moyens :

- **base** : de 2 à 8 kWh/m<sup>2</sup> par an, suivant la taille et le type d'enseignement (ateliers, classes maternelles,...).
- **internat** : sur base de 35 l/internat/jour à 45°C , on obtient un besoin de 270 kWh/an/internat, pour l'hébergement de 187 jours (sans repas).
- **cuisine** : sur base de 6 l/repas/jour à 45°C, on obtient un besoin de 46 kWh/an pour un repas par jour durant 187 jours.

Remarque : on peut estimer les kWh nécessaires en sachant que chauffer un litre à 45° demande 0,041 kWh.

Pour obtenir les consommations générées par ces besoins, il est nécessaire d'intégrer le rendement de production de l'eau chaude sanitaire. Pour les systèmes à accumulation par boiler électrique, on prendra un rendement de 60 à 80 % suivant le degré d'isolation du réservoir et des tuyauteries de la boucle de distribution.

Pour les systèmes à accumulation alimentés par le chauffage du bâtiment, un rendement de 40 à 85 % sera choisi,

- 40 % si la chaudière est très ancienne, surdimensionnée, si la boucle de distribution de l'eau chaude est très longue et mal isolée, ...
- 85 % si l'installation est récente, bien isolée et que la chaufferie est très proche du lieu d'utilisation.

Ce rendement perd encore de 10 à 20 % d'efficacité si la chaudière est maintenue en température en été uniquement pour les besoins de l'eau chaude sanitaire.

### 11.3 Annexe 3 : Evaluation du rendement de réseau :

A priori, le rendement d'une installation de chauffage est compris entre 50 % et 85 %. C'est pourquoi, à défaut d'une étude détaillée, on choisira un rendement moyen de 70 %.

#### **Ce qui fait pencher la balance vers les 85 % :**

- une nouvelle chaudière et un nouveau brûleur, respectant les Labels Optimaz ou HR-Haut Rendement, avec un rendement instantané de combustion de plus de 90 %,
- des conduites bien isolées,
- un découpage du réseau de tuyauteries conforme aux zones thermiquement homogènes (un circuit distinct pour la façade sud, un pour le réfectoire,... )
- la présence d'isolant réfléchissant derrière les radiateurs,
- une régulation par optimiseur (voir brochure sur « La régulation du chauffage dans les établissements scolaires »),
- ...

#### **Ce qui fait pencher la balance vers les 50 % :**

- une chaudière de plus de 20 ans, dont le rendement instantané de combustion avoisine les 80 % (voir fiche d'entretien annuel), dont les pertes à l'arrêt sont importantes (on le détecte par le niveau élevé de la température de l'air en chaufferie), ...
- une chaudière gaz atmosphérique maintenue en permanence à température par son aquastat,

- des tuyauteries en cave non isolées,
- des radiateurs logés en alcôve dans un renforcement du mur extérieur,
- un circuit hydraulique unique pour tout le bâtiment,
- ...

**Remarque** : le rendement peut être meilleur que 85 % s'il est fait usage d'une chaudière à condensation (chaudière qui récupère la chaleur des fumées et qui condense la vapeur d'eau contenue dans les fumées).

Il sera très utile de procéder à une **évaluation du rendement de la chaudière** (réalisée obligatoirement lors de l'entretien annuel des installations à mazout). Attention : il ne faut pas confondre rendement instantané et rendement saisonnier. La valeur inscrite au bas de l'attestation d'entretien (dite, attestation « CEDICOL ») correspond au rendement instantané, la valeur moyenne saisonnière est beaucoup plus basse. En quelque sorte, une chaudière c'est comme une voiture qui roule 30 % du temps et attend à un feu rouge 70 % du temps, le moteur au ralenti. Dans ces conditions, il est fort important d'évaluer également la consommation de ralenti qui va faire baisser la moyenne ! Il est certain qu'un rendement instantané inférieur à 85 % doit inquiéter le gestionnaire : le rendement saisonnier est alors probablement inférieur à 70 %...

