

Travail de fin d'études

Sujet : Système de chauffage gaz et biomasse dans l'habitat collectif

Maitre de stage : Marzouck EL-CHITOU ; Tuteur de stage : Daniel LE RALLEC



pour en savoir plus...
eivp-paris.fr

École des Ingénieurs
de la Ville de Paris
80, rue Rébeval – 75019 Paris
01 56 02 61 00
eivp@eivp-paris.fr

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage Monsieur Marzouck EL-CHITOU, ingénieur directeur travaux chez EIFFAGE, qui malgré les nombreux chantiers sous sa responsabilité a su se montrer disponible et me transmettre son savoir tout en suivant le bon déroulement de mon stage.

Je tiens à remercier également Monsieur Daniel LE RALLEC, professeur référent de ce stage qui m'a accompagné tout au long de ma mission en étant toujours disponible et à l'écoute lorsque j'avais des interrogations afin de me conseiller au mieux dans la définition de ma problématique.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur Philippe MAHE, ingénieur fluide chez Ingeco, avec qui j'ai échangé énormément et qui prenait le temps de répondre à mes demandes et interrogations. Il m'a donné de nombreuses informations et contacts qui m'ont aidé à réaliser ce comparatif.

Enfin, je remercie Monsieur Jean-Pierre QUARTULLY, conducteur de travaux principal, avec qui j'ai pu découvrir les ficelles du métier et qui m'a transmis durant ces six mois de nombreuses connaissances techniques.

Thésaurus

Stage de fin d'études

Conduite de travaux

Comparatif

Production d'énergie

Chaudière gaz

Chaudière bois

Environnement

Aspect financier

Technique

Suivis des travaux

Résumé

Aujourd'hui, malgré un effort notable, les sources de pollution atmosphérique sont de plus en plus nombreuses due à la croissance que connaît notre société. Il y a trois sources de pollution principale, à la fois pour l'atmosphère et les gaz à effet de serre : le secteur résidentiel et tertiaire dû au chauffage, les transports et les activités industrielles. Le chauffage dans le secteur résidentiel et tertiaire est la première source de gaz à effet de serre (40 % des émissions), comptant pour plus de 20 % dans les rejets d'oxyde d'azote, plus d'un quart des émissions de particules fines et environ 30 % des émissions d'hydrocarbures. Par conséquent, le chauffage est un sujet sur lequel nous devons travailler afin de réduire ces émissions et les taux de pollution.

Les énergies renouvelables représentent la solution à ces problématiques et le chauffage au bois est l'une de ces énergies. C'est un combustible qui pourrait remplacer le gaz et le fuel de nos chaudières. Cependant, il s'agit d'une technologie (chaudière bois) assez récente, peu connue et très coûteuse. Bien qu'il s'agisse d'une énergie renouvelable, il reste à savoir si elle est tout aussi efficace que les énergies fossiles tout en étant beaucoup moins polluante. En effet, la combustion du bois est complexe et peut s'emballer, d'autant plus que les rejets vont fortement dépendre de cette combustion. C'est pourquoi ces chaudières nécessitent une technologie de pointe permettant de contrôler la combustion. Aussi, le bois est adapté pour les habitations individuelles datant des années 80 et plutôt bien isolées. Pour le collectif, les contraintes sont plus nombreuses et le sujet reste à étudier. En dépit de l'ensemble de ces interrogations, le bois énergie reste une solution tournée vers l'avenir, étant respectueuse des principes du développement durable.

Abstract

Today, despite a notable effort, the sources of air pollution are growing due to the growth of our society. There are three main sources of pollution, both for the atmosphere and greenhouse gases: the residential and tertiary sector due to heating, transport and industrial activities. Heating in the residential and tertiary sector is the leading source of greenhouse gases (40% of emissions), accounting for more than 20% of nitrogen oxide emissions, more than a quarter of particulate emissions and about 30% of hydrocarbon emissions. Therefore, heating is something we need to work on to reduce these emissions and pollution rates.

Renewable energies are the solution to these problems and wood heating is one of these energies. It is a fuel that could replace the gas and fuel of our boilers. However, it is a technology (wood boiler) fairly recent, little known and very expensive. Although it is a renewable energy, it remains to know if it is just as effective as fossil fuels while being much less polluting. In fact, the burning of wood is complex and can be expensive, especially since the waste will depend heavily on this combustion. That's why these boilers require advanced technology to control combustion. Also, wood is suitable for single-family homes dating from the 80s and rather well insulated. For the collective housing, the constraints are more numerous and the subject remains to be studied. In spite of all these questions, wood energy remains a solution turned towards the future, being respectful of the principles of sustainable development.

Sommaire

Remerciements.....	3
Thésaurus.....	3
Résumé	4
Abstract	4
Liste des figures:	7
Liste des tableaux	7
Introduction	8
1. Eiffage Construction.....	9
1.1. Description de l'entreprise	9
1.2. Mon rôle au sein de l'entreprise	9
2. Conception Réalisation Exploitation et Maintenance de 90 logements collectifs.....	9
2.1. Description du chantier.....	9
2.2. Phasage du chantier	12
2.3. Mes missions	13
2.4. Problèmes rencontrés.....	13
3. Elaboration d'un comparatif entre deux systèmes de chauffage	14
3.1. Présentation	14
3.1.1. Ma mission	14
3.1.2. Définition chaufferie.....	14
3.1.3. Présentation des travaux de chauffage et d'ECS de la résidence	15
3.1.4. Chaudière à granulés : une solution proposée par EIFFAGE Construction	16
3.2. Technologie chaudière bois et gaz.....	16
3.2.1. Principe chaufferie gaz et biomasse.....	16
3.2.2. Pouvoir calorifique des combustibles.....	18
3.2.3. Les émissions de polluants	21
3.3. Aspect financier.....	24
3.3.1. Prix d'achat/installation/ maintenance.....	24
3.3.2. Prix combustibles.....	25
3.3.3. Coût des études.....	27
3.3.4. Subvention de l'état	27
3.3.5. Tableau synthèse	27
4. Le chantier	28
4.1. Disposition des chaufferies	28
4.2. Synoptique chaufferie et fonctionnement.....	28
4.2.1. Production ECS	28

4.2.2. Production chauffage	30
4.3. Consommations futures	30
4.3.1. Besoins énergétique	30
4.3.2. Besoins en Granulés de bois.....	32
4.4. Approvisionnement en Granulés.....	32
4.5. Distribution Chauffage et ECS	34
4.5.1. Distribution chauffage	34
4.5.2. Distribution ECS/BECS	35
4.6. Impact sur les locataires.....	37
Conclusion	38
Bilan	39
Bibliographie :.....	40
Rapport, Revue, et Article:	40
Sites web consultés :	40
Annexes :	41

Liste des figures:

Figure 1: Plan de masse d'avant-projet.....	10
Figure 2: Etiquettes environnementales.....	11
Figure 3: Estimation des économies réalisées.....	12
Figure 4: Plan de la phase 1 des travaux pour les bâtiments E et F.....	12
Figure 5: Tranchée reliant les chaufferies.....	15
Figure 6: Chaudière Gaz classique.....	17
Figure 7: Chaudière Gaz à condensation.....	18
Figure 8: Courbe du PCI en fonction du taux d'humidité.....	19
Figure 9: Importance du taux d'oxygène dans les rejets gazeux.....	22
Figure 10: Importance des rejets de CO et NOx en fonction de la Température de combustion.....	23
Figure 11: Evolution des prix du gaz naturel et des granulés.....	25
Figure 12: Implantation des chaufferies sur le plan futur.....	28
Figure 13: Zoom sur la production d'ECS.....	29
Figure 14: Zoom sur la production d'énergie pour le chauffage.....	30
Figure 15: Première proposition pour l'approvisionnement du silo.....	33
Figure 16: Lieu d'approvisionnement du silo retenu pour le projet.....	33
Figure 17: Ancien réseau de chauffage.....	34
Figure 18: Nouveau réseau de chauffage.....	34
Figure 19: Distribution ECS bâtiment A.....	36
Figure 20: Distribution ECS bâtiment E.....	37

Liste des tableaux

Tableau 1: Missions.....	13
Tableau 2: Récapitulatif des caractéristiques techniques.....	20
Tableau 3: Polluants émis par les chaudières gaz et granulés.....	21
Tableau 4: Comparatif des chaudières gaz et granulés.....	24
Tableau 5: Coût des chaudières appliqué à notre chantier.....	24
Tableau 6: Synthèse sur la comparaison financière.....	27
Tableau 7: Consommations journalières d'ECS.....	31
Tableau 8: Calcul des consommations énergétiques.....	32
Tableau 9: Impact des travaux liés à la production d'énergie sur les locataires.....	37

Introduction

Le Travail de Fin d'Etude (TFE) vient clôturer la formation d'ingénieur et a pour objectif de permettre à l'élève-ingénieur d'aborder tous les aspects de sa future profession : techniques, scientifiques, relationnels et managériaux. L'élève s'interroge donc sur le rôle précis de l'ingénieur.

Ayant suivi le cycle ingénieur de l'école des ingénieurs de la ville de Paris (EIVP), j'ai pu pendant ces trois années acquérir énormément de connaissances dans de nombreux domaines du Génie Urbain. Ce stage a été l'occasion pour moi de réunir l'ensemble des compétences acquises à la fois à l'école, mais aussi durant mes précédentes expériences et de les mettre en pratique.

Pour ce stage de fin d'étude, j'ai fait la demande d'être orienté sur un chantier en phase consultation. Cela m'a donc permis d'assister au démarrage d'une opération et d'apprendre énormément de choses sur les aspects financiers, techniques et managériaux d'un chantier.

Durant ces six mois, j'ai travaillé entre autres, sur la comparaison entre deux systèmes de chauffages dans l'habitat collectif: le chauffage classique au gaz et le chauffage au bois. Le chauffage au gaz soulève de nombreuses problématiques à la fois économiques et environnementales. En effet, il s'agit d'une énergie fossile*¹ assez polluante et dont les ressources sont limitées. Le bois-énergie quant à lui, est une énergie renouvelable (ENR*²) et apparaît comme un substitut de premier choix plus respectueux de l'environnement. La place du développement durable est assez important dans cette comparaison mais nous avons également les aspects techniques et économiques à prendre en compte afin d'en faire un comparatif complet et développer une conclusion correcte.

Ainsi, j'ai travaillé sur la problématique suivante : « Le système de production de chaleur en chaufferie bois n'est pas très développé dans l'habitat collectif par EIFFAGE. EIFFAGE amélioration de l'Habitat souhaite alors réaliser la comparaison entre les chaufferies à granulé et les chaufferies gaz. Quel système de production de chauffage, chaufferie gaz ou chaufferie bois, est le plus adapté pour l'habitat collectif ? »

*Energie fossile*¹: Energies issue de la combustion de matière organique fossilisée et contenue dans le sous-sol terrestre.*

*ENR*²: Les énergies renouvelables (ou EnR) désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie à partir de sources ou de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou reconstituables plus rapidement qu'elles ne sont consommées.*

1. Eiffage Construction

1.1. Description de l'entreprise

EIFFAGE est un groupe de construction et de concessions français présent dans 50 pays sur les cinq continents. Le groupe exerce aujourd'hui dans de nombreux domaines des Travaux Publics : Construction, Infrastructures, Concessions et Energie. Il est le troisième groupe de construction et de concessions en France et le cinquième en Europe avec 66 000 salariés et plus de 100 000 chantiers réalisés chaque année.

Création de nouveaux quartiers ou aménagement des cœurs de ville, construction et rénovation : Eiffage construction branche bâtiment d'Eiffage, maîtrise quatre métiers complémentaires afin de proposer une offre globale : Aménagement urbain, promotion immobilière, construction, maintenance et travaux services. Cela lui permet donc d'accompagner les projets les plus ambitieux, en France et en Europe, et de faire preuve d'anticipation et de réactivité sur tous les marchés.

J'ai ainsi réalisé mon stage au sein d'EIFFAGE construction Amélioration de l'Habitat une entité d'EIFFAGE Construction proposant l'une des quatre activités précédente. Cette entité s'occupe exclusivement de la réhabilitation de logement.

1.2. Mon rôle au sein de l'entreprise

Lors du stage, ma position était celle d'un conducteur de travaux. J'ai été présenté comme tel à l'ensemble des intervenants du chantier (client, architecte, sous-traitant) et non pas comme un stagiaire. J'ai dû rapidement m'intégrer, faire preuve d'autonomie et me familiariser avec le vocabulaire et les codes du chantier. Mes missions étaient assez variées et allaient du management à la négociation ou vers des choses plus techniques comme la réalisation de plans (sur Autocad) et l'étude des devis. Je devais faire régulièrement des points sur l'avancée du chantier avec le directeur travaux et rendre les travaux demandés en temps et en heure.

2. Conception Réalisation Exploitation et Maintenance de 90 logements collectifs

2.1. Description du chantier

L'opération sur laquelle nous nous trouvons est un CREM ou Conception Réalisation Exploitation et Maintenance. Il s'agit d'un marché public qui associe l'exploitation et/ou la maintenance à la conception et à la réalisation de prestations afin de remplir des objectifs chiffrés de performance définis notamment en termes de niveau d'activité, de qualité de service, d'efficacité énergétique ou d'incidence écologique.

Le CREM est composé d'un groupement présentant une diversité de compétences. Nous avons ainsi le client (I3F), l'entreprise de construction mandataire (Eiffage construction), l'Architecte (Philippe

Roux Architecte), un bureau d'études fluides (Biotope), l'assistant maîtrise d'ouvrage (Alterea) et un maintenancier (Dalkia). Cette opération prévoit la réhabilitation d'une résidence de 90 logements datant des années 30, se situant au 25-27 rue Lagny à Vincennes dans le Val-de-Marne. Cette résidence est composée de six bâtiments de cinq ou six étages nommés de A à F.