La technique d'évaluation détaillée du rendement d'une chaudière est décrite dans le manuel du Responsable Energie (à commander au service publications de la Région Wallonne : 08001-1901).

#### 11.4 Annexes 4 : Le principe de Foisonnement :

La densité seule ne permet pas de caractériser les besoins de chaleur d'un quartier. La morphologie urbaine et la performance thermique des bâtiments jouent également. Un autre paramètre est important : la mixité d'usage. A l'échelle d'un quartier ou d'un aménagement on parle de mixité d'usage (ou mixité fonctionnelle), quand plusieurs fonctions sont présentes : habitat, tertiaire, équipement, industrie, services, loisirs, etc. Pour la fourniture d'énergie à un quartier ou à un ensemble de quartiers, la mixité d'usage est un élément essentiel à la pertinence énergétique d'un réseau de chaleur, car elle procure un effet de foisonnement. Le foisonnement a pour effet de lisser les besoins (c'est-à-dire d'atténuer l'effet de « pics »), sur la journée, la semaine ou l'année.

Ci-suit deux bâtiments avec deux systèmes de chauffage différents :

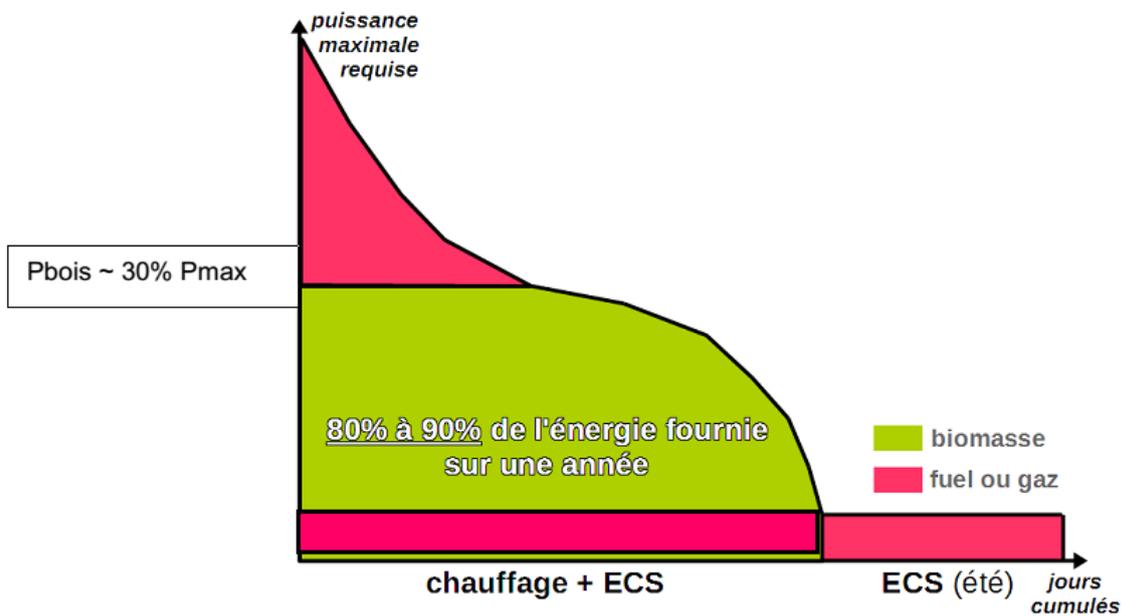


Ces deux profils de chaleur sont très différents suivants les usages occupants. Dans la figure suivante, ces deux profils ont été ajoutés l'un à l'autre pour obtenir le profil d'un système collectif. Les profils d'appel de chaleur des 2 bâtiments sont strictement identiques à ceux du cas d'avant.

En les additionnant, on obtient une courbe d'appel sur la journée beaucoup plus stable, les pics du bâtiment 1 étant en phase avec les heures creuses du bâtiment 2. C'est l'effet de foisonnement. On constate que la surface hachurée est beaucoup plus faible que dans le cas premier. La puissance totale installée est plus faible et les générateurs fonctionnent plus souvent à un régime proche de leur puissance nominale, ce qui améliore leur rendement et l'adéquation entre le coût d'investissement et les revenus, c'est pourquoi le foisonnement est l'un des atouts majeures des systèmes collectifs comparé à l'individuel.