Ci-dessous, le plan masse de l'avant-projet de cette résidence :

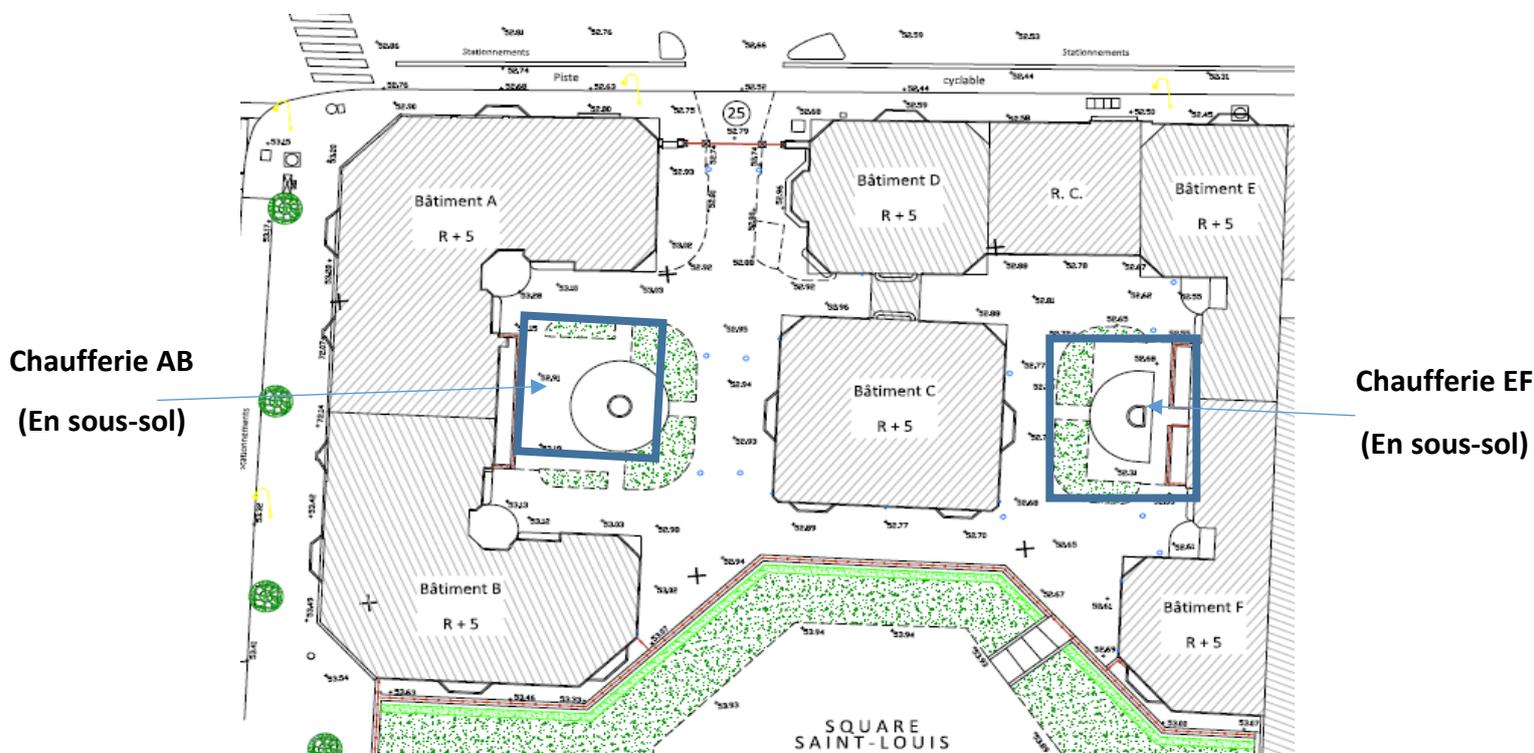


Figure 1: Plan de masse d'avant-projet

Cette réhabilitation a pour but de valoriser et pérenniser le patrimoine. Les travaux vont permettre une amélioration thermique et une réduction des coûts, une amélioration de l'accessibilité, un entretien et un embellissement. Ces travaux sont les suivants :

1. Amélioration thermique et réduction des coûts

- Isolation des planchers des locaux non chauffés
- Remplacement de l'isolation des combles
- Création d'une chaufferie biomasse (bois) et rénovation de la chaufferie Gaz
- Remplacement des ballons d'eau chaude par un réseau d'eau chaude sanitaire collective
- Remplacement des menuiseries extérieures bois
- Création d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC)

2. Amélioration de l'accessibilité

- Réaménagement de la cour et des circulations
- Modification des halls
- Remplacements des éclairages (cour, halls, escaliers et sous-sol)
- Création d'ascenseurs

3. Entretien et embellissement

- Ravalement des façades
- Remplacement des portes palières

- Peinture des parties communes
- Création d'un système de désenfumage
- Création de gaines techniques
- Création de locaux communs
- Création d'espaces verts

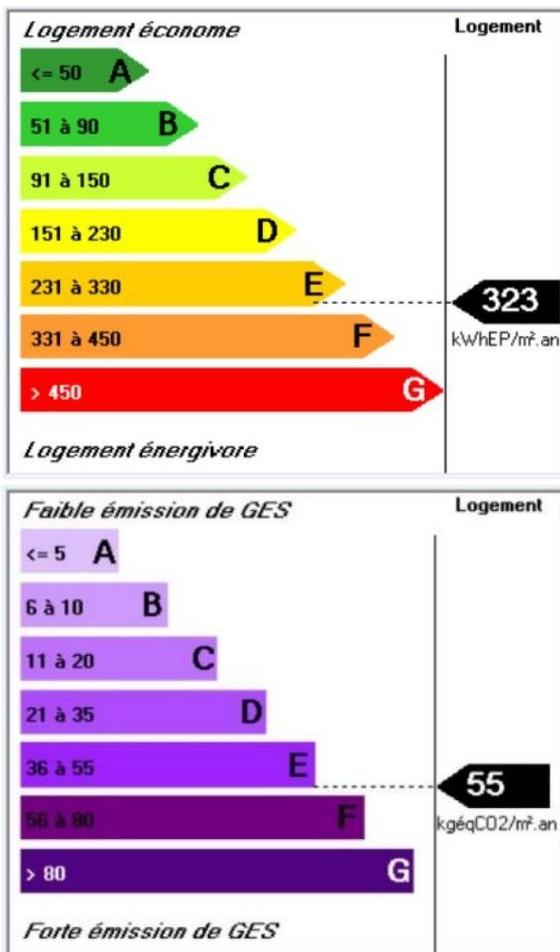
Et enfin :

4. Travaux dans les logements

- Mise en sécurité électrique
- Poses de robinets mitigeurs dans les logements non équipés de cet appareil
- Pose de réservoirs WC avec double touche 3/6L dans les logements non équipés de cet appareil

A terme, la résidence sera moins énergivore et émettra moins de gaz à effet de serre. Ci-dessous, les performances énergétiques des bâtiments actuelle et objectif :

Actuellement



Objectif

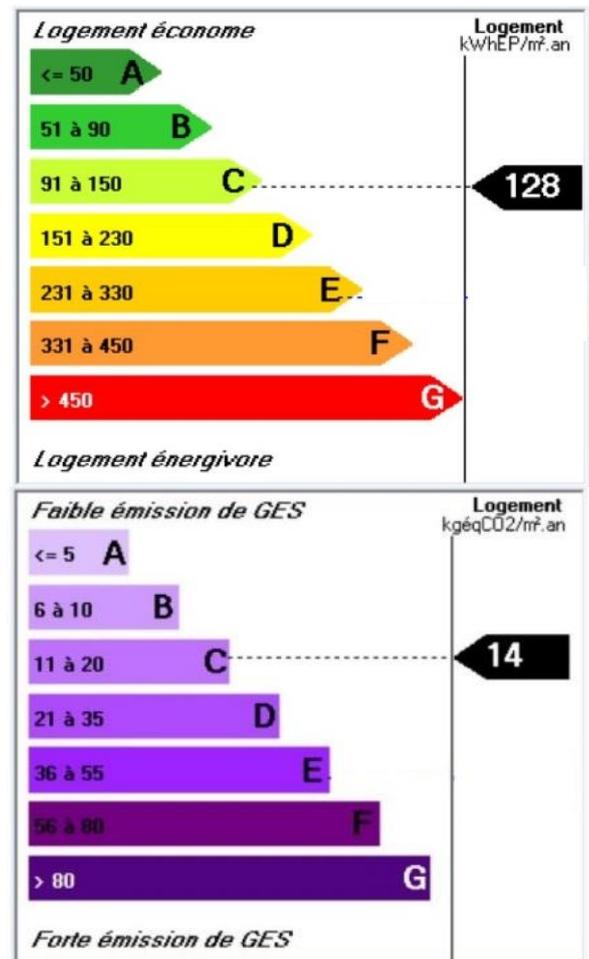


Figure 2: Etiquettes environnementales

De plus, des estimations de la baisse des charges par logement, sur lesquelles Dalkia et le groupement s'engagent, ont été faites. Ci-dessous, un diagramme réalisé sur Excel :

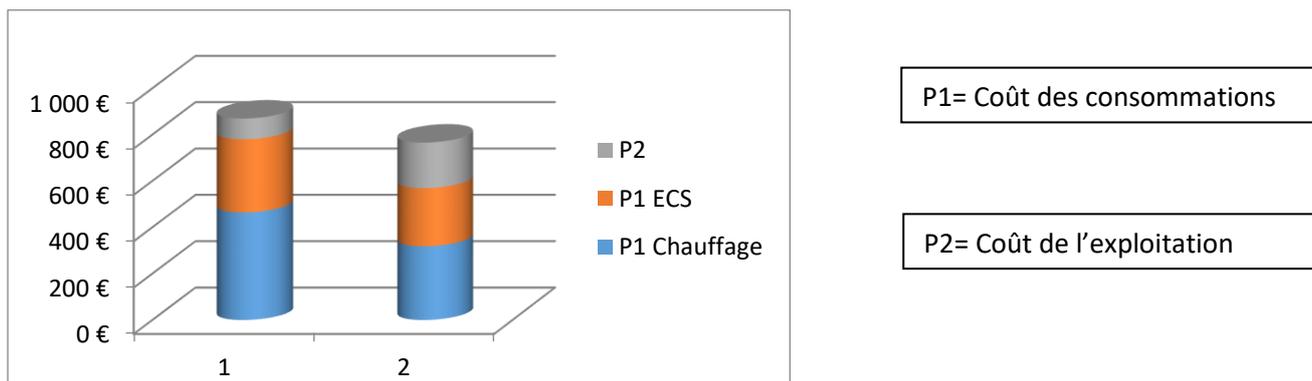


Figure 3: Estimation des économies réalisées

On devrait donc avoir une baisse de la facture énergétique P1 de 25% et une baisse de la facture totale P1/P2 de 10%. Cela représente une baisse des charges annuelle de 100 euros par logement. Vous trouverez en annexe 1, le détail de chaque poste.

2.2. Phasage du chantier

En raison de l'importance des travaux, nous avons dû mettre en place un phasage. Ce phasage consiste à diviser le site en plusieurs zones de travail où nous y interviendrons à des moments différents du planning. Celui-ci nous permettra de faciliter la préparation des travaux, de minimiser la gêne des locataires et d'étaler dans le temps les livraisons, réduisant ainsi le stock sur le chantier. L'idée a été tout d'abord de regrouper par paire les bâtiments de sorte à n'avoir plus que trois ensembles. Au total nous avons jugé utile, d'avoir cinq phases numérotées de 0 à 4.

Ce document a été présenté aux locataires pour leur permettre de connaître de façon précise le déroulement des travaux dans le temps. Ci-dessous la phase 1 :

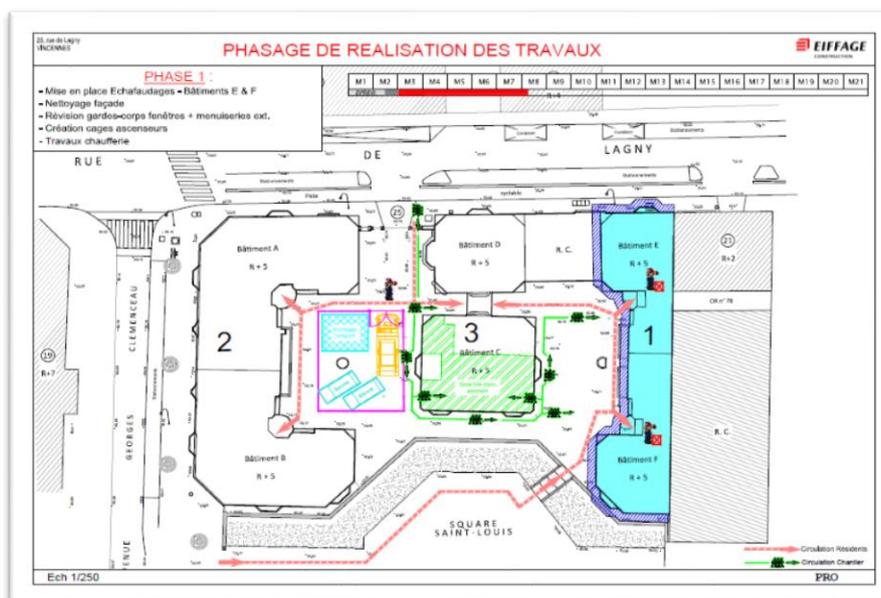


Figure 4: Plan de la phase 1 des travaux pour les bâtiments E et F

L'ensemble des autres phases sont présentées en annexe.

2.3. Mes missions

Les missions qui m'ont été attribuées furent assez nombreuses et m'ont permis de voir tous les aspects du métier de l'ingénieur conducteur de travaux : Management, Technique et Financier. Ci-dessous, un tableau de ces missions principales et leurs durées:

Missions	Durée
Création des dossiers de consultation <ul style="list-style-type: none"> • Création des DQE • Réalisation des métrées 	3 Semaines
Consultation, organisation des visites et étude des devis	4 Mois
Création des dossiers d'exécutions <ul style="list-style-type: none"> • Recherche des fiches techniques • Demande des différents PV et certificat • Création des plans d'exécution 	3 Mois
Réalisation du plan de la base vie	1 Semaine
Création du point zéro	1 Mois
Repérage des conduits de cheminées, Planning d'intervention dans les logements et Suivis du ramonage	1 Mois
Typologie des trainasses pour la ventilation des logements	1 Semaine
Suivis des travaux	4 Mois
Mission liées à ma problématique <ul style="list-style-type: none"> • Repérage du réseau de chauffage actuel • Détermination du futur réseau d'ECS • Estimation sur Autocad de la longueur du réseau ECS • Détermination du lieu d'approvisionnement du silo à granulés, Calcul des besoins en granulés • Etude des devis chauffagistes • Etude sur les impacts sur l'environnement • Etude technique des moyens de chauffage 	6 Mois

Tableau 1: Missions

Veillez trouver en annexe l'explication de ces missions.

2.4. Problèmes rencontrés

A mon arrivée sur le site, j'ai été accueilli par M. José Ferreira, conducteur de travaux qui devait être en permanence sur place. Mon maître de stage initial M. BACCAR Chems quant à lui était conducteur de travaux principal. Après deux jours de stage M. Ferreira a eu un accident de la circulation l'empêchant de reprendre son travail et une semaine plus tard M. BACCAR a été arrêté pour une durée de plusieurs mois. Je me suis donc retrouvé seul représentant d'EIFFAGE sur ce site. Cette période difficile a nécessité réactivité et autonomie de ma part. Découvrant le métier, je pouvais compter néanmoins sur l'assistance de conducteurs de travaux d'autres secteurs. Finalement, M. EL CHITOU Marzouck a repris le chantier et est devenu mon maître de stage. J'ai dû faire le point du travail effectué durant ces trois semaines puis des directives et missions bien claires m'ont été confiées.

3. Elaboration d'un comparatif entre deux systèmes de chauffage

Les travaux de chauffage dans cette résidence représentent 15% du volume des travaux. Leur coût s'élève à plus d'un demi-million d'Euros. Nous allons changer les chaudières ainsi que le procédé de production de l'eau chaude sanitaire (ECS) et remettre aux normes les installations et réseaux existants. Il s'agit d'un lot très technique présentant de nombreuses problématiques et inconvénients qui devront être résolus avant les travaux.

3.1. Présentation

3.1.1. Ma mission

Bien que de nombreuses missions très diverses m'aient été confiées lors de ce stage, ma tâche principale était de travailler sur le lot chauffage et plus particulièrement sur les systèmes de chaufferies bois et gaz. Je devais réaliser une étude comparative entre ces deux systèmes de production de chaleur. Ce comparatif m'a été présenté comme un réel besoin pour EIFFAGE Construction (débutant dans la mise en place chaudières à granulés) afin de les aider dans leurs futurs projets de conception réalisation.

Dans de tels projets, EIFFAGE doit réaliser la conception et faire les bons choix techniques afin de répondre aux besoins et attentes du client tout en étant compétitif. Le but final étant bien sûr de remporter le marché. Ainsi, ce comparatif doit comporter de nombreux aspects et données quantitatifs et qualitatifs afin d'aider au mieux les ingénieurs durant leur choix. Ce comparatif doit donc être le plus impartial possible.

Mêlant technique et finance, la finalité de ce rapport sera de proposer le moyen de chauffage le plus adapté pour le collectif. J'ai effectué dans un premiers temps une comparaison sur l'aspect technique où il me semble intéressant de comprendre le principe de fonctionnement d'une chaudière et ses caractéristiques. Je me suis intéressé par la suite à l'impact de ces moyens de chauffage sur l'environnement ainsi qu'à l'aspect finance. Cet aspect est l'un des plus importants pour les entreprises lors du chiffrage. Enfin, je présenterai un aspect plus pratique en m'appuyant sur mon expérience vécu sur le site de Vincennes. J'ai en effet encadré la réalisation des travaux en chaufferies en suivant au plus près chacune des phases :

- Préparation amont et études;
- Débat avec les bureaux d'études sur certaines problématiques comme par exemple le point d'approvisionnement en granulés et le nombre d'approvisionnements par an, le tracé des réseaux de chauffage et d'eau chaude sanitaire, la distribution d'eau chaude sanitaire;
- Encadrement des travaux ;

Cette dernière partie permettra d'avoir une idée de l'ensemble des problématiques pouvant survenir lors de la rénovation de chaufferie et l'installation d'une chaudière à granulés. Il s'agira d'un autre point que le pôle étude pourra prendre en considération. Cependant, ce chantier est assez singulier de par les travaux à réaliser et la configuration des lieux. Les problématiques rencontrées peuvent ne pas être forcément retrouvées ailleurs.

3.1.2. Définition chaufferie

Une chaufferie est un système permettant de produire de la chaleur résultant de la combustion d'un combustible qui peut être, du gaz, du bois ou du fuel. La chaleur produite est principalement utilisée

pour le chauffage des bâtiments ou de l'eau chaude sanitaire (ECS). Une chaufferie se situe dans un local où l'on retrouve la ou les chaudières ainsi que le stockage de l'eau chaude sanitaire si les logements ne sont pas équipés de ballon d'eau chaude.

3.1.3. Présentation des travaux de chauffage et d'ECS de la résidence

Le chauffage du site est actuellement assuré par deux chaufferies :

- La chaufferie Ouest dénommée « chaufferie AB »
- La chaufferie Est dénommée « chaufferie EF »

Chacune d'elles est composée de deux chaudières gaz à condensation.

Le projet de réhabilitation prévoit des modifications au niveau de la production de chaleur. Tout d'abord, la chaufferie EF sera remise entièrement en conformité et les chaudières seront remplacées par deux nouvelles chaudières à condensations de marques Guillot type Varmax. Deux ballons primaires d'une capacité de 1000L chacun seront également mis en place afin d'assurer une production semi-instantané pour le réseau d'eau chaude sanitaire (ECS) et de chauffage (chaque ballon alimentera un seul réseau). Ces ballons seront alimentés par les deux chaufferies EF et AB. Dans la chaufferie AB, les chaudières gaz seront supprimées pour laisser place à une chaudière Bois de marque Hargassner. Un silo à granulés d'une capacité de 35m³ sera mis en place avec un système de vis sans fin pour alimenter en granulés la chaudière. Ce silo sera relié à l'extérieur par un passage enterré afin d'assurer son approvisionnement. Il a été décidé que cette chaufferie devrait assurer 30% des besoins énergétique annuel de la résidence. L'exploitant, à savoir Dalkia, pourra toutefois augmenter ou diminuer ce pourcentage dans le futur.

A l'extérieur des chaufferies, des interventions sur les réseaux sont prévus. Pour le réseau de chauffage, les canalisations horizontales seront réfectionnées à 100% en raison de leurs états et leurs positionnements tandis que les verticales à hauteur de 20%. Le réseau d'ECS quant à lui sera à créer entièrement. En effet, jusqu'à présent, seul le chauffage était assuré par les chaudières. La production d'ECS étant réalisée par des ballons d'eau chaude de 150L dont chaque logement est équipé. Nous devons donc créer tout un réseau horizontal passant par les caves et reliant les deux chaufferies. Une tranchée sera alors créée afin d'y faire passer les réseaux de chauffage et d'ECS. Ci-dessous, un plan où l'on voit la liaison entre les deux chaufferies.

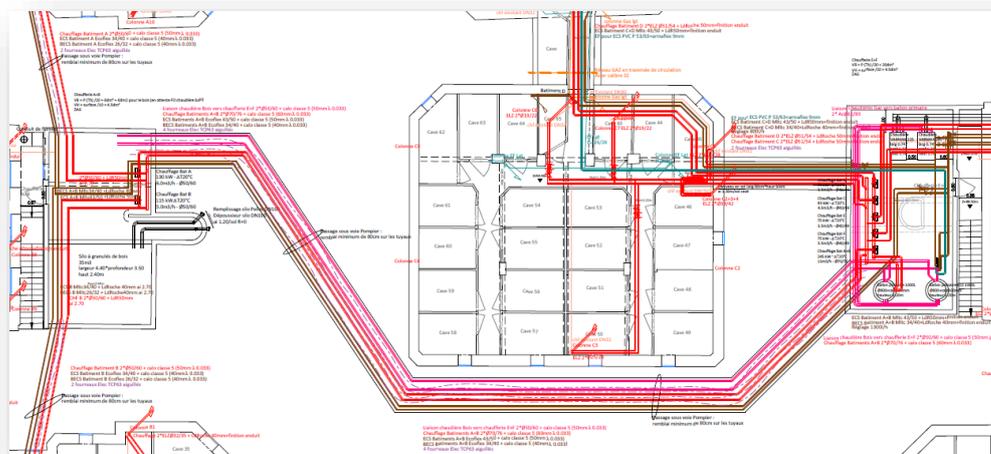


Figure 5: Tranchée reliant les chaufferies

Des colonnes montantes passant par les parties communes seront ensuite créées et assureront l'alimentation en ECS des logements. Le réseau sera bouclé ce qui confèrera des avantages économiques et pour le confort des résidents que l'on présentera plus tard dans le rapport. Aussi, nous interviendrons dans les logements pour le retrait des ballons d'eau chaude et le raccordement au réseau d'ECS. Ces interventions auront lieu dans la même journée afin de ne pas priver d'eau chaude les locataires.

Les tracés des nouveaux réseaux de chauffage et d'ECS ont été longuement réfléchi afin d'éviter un maximum de contraintes et problèmes.

3.1.4. Chaudière à granulés : une solution proposée par EIFFAGE Construction

Les raisons qui ont poussé EIFFAGE Construction Amélioration de l'Habitat a proposé une telle solution sont dans le cahier des charges de l'appel d'offre. Il y est explicitement demandé que 30% de l'énergie produite, pour le chauffage et l'ECS, soit renouvelable. Il y est précisé également que le client ne souhaite pas de panneaux solaires.

EIFFAGE a justifié la proposition d'installer une chaudière à granulés en mettant en avant les économies en électricité et gaz que le client réalisera et l'utilisation d'un combustible renouvelable. Nos concurrents ont proposé quant à eux des chaudières numériques. Celles-ci récupèrent la chaleur de serveurs informatiques pour préchauffer l'eau. La chaudière à granulés a beaucoup plus convaincu le client.

Finalement, il s'agit d'un projet novateur pour un bâtiment datant des années 30, mais aussi de faire un pas vers la transition énergétique. Cependant, n'ayant pas une grande expérience dans la mise en place de chaudières bois, le pôle étude n'a pas pu anticiper un certain nombre de problèmes ainsi que les coûts élevés de ces chaudières.

3.2. Technologie chaudière bois et gaz

Nous allons maintenant vous présenter les différentes technologies de chaudière Gaz et bois.

3.2.1. Principe chaufferie gaz et biomasse

De manière générale, une chaudière est une installation permettant de transmettre de la chaleur (calories) à de l'eau qui à son tour la transmettra à des émetteurs de chaleur. Pour cela, une canalisation d'eau serpente au plus près du foyer afin d'atteindre la bonne température. Celle-ci se dirige ensuite vers les logements afin d'alimenter les radiateurs qui jouerons le rôle d'émetteur. L'eau retourne ensuite en direction de la chaudière afin d'être chauffé à nouveau. Dans certains cas l'eau peut être remplacée par un liquide caloporteur. Cette production de chaleur est le fruit de la combustion de matière première. De cette combustion, résulte des fumées pouvant atteindre 200°C.

Les chaudières classiques ont un rendement variant entre 80% et 90%.

Ci-dessous un schéma de principe d'une chaudière gaz classique :

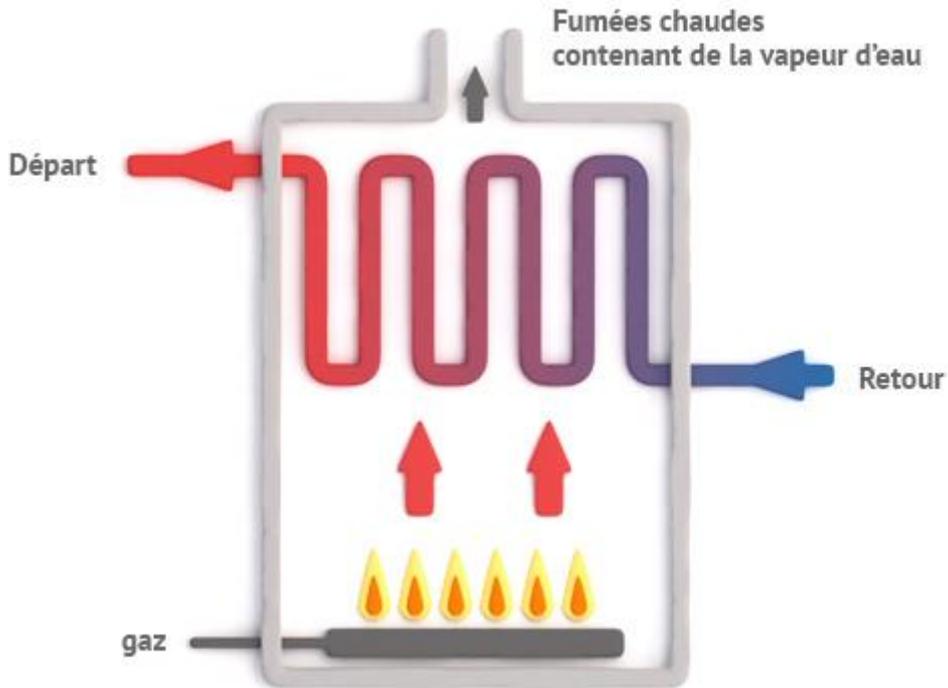


Figure 6: Chaudière Gaz classique

Les chaudières à condensation quant à elles, sont légèrement différentes mais reprennent le même principe qu'une chaudière gaz classique. Contrairement à cette dernière, elles tirent profit de toute l'énergie produite lors de la combustion du gaz lui permettant ainsi d'avoir un rendement supérieur à 100%.