### 11.5 Annexes 5 : caractéristiques techniques des chaufferies Bois : le Dimensionnement

La plupart des réseaux de chaleur équipés de chaufferies bois fonctionnent avec une ou des énergies complémentaires. Ce choix permet de limiter les montants d'investissement pour la chaufferie bois tout en couvrant une part importante des besoins de chaleur du réseau par la biomasse. En outre, les chaufferies bois ont des contraintes de fonctionnement plus fortes que les **chaudières fioul ou gaz** que l'on peut utiliser en appoint ( les rendements se dégradent lorsque la chaudière fonctionne à bas régime).



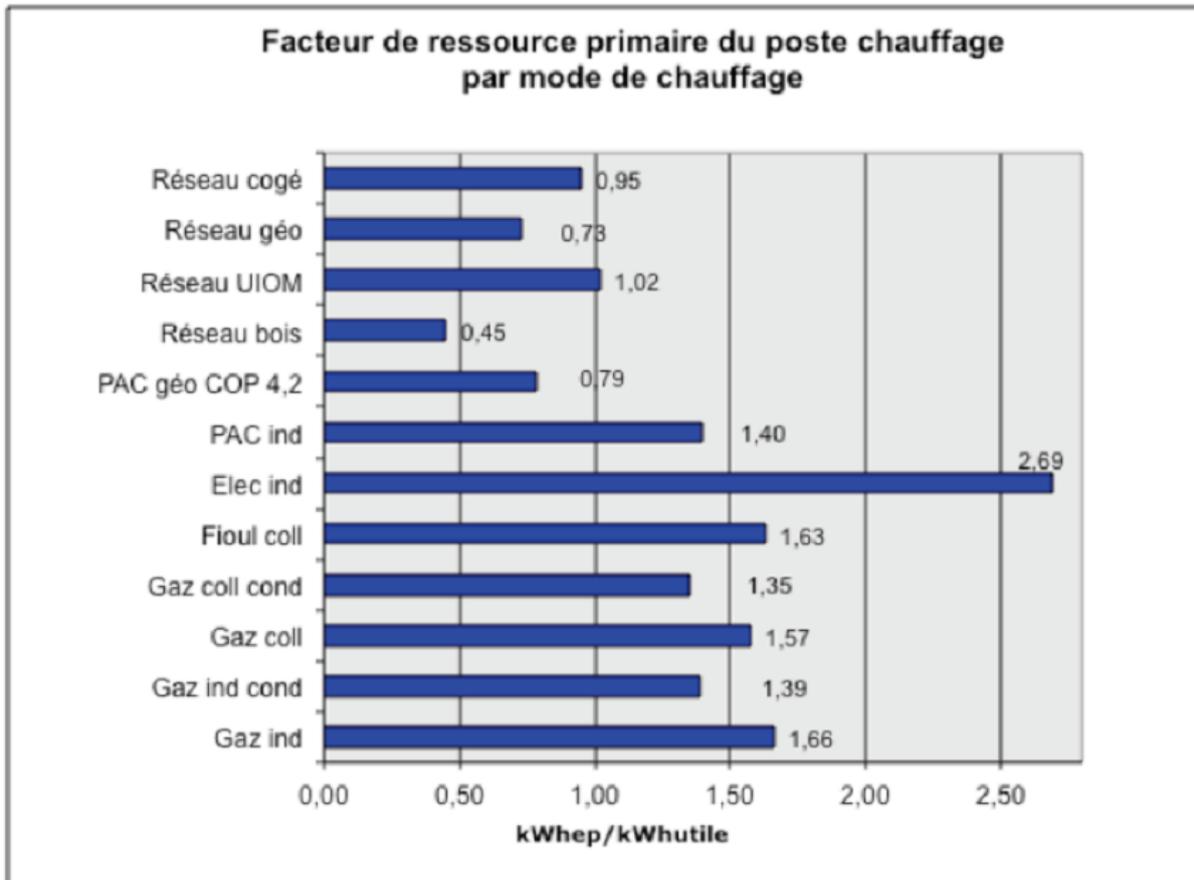
Dans ce projet, le dimensionnement de la puissance bois sera calculé afin de couvrir un maximum du besoin de chauffage ( plage en vert sur la figure 2 ) à partir de courbes de charges données ( représentation graphique des consommations énergétiques en fonction du temps au pas horaire ). Les ratios précédents servent juste de valeur de référence chez la plupart des installateurs de chaudière bois afin de s'assurer du bon dimensionnement de l'installation bois.

La puissance gaz quand à elle sera dimensionnée sur la base de la puissance maximale des courbes de charges afin d'assurer la demande en énergie lors des pointes de consommations. De plus, il faut compter des variations dans l'équipement dédié à une chaufferie bois telles que :

- Le stockage du combustible sous forme de silo
- La filtration des gaz de combustion...

## 11.6 Annexe 6 : Comparaison énergétique

La comparaison énergétique est bâtie sur la base de facteurs d'énergie primaire pour chacune des énergies considérées. Le coefficient de conversion en énergie primaire pour l'électricité choisi par AMORCE est celui de la réglementation thermique, par souci de simplification (coefficient 2,58). Pour les énergies fossiles, un coefficient primaire de 1,1 est retenu.



### 11.7 Annexe 7 : Enthalpie du Fluide Caloporteur :

La vapeur d'eau est de l'eau sous forme gazeuse. Il s'agit d'un gaz invisible. La vapeur d'eau est le produit du changement d'état de l'eau bouillante, à une pression donnée, par un apport de chaleur supplémentaire. L'eau bouillante et la vapeur immédiatement produite sont à la même température.

#### Enthalpie spécifique de l'eau :

L'enthalpie spécifique (ou chaleur spécifique), est **l'enthalpie nécessaire** pour élever de **1°C** la température d'une masse **de 1 kg**, à une température et à une pression données. Elle est notée : **C<sub>pet</sub>** exprimée en Joule par kilogramme et par degré Celsius (J / kg. °C). L'Enthalpie spécifique de l'eau à la pression atmosphérique (0 bar effectif) et à 0 °C :

**C<sub>p</sub> = 4190 J / kg.°C**. La quantité de chaleur sensible Q, absorbée par un corps soumis à une élévation de température sans changement d'état, est égale à :

$$Q \text{ (kJ)} = m \cdot C_p \cdot (t_f - t_i)$$

**m**: masse du corps en kg

**t<sub>f</sub>**: température finale en °C

**t<sub>i</sub>** : température initiale en °C

## 11.8 Annexe 8 : Dilatation des Conduites :

Sous l'effet de la température, les tuyauteries de transport de vapeur d'eau se dilatent en diamètre (négligeable) et surtout en longueur. Cette dilatation linéaire entraîne :

- Des forces de réaction très importantes sur les ancrages des tuyauteries bloquées ;
- Des contraintes dans le métal constituant les tuyauteries.

L'augmentation de longueur  $\Delta L$  d'une tuyauterie de longueur  $L$  sous l'effet de la température est égale à :

$$\Delta L (m) = \beta (m/m.^{\circ}C) \cdot L (m) \cdot \Delta t (^{\circ}C)$$

$\Delta t$  : variation de température du tube

Le coefficient de dilatation  $\beta$  est donné en fonction de la température par des tables (exemple : pour l'acier au carbone de 0 °C à 100 °C,  $\beta = 11,7 \cdot 10^{-6} m/m.^{\circ}C$ ).