Lors de la combustion, des fumées contenant de la vapeur d'eau à haute température sont émises. Or, une part importante de chaleur dite latente est évacuée par ces fumées. Le fonctionnement de la chaudière à condensation va permettre de tirer profit de cette énergie qui est potentiellement perdue. Pour cela, nous allons faire condenser la vapeur d'eau contenue dans ces fumées au niveau de l'échangeur permettant ainsi de récupérer l'énergie et chauffer l'eau de retour. Cette énergie s'ajoute alors à l'énergie fournie par la combustion. Cette condensation est rendue possible par la différence de température entre les fumées et le circuit de chauffage. Le but est donc de minimiser la température de ce circuit de retour de sorte à ce qu'elle soit inférieure à la température de rosée et de faire condenser un maximum de vapeur d'eau. La température de rosée est la température en dessous de laquelle un gaz se condense. Par exemple, la température de rosée des fumées de la combustion du gaz naturel est de 59°C. Les fumées évacuées ont une température bien plus faible que celle évacuée par une chaudière classique ce qui est plus respectueux pour l'environnement. On passe de 200°C à 70°C. Les normes actuelles imposent l'installation de chaudières à condensation. La chaudière gaz classique n'est plus vendue.

Finalement, au travers de la condensation, ce type de chaudière maximise l'utilisation de l'énergie contenue dans la combustion. Les factures d'énergie sont automatiquement réduites et l'environnement moins impacté. Ces chaudières sont donc bien plus intéressantes que les chaudières classiques au niveau économique ainsi qu'au niveau environnemental.

Ci-dessous un schéma de principe d'une chaudière à condensation :

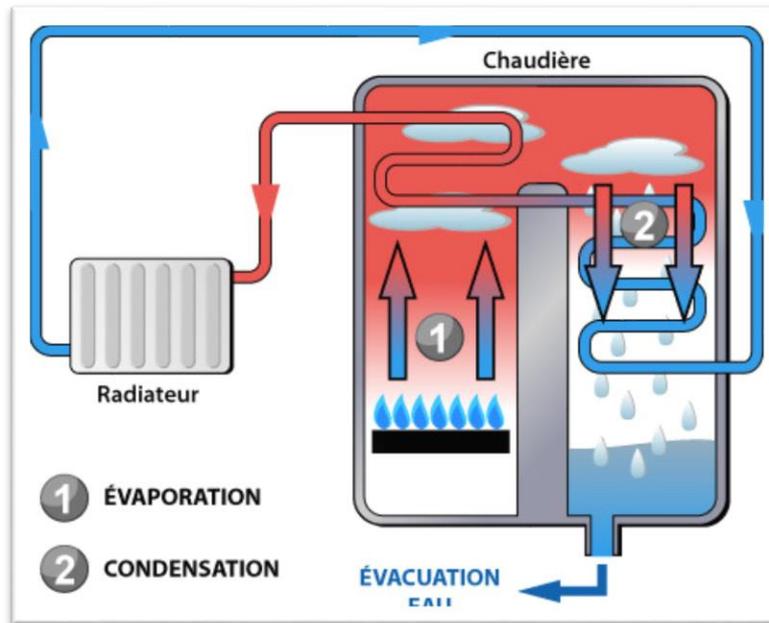


Figure 7: Chaudière Gaz à condensation

Le principe d'une chaudière biomasse est le même que celui d'une chaudière gaz mis à part le fait qu'ici le combustible est de la matière organique d'origine végétale. Dans notre projet, les granulés ont été retenus comme combustible. Ce type de chaudière nécessite la mise en place d'une zone de stockage (silo à granulé) suffisamment grande. Le bois ne pouvant bien sûr pas être acheminé comme le gaz, celui-ci devra être approvisionné périodiquement.

On met ici en lumière l'un des inconvénients des chaufferies biomasse: à savoir la place à prévoir afin de stocker le bois. Pour les nouveaux bâtiments, cela n'est pas un problème, lors de la conception de la chaufferie bois, on prévoira une place pour le silo. Cependant, sur une opération de réhabilitation avec pour ambition d'installer une chaufferie à granulés, nous devons nous assurer que la place est suffisante pour accueillir un silo à granulés.

Ces chaudières ont un rendement qui peut atteindre les 90% voire plus pour les chaudières bois à condensation.

3.2.2. Pouvoir calorifique des combustibles

Afin de réaliser un comparatif complet, nous devons nous intéresser aux combustibles, car ces derniers ne dégagent pas tous la même quantité de chaleur lors de la combustion. Ainsi, un combustible dégageant moins de chaleur qu'un autre devra être consommé en plus grande quantité afin de pallier à cette différence d'énergie libérée. Cela peut donc avoir un impact sur la consommation de combustible et donc des conséquences financières.

Il existe un indicateur permettant de quantifier cette quantité de chaleur (ou d'énergie) libéré : le pouvoir calorifique. Il correspond à la quantité de chaleur dégagé par la combustion d'une unité de quantité d'un combustible (ex : 1 m^3) en présence d'oxygène. On l'exprime généralement en kWh ce qui correspond à la quantité d'énergie fournie en une heure par un appareil d'une puissance d'un kilowatt. Le pouvoir calorifique se décline en deux indicateurs : le PCS (Pouvoir calorifique supérieur) et PCI (Pouvoir calorifique inférieur).

Le PCS correspond à la totalité de l'énergie fournie lors de la combustion complète d'une unité de combustible. Lors d'une combustion, une partie de l'énergie libérée se retrouve dans le circuit d'eau de chauffage et une partie dans les gaz de combustion. Le PCS prend en compte à la fois l'énergie cédée directement au circuit d'eau mais aussi l'énergie calorifique libérée lors de la condensation des vapeurs d'eau ou chaleur latente. Cette condensation se produisant lorsque les vapeurs sont refroidies.

Le PCI quant à lui correspond seulement à l'énergie cédée au circuit d'eau chaude.

$$PCS = PCI + CHALEUR LATENTE$$

Il existe des facteurs de conversions permettant de passer du PCS au PCI (Cf. annexe 7).

Le rendement d'une chaudière est calculé à partir du PCI. Le rendement est le rapport entre la quantité de chaleur réellement transmise à l'eau de chauffage et le PCI. En raison de perte d'énergie lors de la combustion (pertes par rayonnement, convection...), le rendement ne peut être égal à 100%. Les normes européennes retenant le PCI comme référence, il est logique que les rendements soient supérieurs à 100% pour les chaudières à condensation. Avec de telle installation, on transmet plus d'énergie à l'eau de chauffage que ce qu'indique le PCI. Si on raisonnait en kWh PCS pour les chaudières à condensation le rendement serait inférieur à 100%.

Le pouvoir calorifique est un indicateur permettant de comparer les énergies entre elles. Il permet de savoir quel combustible contient le plus d'énergie.

De manière générale, pour les énergies fossiles le pouvoir calorifique est plutôt constant.

Il n'en est pas de même pour les granulés bois (et le bois en général) dont le PCI dépend de son taux d'humidité. En effet, le PCI est inversement proportionnel au taux d'humidité. Il s'agit d'un facteur très important au niveau du rendement thermique. Par exemple, pour un bois au taux d'humidité de 60%, le PCI est divisé par un facteur allant de 3 à 4 (voir figure ci-dessous). De plus, un bois « humide » provoque l'encrassement des chaudières. Avec seulement une question de rendement thermique, on voit ici toute l'importance d'utiliser un bois sec.

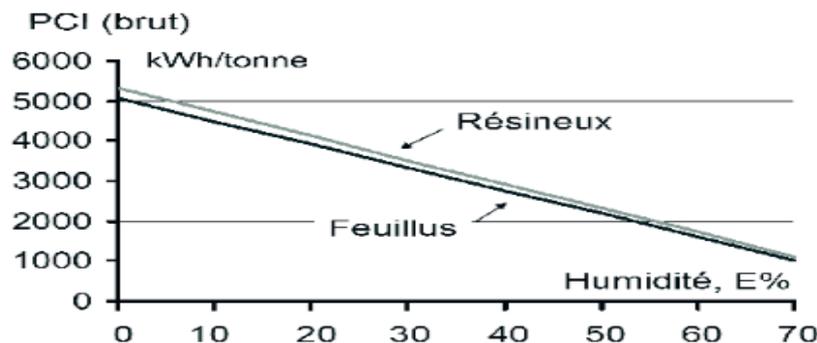


Figure 8: Courbe du PCI en fonction du taux d'humidité

Le taux d'humidité joue également un rôle important dans la nature et la quantité des polluants rejetés dans l'atmosphère comme l'explique la partie suivante.

Les granulés sont livrés secs et nous devons nous assurer que durant leur transport ainsi qu'au sein du silo ces derniers restent à sec. Cela représente donc des contraintes supplémentaires à prendre en compte lors de la phase de conception.

Ci-dessous un tableau récapitulatif :

		Chaudière GAZ	Chaudière Biomasse
Combustible		Gaz Naturel	Granulé
Type d'énergie		Energie fossile	EnR*
Stockage Combustible		Aucun (il suffit d'être raccordé au réseau de gaz de ville)	Silo (Assez encombrant)
Acheminement du combustible		Réseau enterré	Par camion
Performance	Autonomie**	Totale autonomie	2 semaines à 1 mois suivant la période
	Automatique	Oui	Oui
	Rendement	80-90% pour une chaudière classique 109% Pour une chaudière à condensation	> 90%
	PCI	10.83 kWh/kg	4,5 kWh/kg

Tableau 2: Récapitulatif des caractéristiques techniques

*EnR : Energie renouvelable. Les énergies renouvelables sont des énergies inépuisables. Elles sont issues des éléments naturels : le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la Terre, **la croissance des végétaux...**

**Durée pendant laquelle une installation de chauffage peut fonctionner sans rechargement de la réserve.

Les chaudières gaz sont bien plus performantes et pratiques que les chaudières biomasses. Elles présentent des rendements élevés et ne nécessitent pas de gérer les stocks de combustible. Le rendement de la combustion du bois est influencé par de nombreux paramètres ce qui en fait sa principale faiblesse.

Les chaudières biomasse (à granulés de bois) présentent toutefois un bon point : elles produisent de l'énergie renouvelable. On peut même penser qu'il s'agit de l'énergie du futur qui finira par remplacer les énergies fossiles. Les chaudières biomasse sont donc des systèmes très prometteurs que nous devons améliorer.

3.2.3. Les émissions de polluants

L'environnement est un aspect qu'EIFFAGE construction s'efforce de prendre en considération dans ses projets. Dans cette optique, il me paraît essentiel de présenter l'impact des chaudières gaz et à granulés sur l'environnement en terme d'émissions de polluants.

Par la suite, on parlera de condition stœchiométrique lorsque les quantités de réactifs sont dans les proportions identiques à celles de l'équation chimique (c'est-à-dire lorsque la réaction chimique est équilibré).

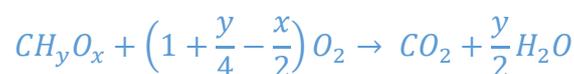
Ci-dessous un tableau des différents gaz polluants émis par les chaudières Gaz et Granulés :

+ : si plus polluant - : si moins polluant	Chaudière gaz naturel condensation	Chaudière granulés
CO₂ (Dioxyde de carbone)	Oui	Oui (mais bilan nul)
NO_x (Oxyde d'azote)	Oui(-)	Oui(+)
SO₂ (Dioxyde de soufre)	Oui(-) (négligeable)	Oui(+)
CO (Monoxyde d'azote)	Oui(+)	Oui(-)
COV (Composés organiques volatiles)	Oui (+)	Oui (-)
Particules fines et ultra fines	Non	Oui
HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)	Oui(+)	Oui(-)
Cendre	Non	Oui
Poussière lors de l'approvisionnement	Non	Oui

Tableau 3: Polluants émis par les chaudières gaz et granulés

Comme on peut le voir dans le tableau ci-dessus, les chaudières gaz ou bois sont émettrices de nombreux polluants atmosphériques. Dans un cas comme dans l'autre, les émissions sont les mêmes et seules les quantités les distinguent. Nous allons maintenant présenter les différentes causes de ces émissions.

Dans des conditions stœchiométriques, les produits de la combustion du gaz ou du bois seraient du CO₂ et de la vapeur d'eau (H₂O) comme on peut le voir dans l'équation ci-dessous :



CH_yO_x : Formule chimique générique d'un combustible. Tous les combustibles ont un point commun : ils contiennent des hydrocarbures c'est-à-dire des combinaisons multiples de carbones et d'hydrogènes.

En prenant l'exemple du gaz naturel (composé en grande partie de méthane), on obtiendrait l'équation suivante :



Le CO₂ est un puissant gaz à effet de serre et représente un réel problème pour l'environnement. La combustion du gaz naturel a un impact important en terme de rejet de CO₂. Ces rejets demeurent

néanmoins inférieurs à ceux de la combustion du charbon ou du fuel. (Cf. annexe 8 : Emissions de polluants par types de chaudières.)

En ce qui concerne le bois, l'impact en termes d'émission de CO_2 est considéré comme neutre. En effet, la quantité de CO_2 libérée lors de la combustion du bois correspond à celle que le végétal aura prélevé à l'atmosphère durant sa vie. On peut donc dire que le bilan de la combustion du bois pour le CO_2 est nul si on prend en compte un cycle de vie complet.

Seulement, dans une chaudière, la combustion ne se déroule jamais dans d'aussi bonne condition. Le comburant (l'oxygène) provenant de l'air atmosphérique contient de l'azote (N_2). Dans des conditions stœchiométriques, l'azote reste neutre et est rejeté comme tel. Or, nous avons en général un excès d'oxygène, nécessaire pour garantir la combustion de tout le carburant. L'azote se combinant donc avec l'oxygène excédentaire, on obtient du NO_x responsable en partie des pluies acides. A cela s'ajoute parfois des émissions de SO_2 responsable également des pluies acides. La formation de dioxyde de soufre résulte de la combinaison entre le soufre, présent dans certains combustibles (ex : bois), et l'oxygène.

A contrario, nous pouvons également avoir un défaut d'oxygène entraînant la aussi la formation de gaz très toxiques comme le monoxyde de carbone.

Exemple : équation chimique de la combustion du méthane avec un défaut d'oxygène :



$H_2 = Dihydrogène$

Le monoxyde de carbone est un gaz inodore et incolore qui peut rapidement provoquer la mort en cas d'exposition à un certain taux.

Ci-dessous une figure illustrant l'évolution du contenu des fumées en fonction du taux d'oxygène :

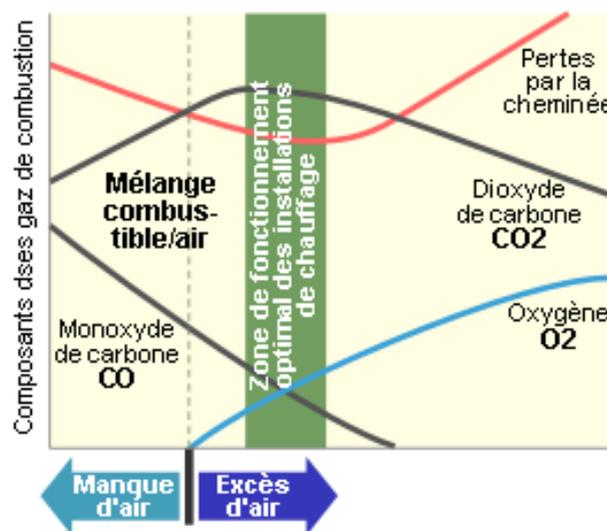


Figure 9: Importance du taux d'oxygène dans les rejets gazeux

Outre l'oxygène, d'autres facteurs favorisent l'émission de rejet toxique en ce qui concerne la combustion du bois. L'utilisation d'un bois trop humide ou une température de combustion non maîtrisée entraîne une combustion incomplète. Dans ce cas, nous avons une émission importante de

polluants gazeux et particulaires. On retrouve notamment le monoxyde de carbone ou de l'oxyde d'azote qui dépendent fortement de la température de combustion comme on peut le voir ci-dessous :

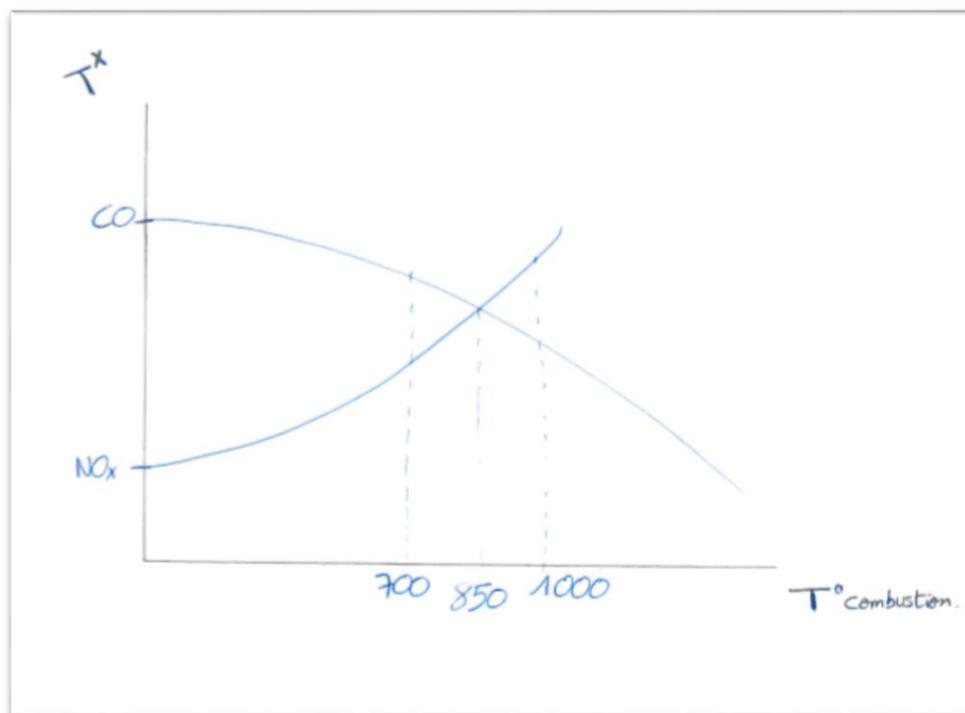


Figure 10: Importance des rejets de CO et NOx en fonction de la Température de combustion

La température de combustion idéale se trouve à l'intersection des deux courbes, soit à 850°C. Des capteurs sont donc présents afin de mesurer la température de combustion et de la réajuster si nécessaire. Maintenir une température à 850°C étant impossible, on s'autorise une température se trouvant entre 700°C et 1000°C.

Un taux d'humidité du bois trop important est également responsable de la production de composés imbrûlés émis sous forme de polluants gazeux, de particules fines et ultra fines. En ce qui concerne les polluants gazeux, en plus de ceux déjà énoncés précédemment, nous avons des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et du protoxyde d'azote (N_2O). A cela est associée l'émission de ces fameuses particules fines et ultra fines : PM_{10} et $PM_{2,5}$.

La composition du bois doit être vérifiée. Celui-ci ne doit avoir subi aucun traitement chimique et ne doit contenir aucune impureté telles que des objets métalliques ou des cailloux. Cela pourrait être à l'origine de rejet nocif.

En raison de ces nombreux facteurs favorisant les émissions de polluant, il est fortement conseillé voire exigé pour certaines chaudières d'utiliser seulement des granulés certifiés.

Attention, il est important de préciser que l'analyse précédente prend seulement en compte les produits issus de la combustion. Avant cette étape finale, le gaz naturel ou le bois doivent être extraits, transportés, transformés puis à nouveau transportés jusqu'à la chaudière. Chacune de ces phases doivent évidemment être prises en compte car elles sont potentiellement source de polluants. D'après une étude de la SNPGGB* sur l'analyse du cycle de vie des granulés bois, on produirait 7.3 g de CO_2 par Méga joule utile soit environ 26.25g CO_2 /kWh utile. Cela reste dix fois inférieur aux émissions

induites par le cycle de vie du gaz qui est aux alentours de 70 g de CO₂ par méga joule utile. L'étude révèle aussi que pour du bois importé, les émissions sont doublées d'où l'intérêt de favoriser l'utilisation de bois venant de France. Le but à l'avenir est d'optimiser la chaîne de production des granulés bois afin de diminuer encore ces émissions de CO₂.

*SNPGB : Syndicat National des Productions de Granulés de Bois.

Finalemment, le bois est une énergie renouvelable causant très peu d'émission de CO₂. Cependant, et cela peut paraître étonnant, il est la cause de rejet de nombreux autres polluants et cela dans des quantités parfois supérieures au gaz naturel. On peut donc dire que la combustion du bois est moins propre que la combustion du gaz naturel.

3.3. Aspect financier

3.3.1. Prix d'achat/installation/ maintenance

Le prix d'achat, d'installation et de maintenance d'une chaudière dépend fortement du type de produit choisi (chaudière bois, gaz, fuel). En moyenne, les prix sont les suivants :

Notation du moins onéreux avec € au plus onéreux avec €€€

	Chaudières Granulés	Chaudières Gaz Condensation
Coûts :		
Achat	12 000-25 000 €	4 500-7 000 €
Installation	€€€	€
Maintenance	210-410 €	80-190€

Tableau 4: Comparatif des chaudières gaz et granulés

Comme on peut le constater ci-dessus, les chaudières à granulés sont les plus chères. Leur prix d'achat varie entre 12 000 euros et 25 000 euros suivant le modèle avec un coup d'entretien annuel variant de 210 euros à 410 euros. Le prix des chaudières gaz à condensation est beaucoup plus attractif. Il faut compter entre 4500 euros et 7000 euros et un coût d'entretien variant 80 euros à 190 euros par an. A ces coûts s'ajoute un prix d'installation qui diffère suivant les chauffagistes mais qui sera forcément plus élevé pour une chaudière biomasse. Celles-ci sont bien plus complexes. Nous pouvons constater ces différences de prix sur les devis des entreprises que nous avons consultées.

Dans le cadre de notre chantier, nous avons une chaufferie gaz de 440 kW et une chaufferie bois de 160 kW. Le coût de ces chaufferies, issue du chiffrage de notre chauffagiste Dalkia, est le suivant:

	Gaz	Bois
Puissance	440,00 kW	168,00 kW
coût chaudières seules	7 000,00 €	25 000,00 €
Coût chaudières installées avec principaux accessoires	42 700,00 €	44 150,00 €
Coût au kW	97 €/kW	263 €/kW

Tableau 5: Coût des chaudières appliqué à notre chantier

Le ratio €/kW devra être complété de ratio obtenu sur d'autres chantiers.

3.3.2. Prix combustibles

Le prix de revient du combustible représente un coût à ne pas négliger lors de la phase étude. En effet, il peut représenter une source importante d'économie pour l'utilisateur et donc influencer le choix du client quant à la solution qu'il choisira. De plus, certains combustibles et en particulier les énergies fossiles, ont un prix très volatiles et destiné à augmenter dans les années futures. Cela s'explique en partie par la raréfaction de ces ressources. Les énergies renouvelables (EnR) quant à elles ont un prix plutôt stable dans le temps. Cela s'explique par un renouvellement naturel et assez rapide qui nous permet de considérer ces ressources comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

Actuellement, l'écart de prix entre le gaz naturel et les granulés de bois n'est pas très significatif. Le kilo watt heure de gaz naturel est à 0.0715 euro tandis que le kilo watt heure de bois est à 0.057 euro. Cependant, alors que le prix du kWh de bois est resté stable depuis le début de l'année 2018, celui du gaz naturel a énormément fluctué et connu un pic à 0.0783 euro/kWh en Juillet. (CF annexe 10)

Ci-dessous, une figure illustrant nos propos :

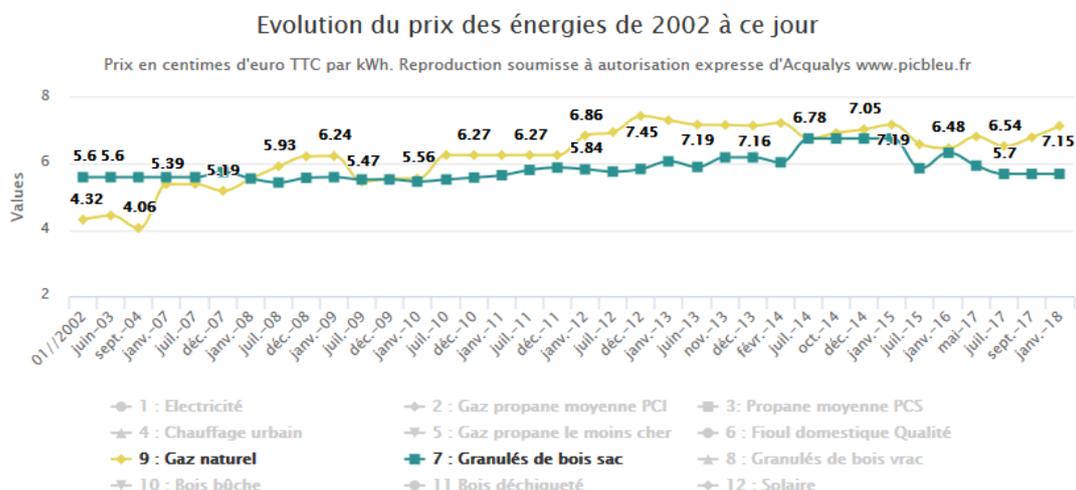


Figure 11: Evolution des prix du gaz naturel et des granulés

Afin d'avoir une idée des économies possibles grâce à l'utilisation du bois, nous pouvons déterminer le prix de revient sur une année du combustible. Les calculs seront effectués pour les besoins énergétiques de l'année 2017 s'élevant à 918 000 kWh selon les données fournies par le bailleur. Dans le premiers cas nous ferons le calcul suivant l'installation passé, c'est-à-dire, fonctionnant à 100 % au gaz naturel. Dans un second temps, le calcul sera fait pour l'installation future c'est-à-dire fonctionnant à 30% au bois et 70% au gaz naturel. Afin de faciliter les calculs, nous allons faire des hypothèses. Nous allons fixer le prix du kWh de gaz naturel à 0.072 euro et celui du kWh de granulé bois à 0.057 euro. Les valeurs que l'on va obtenir permettront d'avoir une idée des économies possibles grâce au bois.

Pour une installation fonctionnant au gaz, le coût de revient en combustible à l'année est de $0.072 \times 918\,000 = 66\,096$ €. Pour notre installation future fonctionnant à 30% au granulé bois et 70% au gaz naturel, le détail des besoins couverts par type d'énergie et des coûts est le suivant :

Besoins Energétiques Détaillés par type d'énergie		
Besoins Energétiques annuel en kWh (2017)	30% des besoins annuel (kWh)	70% des besoins annuel (kWh)
918 000	275 400	642 600

COÛTS (€)				
Prix du kWh de Granulé	Coût des Granulés bois pour assurer 30% des besoins	Prix du kWh de Gaz naturel	Coût du gaz naturel pour assurer 70% des besoins	Total
0,057 €	15697,8 €	0,072 €	46267,2 €	61965 €

Ainsi, en choisissant ce mode de production d'énergie partagé entre gaz naturel et granulés de bois, on aurait réalisé une économie de 4131 euros en 2017.

Nous pouvons également écrire une expression littérale donnant les économies ou pertes réalisés. Celle-ci sera fonction du coût des matières premières et des besoins énergétiques. Pour cette expression littérale, nous allons prendre pour répartition de production énergétique, celle du projet : 30 % d'énergie issue du bois et 70 % issue du gaz naturel.

Ci-dessous, l'expression littérale détaillée:

$$\Delta = \text{Gains ou Perte}; X = \text{Besoins énergétiques annuel en kWh};$$

$$a = \text{prix du kwh de Gaz naturel}; b = \text{pris du kwh de Granulé de bois} \quad (\text{Attention, ces valeurs peuvent varier durant une même année})$$

$$\text{Coût du gaz naturel pour produire 100\% des besoins} = a \cdot X$$

$$\text{Coût si production énergétique partagée} = a \cdot 0,70 \cdot X + b \cdot 0,30 \cdot X$$

$$\text{Ainsi, } \Delta = a \cdot X - (a \cdot 0,70 \cdot X + b \cdot 0,30 \cdot X) = a \cdot X(1 - 0,70) - b \cdot 0,30 \cdot X$$

Après factorisation on obtient : $\Delta = 0,3 \cdot X \cdot (a - b)$

Aux termes de nos travaux, les besoins énergétiques seront plus élevés, en raison de la production d'ECS par les chaufferies. Au vue de l'expression ci-dessus, cela aura pour effet d'augmenter les économies de coût de combustible. De plus, si les prévisions concernant le prix du kWh de gaz naturel sont bonnes, les gains augmenteront aussi.