Pour la construction de ses canalisations, CPCU adopte les hypothèses de dilatations linéaires suivantes :

$$\begin{aligned} \Delta L/L &= 3 \text{ mm/m pour les tuyauteries de vapeur (t}_{\text{max}} = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}) \\ \Delta L/L &= 1,2 \text{ mm/m pour les tuyauteries de condensats (t}_{\text{max}} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}) \end{aligned}$$

Les tuyauteries sont équipées d'organes associés à la maîtrise de la dilatation :

- ◆ les points fixes ;
- ◆ les guidages, qui permettent d'éviter le flambement des tuyauteries sous l'effet des contraintes de dilatation ;
- ◆ les supports glissants ;
- ◆ les dispositifs de compensation de dilatation, dont les plus couramment utilisés sont :
  - les lyres ou tracés autodilatables,
  - les compensateurs axiaux,
  - les compensateurs articulés,
  - les joints glissants.

## 11.9 Annexe 9 : dimensionnement des Sous stations :

La sous-station doit pouvoir contenir les matériels nécessaires au fonctionnement de l'installation, avec des espaces suffisants pour en assurer le montage, la conduite et la maintenance et pour permettre un démontage aisé des matériels. Des ouvrants adaptés (portes d'accès, trappes ou vantaux) permettent l'amenée et la manutention du matériel, pour en assurer le gros entretien et le renouvellement éventuel.

Le tableau ci-dessous présente les surfaces indicatives minimales pour le poste de livraison primaire (hors sas, bouteille de découplage, éventuelle installation secondaire).

|   | Un échangeur |            | Deux échangeurs |            |
|---|--------------|------------|-----------------|------------|
| Puissance de l'échangeur (kW)                   | < 500        | 500 à 1000 | < 500           | 500 à 1000 |
| Surface du local en m <sup>2</sup> (avec bâche) | 17           | 18         | 21              | 24         |
| Surface du local en m <sup>2</sup> (sans bâche) | 12           | 12         | 14              | 16         |

Tableau 3 : détermination des surfaces concernant les espaces techniques primaires

En cas de présence d'une bouteille de découplage, rajouter 4 m<sup>2</sup> aux surfaces indiquées ci-dessus. Si un puisard au sol est installé, rajouter 1 m<sup>2</sup>.

Les surfaces sont étroitement liées à la configuration du local, il est donc nécessaire de les valider préalablement par une implantation du matériel. CPCU préconise par ailleurs une hauteur minimale de 2m.

## 11.10 Annexe 10 : Evacuation des Eaux de la sous stations

La sous-station comporte au moins un point d'évacuation. Toutes dispositions doivent être prises pour que la température des rejets au réseau d'égout public ne dépasse pas 30 °C (Règlement Sanitaire du Département de Paris - article 29.2 et Règlement d'Assainissement de Paris - article 10).

Dans l'hypothèse où le sol de la sous-station n'est pas en charge sur le collecteur d'évacuation des eaux usées à l'égout, un puisard est nécessaire. Il est construit en maçonnerie ou en béton, il doit être étanche et résister aux températures élevées (jusqu'à 95 °C) et aux chocs thermiques. Il est recouvert d'un caillebotis et équipé d'une pompe de relevage. Sa capacité utile minimum (déduite de sa capacité réelle par neutralisation des 10 cm inférieurs et supérieurs) est Indiquée dans le tableau ci-dessous :

|  |       |     |     |     |      |      |      |
|--|-------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Puissance utile du poste de livraison (kW) | ≤ 200 | 300 | 500 | 800 | 1200 | 1800 | 2500 |
| Capacité utile du puisard (l)              | 150   | 250 | 350 | 400 | 500  | 700  | 1000 |
| Hauteur minimale du puisard (cm)           | 60    |     |     |     |      |      |      |

### 11.11 Annexe 11 : Les matériaux isolants :

La qualité de l'isolant utilisé doit répondre aux normes en vigueur et être parfaitement adaptée aux conditions de service.

L'isolant et son revêtement ne doivent pas se modifier chimiquement ou physiquement aux températures de service ou sous l'effet de l'humidité.

(Normes NF B 20-001 et 002, Normes NF B 20-101 et NF EN 1608).