L'exploitant des chaufferies (Dalkia) quant à lui pourra accroître ce gain en augmentant la production d'énergie par la chaudière bois. Par exemple, Dalkia pourra décider de passer à 50% de production d'énergie par la chaudière bois et 50% par les chaudières gaz. Ces modifications seront sûrement mise en place lorsque le prix du gaz sera trop important par rapport à celui du bois.

3.3.3. Coût des études

Pour rénover une chaufferie, des études thermique et technique doivent être réalisées. La première aura pour but d'analyser le niveau de performance énergétique du ou des bâtiments. Concrètement, il s'agira de déterminer les potentielles consommations d'énergie des futurs bâtiments. L'étude technique quant à elle, consistera à choisir la technologie de la chaudière ainsi que les matériaux et équipements qui constitueront la chaufferie. Cette étude permettra également de réaliser un tracé optimisé du réseau de chauffage (et/ou d'ECS) tout en déterminant les matériaux les mieux adaptés ainsi que les pertes de chaleurs par tronçon.

Les études réalisées pour une chaufferie biomasse sont bien plus longues et complexe que pour une chaufferie gaz. Aux études citées précédemment, s'ajoutent des études de gros œuvre pour le silo à granulés. Pouvant se situer sous la voirie, celui-ci doit être dimensionné de sorte à supporter la charge de véhicules. Un point d'approvisionnement doit être créé et la fréquence de livraison déterminée à l'avance.

En moyenne, les études représentent 5 % du prix de la prestation liée aux travaux en chaufferie. Ainsi, une chaufferie biomasse étant bien plus onéreuse que celle d'une chaufferie gaz, les études le sont aussi.

3.3.4. Subvention de l'état

L'état a mis en place un crédit impôt de 30% sur le revenu au titre des dépenses effectuées afin d'inciter la transition énergétique et à l'amélioration de la qualité environnementale. Or, la mise en place d'équipements de production d'énergie utilisant une source d'énergie renouvelable telle que la chaudière à granulés permet d'en bénéficier.

3.3.5. Tableau synthèse

€: moins chère	€€€: plus chère	
	Chaudières Bois	Chaudières Gaz Condensation
Coûts:		
Achat	12 000-25 000,00 €	4500-7 000,00 €
Installation	€€€	€
Maintenance	210-410,00 €	80-190,00 €
Combustible	€	€€€ + forte volatilité
Etude:		
Coûts	€€€	€
Complexité	Complexe	Classique
Subvention de l'état	Crédit impôt 30%	Crédit impôt 30%
Facilité d'installation	Complexe	Classique

Tableau 6: Synthèse sur la comparaison financière

4. Le chantier

Revenons maintenant sur le cas particulier du chantier de Vincennes.

Dans cette partie, nous allons présenter les différentes contraintes et problématiques induites par la modification de tout un système de production d'énergie et la création d'un nouveau réseau. Comme nous le verrons, les travaux en chaufferies sont assez importants. Il est donc impératif de les préparer au mieux en amont et d'anticiper les potentiels problèmes ou nuisances futurs. Cette présentation permettra de relater des faits sur lesquels EIFFAGE Construction pourra se baser pour de futurs projets similaires.

4.1. Disposition des chaufferies

Ci-dessous, un rappel de la localisation des chaufferies sur le plan de masse futur :



Figure 12: Implantation des chaufferies sur le plan futur

4.2. Synoptique chaufferie et fonctionnement

Un synoptique est une représentation graphique qui permet d'avoir d'un coup d'œil un ensemble d'informations sur un système complexe. Veuillez trouver en annexe 10 le synoptique des chaufferies nous permettant de comprendre comment celles-ci fonctionnent.

Dans les parties suivantes, nous allons effectuer un zoom sur ce synoptique afin d'analyser la façon dont est produit l'ECS et le chauffage.

4.2.1. Production ECS

La production d'ECS se fera de la façon suivante :

Les chaudières font monter en température ($\approx 80^{\circ}\text{C}$) un fluide caloporteur (eau) qui est stocké ensuite dans un ballon primaire. Ce ballon est alimenté à la fois par les chaudières gaz (circuit rouge) et par la chaudière bois (circuit rose). A partir du ballon, ce fluide est envoyé vers un échangeur ECS où il cède ses calories à une eau froide (circuit orange). Cette eau froide provient à la fois des logements (car le réseau ECS est bouclé) et du compteur à partir d'où le réseau est alimenté. En effet, nous pouvons voir qu'avant d'atteindre l'échangeur, une canalisation bleue vient se raccorder au circuit de retour (orange). En sortie de l'échangeur, le fluide caloporteur quant à lui est donc refroidi et renvoyé vers les chaudières.

L'eau chaude sanitaire doit être entre 55°C et 60°C (minimum 55°C pour ne pas avoir de légionellose et maximum 60°C pour ne pas brûler les locataires). Or, en contact avec un caloporteur à 80°C , l'ECS risque de passer au-dessus des 60°C . Pour éviter cela, le régulateur de l'échangeur permet de mélanger du caloporteur sortant du ballon primaire (80°C) et du caloporteur plus froid sortant de l'échangeur. Le régulateur adapte en permanence la position d'une vanne trois voies (V3V) afin de maintenir la température d'ECS entre 55°C et 60°C .

Le ballon primaire a une certaine importance dans le réseau. Il permet de stocker un fluide caloporteur chaud et de fournir de l'énergie à l'échangeur pour faire face aux petites demandes d'ECS lorsque les chaudières ne sont pas en marche (par exemple la nuit). Le stockage d'énergie correspond au tirage de cinq à dix minutes d'ECS, le temps que les chaudières se mettent en route.

Ci-dessous, un zoom sur la production d'ECS illustrant nos propos :

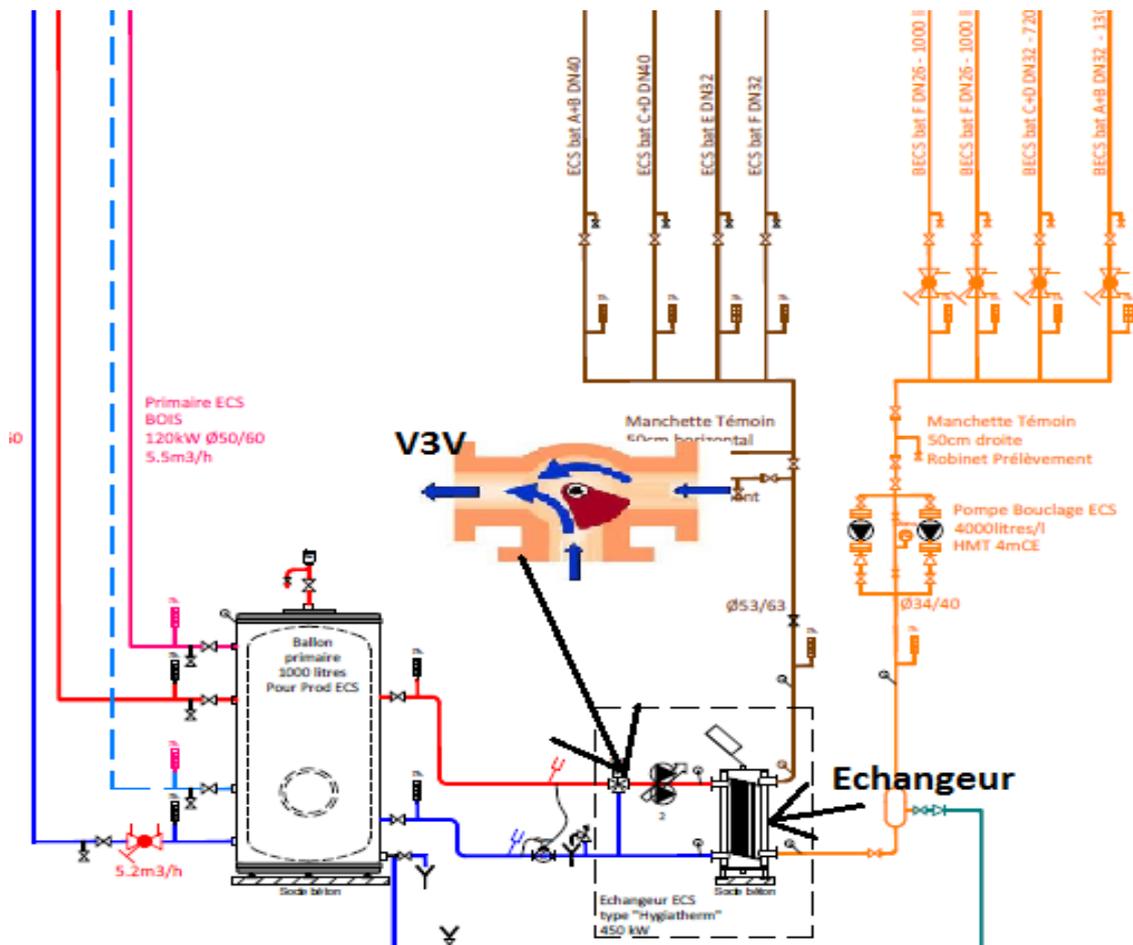


Figure 13: Zoom sur la production d'ECS

4.2.2. Production chauffage

La production d'énergie en ce qui concerne le circuit de chauffage est assez similaire à celle de l'ECS. Nous avons un ballon primaire alimenté en fluide caloporteur par les chaudières. Néanmoins, contrairement au réseau ECS, nous n'avons pas d'échangeur thermique et le fluide chaud est directement envoyé vers les radiateurs où il cèdera ses calories. Cette installation sera également équipée de régulateur et de vanne 3 voies (V3V) afin de gérer au mieux le chauffage. En effet, la température de chauffage dépendant de la température extérieure, le régulateur permet d'envoyer du caloporteur tiède quand il fait doux ou du caloporteur chaud quand il fait froid. Pour atteindre la température idéale du caloporteur, le régulateur manœuvre la V3V pour mélanger du caloporteur chaud venant de la chaufferie (circuit rouge) et du caloporteur froid revenant des radiateurs (circuit bleu).

Ci-dessous une illustration de nos propos. On peut y voir le ballon primaire, départ du caloporteur chaud vers les radiateurs. On constate également la présence des V3V à l'intersection du circuit chaud (rouge) et froid (bleu).

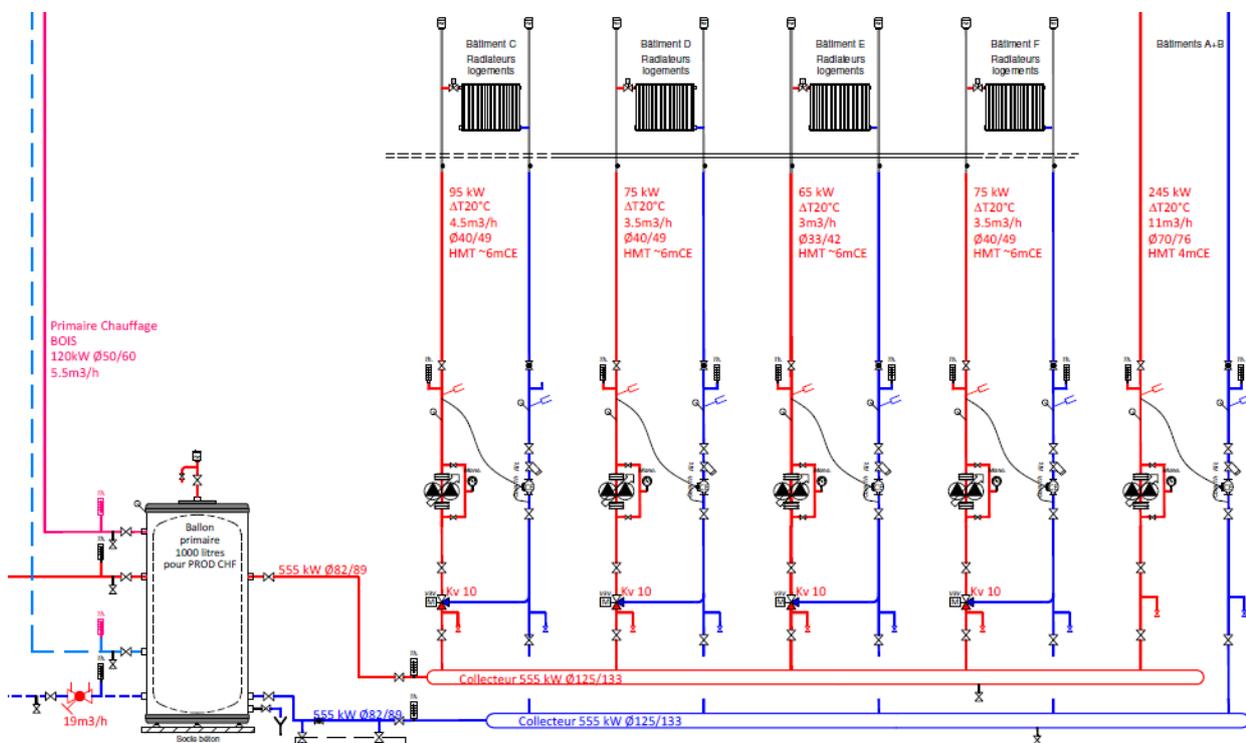


Figure 14: Zoom sur la production d'énergie pour le chauffage

4.3. Consommations futures

4.3.1. Besoins énergétique

Les consommations énergétiques futures pour le chauffage ainsi que pour l'ECS doivent être connues à l'avance afin de prédire la consommation annuelle de gaz et de granulés. Ces données nous permettent aussi de savoir si les caractéristiques de nos appareils sont les bonnes afin de répondre à ces besoins. Par exemple, ils nous permettent de savoir si la puissance totale des chaudières est suffisante.

Une étude de la résidence effectuée par notre bureau d'étude nous a permis d'obtenir les besoins énergétique pour le chauffage, à savoir : 580 992 kWh/an.