Les caractéristiques de l'isolant sont les suivantes :

| Caractéristiques            | Tuyauteries-Robinetterie-Echangeur                              |
|-----------------------------|---|
| Matériaux                   | Laine minérale de verre ou de roche volcanique                  |
| Masse volumique             | De 60 kg/m <sup>3</sup> (verre) à 135 kg/m <sup>3</sup> (roche) |
| Réaction au feu             | M0 (incombustible)  |
| Conductivité thermique      | $\lambda \leq 0,055 \text{ W / m.}^\circ\text{C}$ à 200°C       |
| Tenue aux agents extérieurs | Imputrescible, hydrophobe et diélectrique                       |
| Etat de structure           | Indéformable dans le temps                                      |

Tableau 22 : caractéristiques des isolants

Pour la bache des condensats, les matériaux indiqués ci-dessus peuvent être utilisés mais également d'autres matériaux présentant en plus les avantages suivants :

- ◆ moindre épaisseur liée à une conductivité thermique plus faible ;
- ◆ meilleure résistance aux chocs et à l'écrasement ;
- ◆ mise en œuvre mieux adaptée aux surfaces planes.

Dans les zones accessibles au public, le calorifuge doit être en matériau classé M1. Concernant les autres zones, il doit être en matériau classé M3.

## 11.12 Annexe 12 : Loi relative au Réseau de Chaleur Urbain en France

### **Arrêté du 23 juin 1978 modifié par arrêté du 30 novembre 2005 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public**

(JO du 21 juillet 1978 – JO du 15 décembre 2005)

#### **Vus**

Le ministre de la santé et de la famille, le ministre de l'intérieur, le ministre du travail et de la participation, le ministre de l'environnement et du cadre de vie et le ministre de l'industrie,

Vu le décret du 2 avril 1926 portant règlement sur les appareils à vapeur;

Vu le décret n° 62-608 du 23 mai 1962 fixant les règles techniques et de sécurité applicables aux installations de gaz combustibles;

Vu le décret n° 62-1297 du 7 novembre 1962 modifié portant règlement d'administration publique en ce qui concerne les règles d'utilisation et les caractéristiques des produits pétroliers;

Vu le décret n° 67-1963 du 15 novembre 1967 modifié portant règlement d'administration publique pour la construction des immeubles de grande hauteur et leur protection contre les risques d'incendie et de panique;

Vu le décret n° 69-596 du 14 juin 1969 fixant les règles générales de construction des bâtiments d'habitation, et notamment son article 11;

Vu le décret n° 73-1007 du 31 octobre 1973 relatif à la protection contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public;

Vu le décret n° 74-415 du 13 mai 1974 relatif au contrôle de l'émission de polluants dans l'atmosphère et à certaines utilisations de l'énergie;

Vu l'arrêté du 2 août 1977 relatif aux règles techniques et de sécurité applicables aux installations de gaz combustible et d'hydrocarbures liquéfiés situées à l'intérieur des bâtiments d'habitation ou de leurs dépendances;

Vu l'avis du comité consultatif de l'utilisation de l'énergie,

Arrêtent :

#### **Article 1er de l'arrêté du 23 juin 1978**

Le présent arrêté s'applique dans les conditions ci-après aux installations destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public à l'exception des locaux de stockage de combustibles.

Lorsque la puissance utile totale des installations visées à l'alinéa 1 ci-dessus est supérieure à 70 kW, soit approximativement 85 kW de puissance calorifique totale installée, ces installations doivent être placées à l'intérieur d'une chaufferie ou d'une sous-station.

Les dispositions du titre Ier "Chaufferies" sont applicables aux installations visées à l'alinéa 1 ci-dessus lorsque la puissance utile totale installée en chaufferie est supérieure à 70 kW.

Les dispositions du titre II "Sous-stations" sont applicables aux installations visées à l'alinéa 1 ci-dessus lorsque la puissance utile totale de la sous-station est supérieure à 70 kW.

Les dispositions du titre III "Installations intérieures aux bâtiments d'habitation, de bureaux ou aux locaux et dégagements accessibles au public" sont applicables à toutes les installations visées à l'alinéa 1 ci-dessus placées à demeure en usage normal dans ces locaux à l'exclusion des appareils dont un des objets essentiels est la cuisson ou le réchauffage des aliments (cuisinières, poêles, réchauds et assimilés).

Les dispositions du titre IV sont les seules applicables aux unités de toitures monoblocs.

Les conditions d'aménagement des locaux, d'emplacement des appareils et de réalisation des installations sont celles qui sont prescrites par le présent arrêté.

Les présentes dispositions ne font pas obstacle à l'application des dispositions du décret du 2 avril 1926 portant règlement sur les appareils à vapeur, du décret n° 67-1063 du 15 novembre 1967 modifié concernant les immeubles de grande hauteur ainsi qu'à l'application des dispositions prises en vertu de la loi du 19 juillet 1976, relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

### Article 2 de l'arrêté du 23 juin 1978

Pour l'application du présent texte :

1. Une chaufferie est un local abritant des appareils de production de chaleur par combustion.

Une sous-station est un local abritant les appareils qui assurent, soit par mélange, soit par échange, le transfert de chaleur d'un réseau de distribution dit réseau primaire à un réseau d'utilisation dit réseau secondaire.

Est assimilable à une sous-station un local abritant un générateur alimenté en énergie électrique et fournissant de la chaleur à un réseau.

2. Une installation de chauffage par vapeur saturée est dite à basse pression lorsque des dispositions matérielles empêchent la pression effective de la vapeur saturée de dépasser 0,5 bar; elle est dite à haute pression dans le cas contraire.

Une installation de chauffage par eau chaude est dite à "Eau surchauffée à basse température" lorsque la température de l'eau dépasse la température d'ébullition de l'eau sous pression ambiante sans excéder 110 °C. Elle est dite à "Eau surchauffée à haute température" lorsque la température de l'eau peut excéder 110 °C.

3. Les générateurs de vapeur à haute pression ou d'eau surchauffée à haute température sont classés en trois catégories selon la valeur du produit  $V(t - 100)$  où  $t$  représente, en degrés Celsius, la température de vapeur saturée correspondant au timbre du générateur et où  $V$  désigne en mètres cubes la contenance du générateur y compris ses réchauffeurs d'eau et ses surchauffeurs de vapeur, déduction faite des parties de cette contenance qui seraient constituées par des tubes ne mesurant pas plus de 10 centimètres de diamètre intérieur et par des pièces de jonction entre ces tubes n'ayant pas plus d'un décimètre carré de section intérieure.

Un générateur est de 1<sup>re</sup> catégorie lorsque le produit caractéristique ainsi obtenu excède 200; de 2<sup>e</sup> catégorie quand le produit n'excède pas 200 mais excède 50; de 3<sup>e</sup> catégorie quand le produit est égal ou inférieur à 50.

4. Un récipient est considéré comme n'ayant aucun produit caractéristique s'il ne renferme pas normalement d'eau à l'état liquide et s'il est pourvu d'un appareil de purge fonctionnant d'une manière efficace et évacuant l'eau de condensation au fur et à mesure qu'elle prend naissance. S'il n'en est pas ainsi, son produit caractéristique est le produit  $V(t - 100)$  calculé comme pour un générateur.

5. La puissance utile (ou puissance nominale) d'un appareil est définie comme la quantité de chaleur reçue par unité de temps par le fluide chauffé.

6. La puissance calorifique totale installée d'une installation de combustion est définie comme étant la quantité de combustible exprimée par rapport au pouvoir calorifique inférieur, consommée par heure en marche continue maximale.

7. La puissance utile d'une installation est définie comme la somme des puissances utiles des générateurs installés capables de fonctionner simultanément.

8. La puissance utile d'une sous-station est la somme des puissances utiles des appareils capables de fonctionner simultanément, les puissances utiles des appareils étant indiquées par le constructeur ou l'installateur.

9. Les puissances sont exprimées en kilowatt (kW). Il est rappelé qu'une thermie par heure (th/h) équivaut à 1,16 kilowatt (kW).

10. On entend par générateur, le générateur proprement dit muni de ses organes de chauffe.

11. Les différents locaux d'un bâtiment sont classés comme suit :

- En sous-sol ;
- En rez-de-chaussée ;
- En étage ;
- En terrasse.