Concernant les consommations pour l'ECS, nous devons faire certaines hypothèses et nous référer à des données de l'ADEME. Nous supposons donc que l'eau froide (EF) et l'ECS ont respectivement une température de 10 °C et 65 °C. Nous devons ensuite déterminer les besoins en ECS de chaque type de logement puis de l'ensemble de la résidence.

Ces données sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Besoin ECS à 65°C par logement Valeur retenue par ADEME	Qté totale (de logement)	Conso unit ECS L/jour	Conso totale ECS L/jour
Studio T1	11	40	440
T2	19	55	1045
T3	8	75	600
T4	51	95	4845
T5	1	125	125
Total	90		7055
Supplémentaire		5%	353
Consommation totale journalière			7408

Tableau 7: Consommations journalières d'ECS

Or, il faut 1,163 Wh pour élever 1 litre d'eau de 1°C. Ainsi, l'énergie nécessaire pour l'ECS journalière est de : 474 kWh/jour. Ci-dessous, le détail du calcul :

$$\frac{7408 \times 1,163 \times 55}{1000} \approx 474 \text{ kWh/jour}$$

L'énergie nécessaire pour le maintien en température de l'ECS est de 216 kWh/jour.

Ces données nous permettent donc de déterminer l'énergie annuelle nécessaire pour chauffer l'ECS. Ainsi, nous avons besoin de 251 850 kWh/an. Ci-dessous, le détail du calcul :

$$(474 + 216) \times 365 = 251\,850 \text{ kWh/an}$$

Ci-dessous, une synthèse des consommations totales estimées par saison et par an :

	Hiver (7 mois)	Eté (5 mois)	unité
Consommation pour le chauffage	580 992	SO	kWh
Consommation pour l'ECS	146 958	104 970	kWh
Consommation total hors rendement	727 950	104 970	kWh
Rendement de production, d'émission...	85%	85%	
Consommation totale estimée par saison	856 412	123 494	kWh
Consommation totale estimée par an		979 906	kWh/an

Tableau 8: Calcul des consommations énergétiques

La chaudière bois devant assurer 30% des besoins énergétiques annuels, elle devra fournir 293 972 kWh/an. Les chaudières gaz assureront donc le reste des besoins énergétiques soit 685 934 kWh/an.

4.3.2. Besoins en Granulés de bois

Comme on l'a vu précédemment, la chaudière bois doit fournir 293 972 kWh/an. Le PCI des granulés utilisés étant de 4.5 kWh/kg, nous aurons donc besoin d'environ $\frac{293\,972}{4.5} = 65\,327$ kg de granulés. D'une densité de 600 kg/m³, cela représente un volume de granulés de 108.9 m³/an et environ trois fois le volume du silo.

4.4. Approvisionnement en Granulés

Le silo à granulés situé dans la chaufferie AB sera le lieu de stockage du combustible. Le nombre de livraisons annuelles doit être connu dès maintenant afin de pouvoir appréhender la gêne occasionnée et fixer le point de rechargement. Les besoins étant de 108,9m³, si l'on décidait d'effectuer des livraisons de 21 tonnes, soit 35m³, il en suffirait de trois par an. Cependant, une livraison de 35m³, n'est pas envisageable pour deux raisons:

- Une telle livraison peut durer plus de deux heures. Il s'agit donc de deux heures de nuisance sonore et d'émission de poussières pouvant fortement déranger les riverains.
- Les camions pour une livraison de cette ampleur ne passent pas en ville.

Nous avons donc opté pour 13 livraisons annuelles de 8m³ chacune, réduisant ainsi le temps de livraisons (entre 30 minutes et 1h la livraison) et donc la gêne occasionnée. Ce point étant fixé, nous devons maintenant déterminer le lieu de livraison. Ce dernier était initialement prévu sur la voie publique comme indiqué sur le plan ci-dessous :

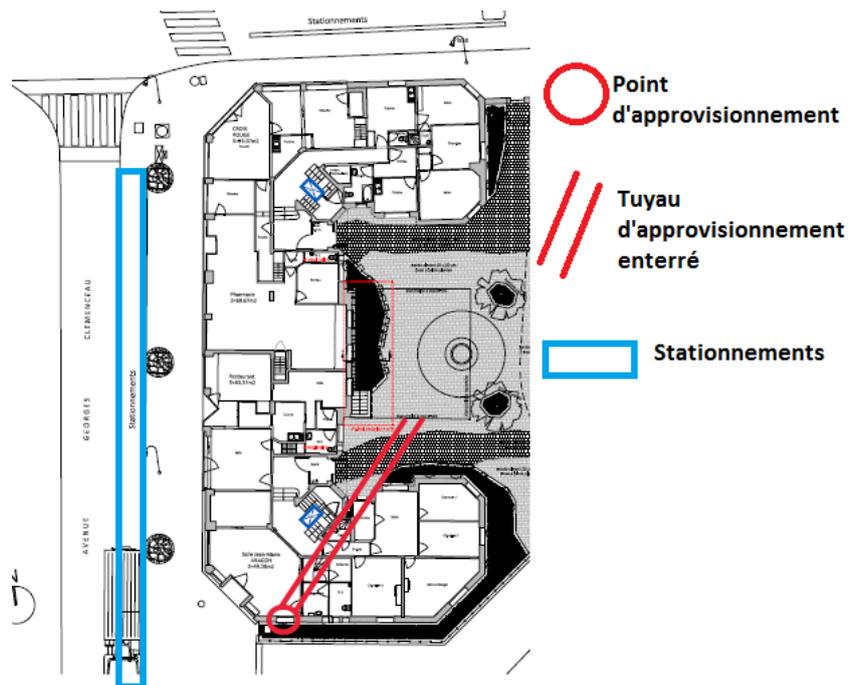


Figure 15: Première proposition pour l'approvisionnement du silo

Cependant, de nombreux problèmes furent soulevés par ce point de livraison. La distance entre le camion-citerne et le silo à granulés ainsi que le nombre de coudes (non représentés sur la figure) sont trop importants. Or, ces deux paramètres jouent un rôle primordial dans la qualité des granulés livrés. De plus, il suffit qu'un véhicule soit stationné sur la place la plus proche du point d'approvisionnement pour empêcher la livraison. Ces potentiels problèmes nous ont donc contraints de modifier le point de livraison et par conséquent les plans. Finalement, nous avons opté pour un rechargement depuis l'intérieur de la résidence comme indiqué sur le plan ci-dessous :

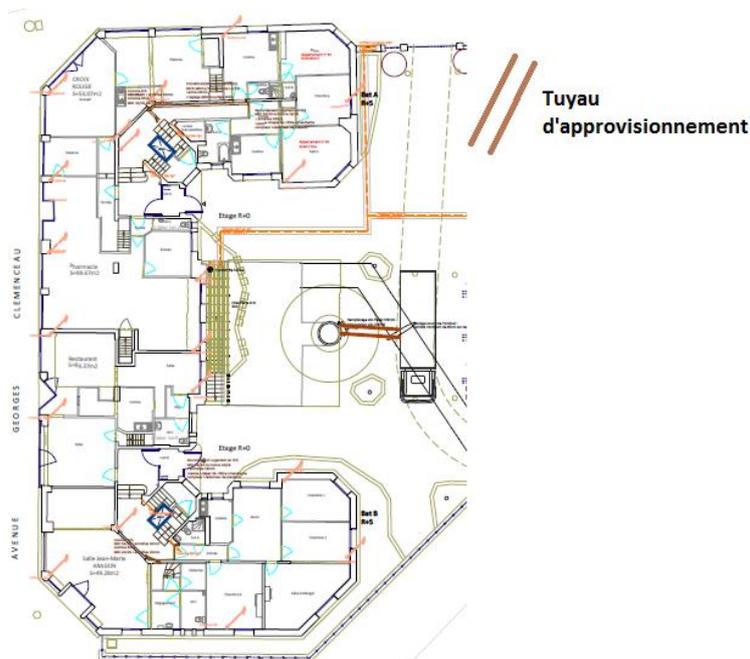


Figure 16: Lieu d'approvisionnement du silo retenu pour le projet

Ce choix nous permet de nous affranchir de tous problèmes de stationnement et de distance.

4.5. Distribution Chauffage et ECS

4.5.1. Distribution chauffage

La distribution chauffage correspond à l'ensemble du réseau permettant d'acheminer l'eau de chauffage depuis les chaudières jusqu'aux radiateurs (émetteur de chaleur).

Une réfection totale du réseau de chauffage horizontale étant prévu, nous allons en profiter pour optimiser son cheminement. Pour le nouveau tracé, on évitera au maximum de passer par les caves des locataires et les vannes d'arrêt se trouveront obligatoirement au niveau des circulations. Ces modifications permettront de faciliter les futures interventions sur le réseau. Avant de pouvoir effectuer ce nouveau tracé sur Autocad, Mr. Philippe MAHE et moi-même avons dû faire un repérage du réseau existant et des colonnes montantes. Le nouveau tracé devra passer par chacune de ces colonnes montantes. Celles-ci seront remplacées à hauteur de 20%. Un désembouage sera réalisé afin de nettoyer le circuit de chauffage qui depuis de nombreuses années a dû voir son diamètre diminué par les dépôts de boue et de rouille.

Ci-dessous, l'ancien et le nouveau tracé en sous-sol des bâtiments E et F :

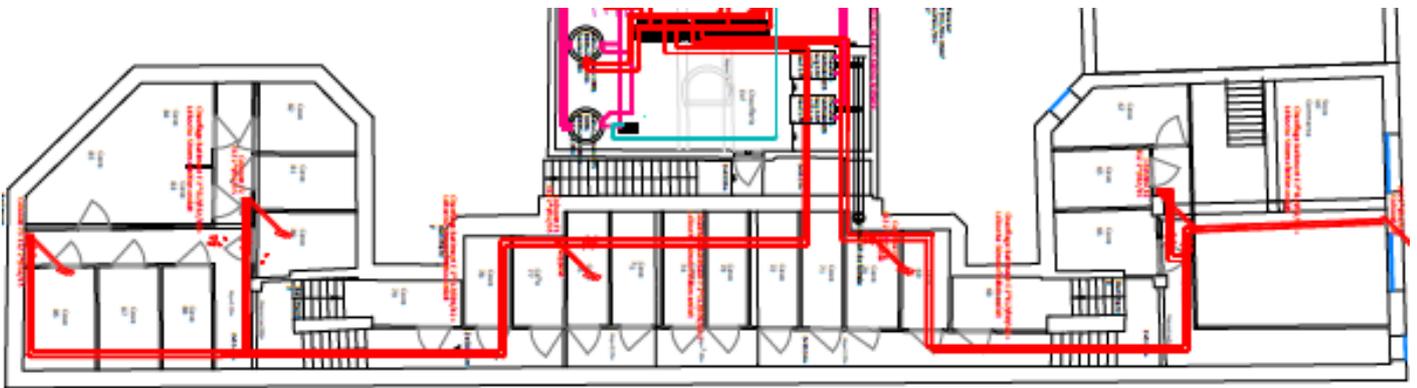


Figure 17: Ancien réseau de chauffage

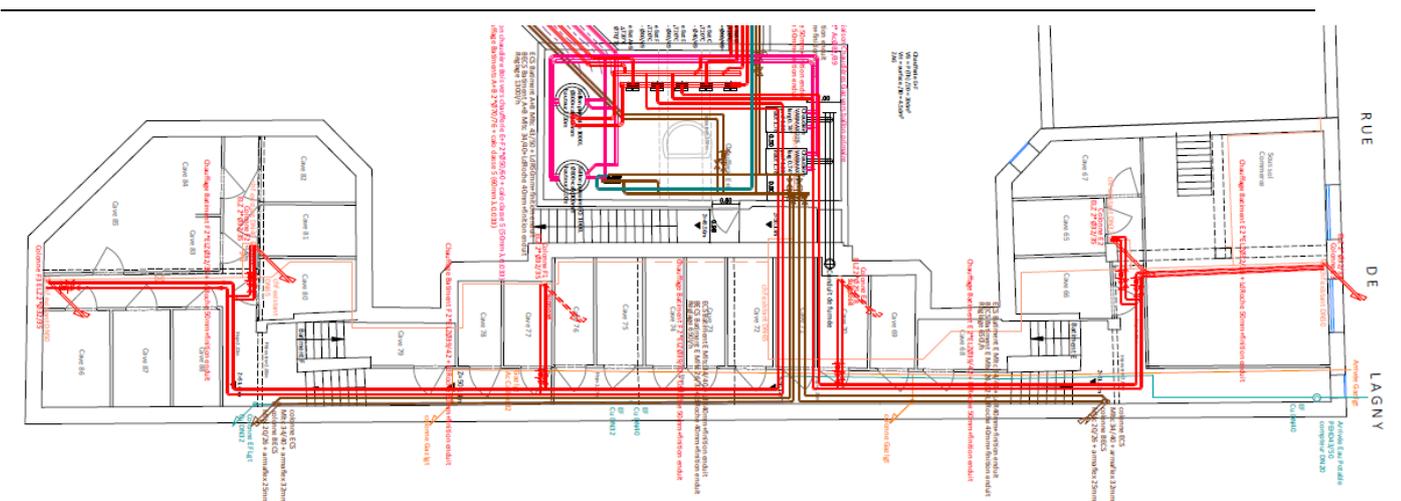


Figure 18: Nouveau réseau de chauffage

4.5.2. Distribution ECS/BECS

Le réseau ECS est quant à lui bien plus complexe à mettre en place, et doit être créé entièrement. Comme pour le réseau de chauffage il s'agira d'un réseau bouclé.

Dans un premier temps nous nous sommes efforcés de réaliser un réseau horizontal qui soit le plus pratique possible malgré les nombreuses contraintes du site. Là aussi, le cheminement sera fonction de l'emplacement des colonnes montantes qui passeront par les parties communes afin de minimiser les interventions chez les locataires. Ces colonnes montantes seront raccordées au réseau horizontal en sous-sol. Nous aurons pour chaque cage d'escalier deux colonnes montantes dont une pour acheminer l'ECS aux étages et une pour permettre de réaliser le bouclage.