Un local est dit en sous-sol quand la cote de la sous-face de son plancher haut ne dépasse pas de plus d'un mètre la cote du point le plus bas du sol à l'extérieur du bâtiment et au plus proche du local.

Un local est dit en rez-de-chaussée quand la cote de son plancher bas ne diffère pas de plus d'un mètre de la cote du point le plus bas du sol à l'extérieur du bâtiment et au plus proche du local.

Les locaux en étage comprennent tous les autres locaux étagés entre rez-de-chaussée et terrasse.

## Titre II : Sous-stations. Implantation - Dispositions générales

### Article 21 de l'arrêté du 23 juin 1978

La puissance utile unitaire des sous-stations à vapeur haute pression ou à "eau surchauffée à haute température" situées à l'intérieur des bâtiments d'habitation, de bureaux ou des zones accessibles au public ne doit pas dépasser 5 000 kW.

### Article 22 de l'arrêté du 23 juin 1978

Tout local de sous-station alimentée par de la vapeur haute pression ou de l' "eau surchauffée à haute température" doit offrir au personnel des moyens de retraite facile dans deux directions au moins dès que la puissance utile totale excède 2 000 kW.

Ce local doit comporter deux accès directs de l'extérieur si la puissance utile totale excède 2 000 kW ou au moins un accès direct de l'extérieur si la puissance utile totale n'excède pas 2 000 kW. Toute communication du local avec l'intérieur d'un bâtiment d'habitation, de bureaux ou d'une zone accessible au public est interdite.

Les portes interposées doivent s'ouvrir de l'intérieur vers l'extérieur et elles doivent pouvoir être ouvertes de l'intérieur même lorsqu'elles comportent un dispositif permettant le verrouillage depuis l'extérieur.

### Article 23 de l'arrêté du 23 juin 1978

Si le local d'une sous-station d'une puissance utile supérieure à 2 000 kW comporte un accès par l'intérieur d'un bâtiment d'habitation, de bureaux ou d'une zone accessible au public, l'aménagement de cet accès doit être tel que l'eau chaude ou la vapeur provenant d'une fuite ainsi qu'éventuellement la fumée ne puissent, par un circuit quelconque, même indirect, parvenir dans les locaux y compris les dégagements et les sorties.

### Article 24 de l'arrêté du 23 juin 1978

Les tuyauteries du réseau primaire alimentées en vapeur haute pression ou en eau surchauffée à haute température doivent passer à l'extérieur des bâtiments d'habitation et de bureaux.

Dans les établissements recevant du public, ces tuyauteries peuvent être situées en gaines techniques sous réserve que ces gaines soient placées dans des locaux non accessibles au public.

L'arrivée dans la sous-station des dérivations qui l'alimentent doit s'effectuer dans des gaines ou caniveaux suffisamment ventilés et résistants.

### Article 25 de l'arrêté du 23 juin 1978

Les appareils d'échange et les canalisations de fluide caloporteur à l'intérieur et à l'extérieur d'une sous-station doivent être calorifugés sauf les canalisations qui participent au chauffage des locaux qu'elles traversent.

Le flux de chaleur susceptible d'être émis par ces appareils et canalisations ne doit pas provoquer dans les logements, bureaux ou zones accessibles au public contigus, une élévation de la température intérieure résultante supérieure à 2 °C.

### Article 26 de l'arrêté du 23 juin 1978

La sous-station doit être agencée de façon à permettre d'assurer l'entretien et le remplacement des appareils d'échange de chaleur, des tuyauteries et des organes de coupure.

### Article 27 de l'arrêté du 23 juin 1978

Sauf si le fluide primaire est de la vapeur, le sol du local doit constituer une cuvette de rétention d'une profondeur de 0,15 mètre ou de 5 mètres cubes au moins de capacité lorsque la puissance utile des échangeurs n'excède pas 2 000 kW, d'une profondeur de 0,15 mètre ou d'une capacité d'au moins 10 mètres cubes lorsque cette puissance excède 2 000 kW. Cette capacité est calculée en déduisant le volume des massifs supportant les appareils.