Le bouclage d'ECS est une installation qui se fait de plus en plus dans le collectif et qui apporte de nombreux avantages. Les raisons ayant motivé ce choix dans notre cas sont les suivantes :

- Sanitaire : le bouclage permet d'éviter la légionellose
- Confort et économique : il garantit de l'ECS en moins de dix secondes.

Dans une installation classique, lorsque l'on ferme le robinet, le tuyau qui alimente ce dernier reste plein d'eau chaude qui se refroidit progressivement (perdant inutilement l'énergie qu'il a fallu pour la chauffer). A sa réouverture, cette eau devenue froide sera donc écoulé en attendant l'arrivée d'eau chaude. Cela représente des pertes d'énergie ainsi qu'un gaspillage d'eau que le bouclage permet de nous éviter. En effet, ce système permet par l'intermédiaire d'une pompe de renvoyer l'eau non utilisé vers l'échangeur.

Revenons maintenant aux colonnes montantes et à l'acheminement de l'ECS vers les logements qui nous a posé problème. Les contraintes rencontrées sont d'ordres financier et sanitaire. A chaque palier, nous devons raccorder le réseau d'ECS aux logements. Cependant, si la distance entre le piquage et le logement est trop élevé, nous avons un risque de légionellose. Pour limiter ce risque, le tronçon reliant le réseau au logement doit contenir au maximum trois litres d'eau ce qui nous fixe notre distance maximum à ne pas dépasser. Connaissant le diamètre de nos canalisations, la formule suivante nous permet d'avoir la longueur de canalisation maximum autorisée.

$$l = \frac{V}{\pi \times r^2}$$

Avec $V = 0.003 \text{ m}^3 = 3L$; r le rayon des canalisations et l la longueur maximale autorisée.

En contact direct avec les bureaux d'étude, je proposais des solutions en essayant de prendre en considération toutes les contraintes de notre site. La solution la plus économique et ne posant aucun problème de légionellose aurait été de faire passer les colonnes montantes directement dans les logements. Celle-ci ayant été mise de côté, la deuxième solution est de réaliser un bouclage horizontal à chaque palier. Cette solution permet donc de rapprocher le réseau d'ECS du logement et minimiser le risque de légionellose. Cependant, le bouclage double les quantités de tuyauteries et représente un coût non négligeable. Ci-dessous, une explication des solutions retenues pour l'approvisionnement en ECS de chaque logement.

Pour le bâtiment A, au vue de la configuration des logements à chaque palier, un bouclage est la meilleur solution. Ci-dessous, une illustration du bouclage proposé :

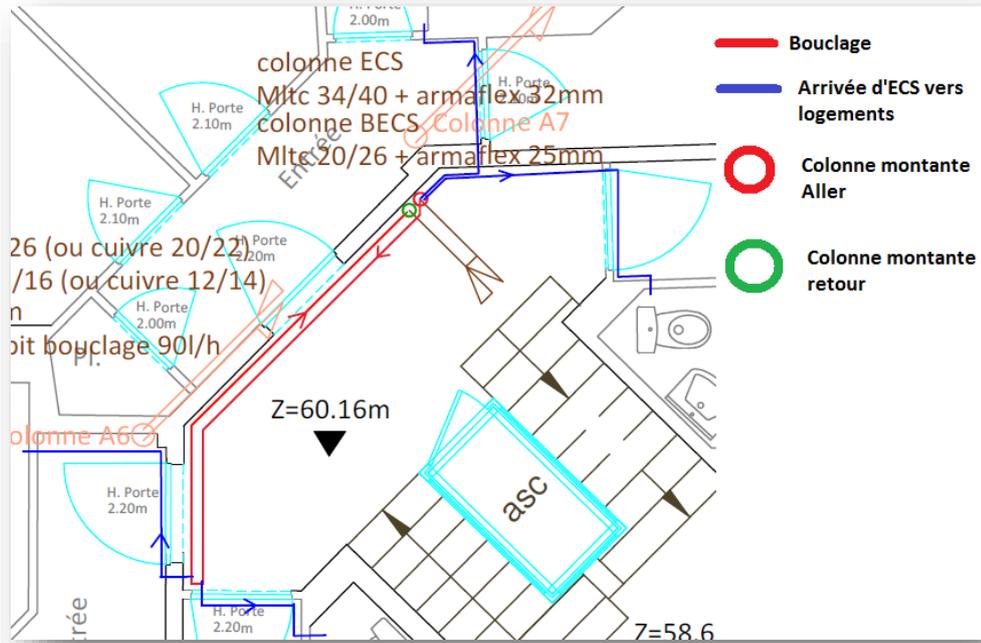


Figure 19: Distribution ECS bâtiment A

Comme on peut le voir, pour les logements situés en haut à droite, nous réaliserons un piquage directement sur la colonne montante arrivée en raison de la faible distance les séparant de celle-ci. Les logements situés en bas à gauche quant à eux, étant trop éloignés de la colonne montante, nous réaliserons un bouclage sur le palier. Le piquage de l'ECS se fera sur ce bouclage. Ce schéma se répète pour chaque étage. Le bâtiment B étant symétrique au bâtiment A, nous retrouverons le même bouclage.

Pour les bâtiments C, D, E et F, la tâche est bien plus complexe. Nous avons des demi-paliers rendant plus contraignant l'emplacement des colonnes montantes. Les bâtiments E et F étant symétriquement identiques, nous allons traiter que du bâtiment E. Quatre solutions furent proposées :

- Passer les colonnes montantes par les logements malgré la gêne occasionnée.
- Passer par le milieu de la cage d'escalier.
- Faire passer les deux colonnes montantes d'un côté de la cage d'escalier et effectuer un bouclage jusqu'au logement situé un demi-palier plus bas.
- Réaliser des piquages sur la colonne montante « aller » afin de fournir l'ECS au logement situé un demi-palier plus bas.

La première solution fut mise de côté en dernier pour la même raison énoncé précédemment. La deuxième est impossible à réaliser en raison de la création d'un ascenseur. La quatrième solution fut oubliée en raison d'un potentiel risque de légionellose lié à la longue distance entre le piquage et le mitigeur. Afin d'éliminer ce risque, un bouclage a donc été réalisé et cela jusqu'au logement situé un demi-palier plus bas. La troisième solution a donc été retenue et est illustré ci-dessous :

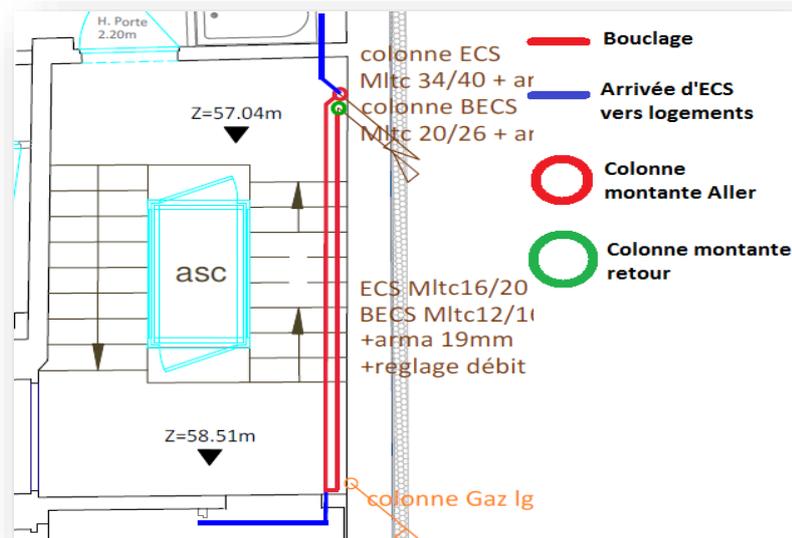


Figure 20: Distribution ECS bâtiment E

La réflexion étant la même pour les bâtiments C et D, la solution retenue est présentée en annexe 11.

4.6. Impact sur les locataires

Lors des phases d'étude et de préparation nous avons tâché de minimiser l'impact des travaux de chauffage sur les locataires. Nous avons, par exemple, cherché des solutions pour distribuer l'ECS sans passer par les logements. Cela a donc permis de réduire le nombre d'intervention chez les locataires. Cependant, la réalisation de travaux de cette envergure ne peut pas se faire sans impacter les habitants. Ci-dessous un tableau des principaux inconvénients occasionnés par nos travaux :

Tâches réalisées	Impacts	Durée de la tâche
Création de la tranchée pour relier les chaufferies entre elles	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution sonore - Pollution visuelle - Poussières 	-Une semaine
Réalisation des carottages pour passage des colonnes montantes	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution sonore importante - Parties commune encombrées 	-deux jours par bâtiment
Passage des colonnes montantes et des réseaux horizontaux à chaque palier pour réalisation du bouclage	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution sonore - Parties communes encombrées - Réalisation de soudure 	-Une semaine par bâtiment
Retrait des ballons d'eau chaude de chaque logement et raccordement au réseau d'ECS créé	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution sonore - Coupure d'eau chaude 	-Quelques heures

Tableau 9: Impact des travaux liés à la production d'énergie sur les locataires

Le principal impact pour les locataires sera le bruit généré notamment par la réalisation des carottages en parties communes. Cette opération est inévitable si l'on veut faire passer les colonnes montantes pour approvisionner en ECS les étages des bâtiments. Le passage des réseaux dans les parties communes et le raccordement aux logements devra se faire rapidement pour limiter la gêne. C'est pourquoi, chaque intervention sera planifiée de manière très précise et au minimum 2 semaines à l'avance.

Conclusion

Ces dernières années, le bois énergie a connu un regain d'intérêt. Bien que très intéressante du point de vue des émissions de CO_2 et employant un combustible renouvelable, les chaudières à granulés sont émettrices de nombreux polluants tel que le NO_x un gaz à effet de serre. Comme on a pu le montrer, la combustion du bois est moins propre que celle du gaz naturel. D'un point de vue santé et environnement, les émissions peuvent être toxique.

De plus, l'intégration dans un projet de réhabilitation d'une telle solution nécessite un travail supplémentaire en amont non négligeable avec de nombreuses contraintes à prendre en compte. Le coût financier d'une telle solution ne favorise pas sa démocratisation. Alors que le bois-énergie est bon marché par rapport aux énergies fossiles, le coût des chaudières à granulés est trois fois plus élevé que celui des chaudières gaz à condensation. Il s'agit alors d'un investissement de base très conséquent. Cela s'explique en partie par le fait que ces systèmes sont équipés d'une technologie de pointe qui pourtant ne les rend pas plus performante que les chaudières gaz à condensation. Or, pour remporter un appel d'offre, il importe que le rapport qualité prix soit le plus bas possible.

Niveau performance, les chaudières gaz à condensation sont loin devant et ne nécessitent pas autant d'entretien et de manutention. Tous ces points réunis font de la chaudière à granulés un système de production d'énergie non adapté à l'habitat collectif.

Cependant, restons optimiste quant au futur de ces chaudières. Celles à gaz développées depuis plus d'un siècle ont eu le temps d'évoluer pour atteindre les performances actuelles. Il devrait en être de même pour les chaudières à granulés. De plus, le bois est une ressource renouvelable dont l'utilisation favorise le développement d'activités créatrices d'emplois en zone rurale. L'intérêt que l'on doit apporter au bois est renforcé par la hausse inéluctable du prix des énergies fossiles dont l'utilisation deviendra de plus en plus réservée à ses usages spécifiques (carburant). Nous devons donc continuer à développer le chauffage au bois afin qu'il soit plus performant et respectueux de l'environnement et le démocratiser.

Bilan

Ce stage a été pour moi très formateur de par les responsabilités qui m'ont été confiées et l'ensemble des connaissances techniques acquises. Me retrouvant seul en début de stage a été un mal pour un bien. Cela m'a amené à être autonome dès le début et à assimiler rapidement les codes du chantier. Ma réactivité et mon expérience acquise à l'EIVP m'ont permis de gérer cette situation au mieux. Cela m'a également montré que la formation à l'EIVP, avec ses nombreux projets, est très solide et nous donne une vision globale permettant de nous sortir de n'importe quelle situation complexe et de s'y adapter.

Pour la suite, je souhaite continuer dans la conduite de travaux afin de parfaire ma vision technique. En effet, que ce soit en études, en maîtrise d'œuvre ou en maîtrise d'ouvrage, l'aspect technique est primordial pour fournir un travail de qualité. Comme évolution de carrière je pourrais toujours m'orienter vers l'un de ces domaines (bureau d'étude ou autres) grâce au large éventail que propose la formation à l'EIVP.

Ce stage est très concluant pour moi et a débouché sur une embauche et dès le mois d'août un chantier m'a été confié. Aujourd'hui, j'ai une idée très claire du parcours professionnel et de l'évolution de carrière que je souhaite. C'est pourquoi j'espère alors franchir cette étape en devenant Ingénieur en Génie Urbain

Bibliographie :

Rapport, Revue, et Article:

Académie d'agriculture de France, <https://www.academie-agriculture.fr/sites/default/files/agenda/rapportsurlapollutiondelacombustiondubois.pdf>

Chaud Froid Performance, Revue N°821, Edition de mai 2018, <https://lebatimentperformant.fr/actualites/au-sommaire-de-cfp-edition-de-mai-ndeg-821/1/1956>

Combustion du bois et qualité de l'air, Octobre 2007, file:///C:/Users/rguermache/Downloads/2007_rhonealpes_combustion_bois.pdf

Laurent Burlet, 11/12/2013, Le chauffage au bois : première cause de pollution aux particules fines en Rhône-Alpes, <https://www.rue89lyon.fr/2013/12/11/le-chauffage-au-bois-premiere-cause-de-pollution-hivernale-en-rhone-alpes/>

Sites web consultés :

ADEME, Produire de la chaleur, <https://www.ademe.fr/en/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-laction/produire-chaleur/dossier/bois-biomasse/bois-energie-qualite-lair>

Calculeo, Chaudière bois vs chaudière gaz, <https://www.calculeo.fr/Eco-travaux/La-chaudiere/Chaudiere-bois-VS-chaudiere-gaz>

CFP, Revue technique de référence de Génie climatique, Aéraulique, Froid, Plomberie–Sanitaire, Distribution hydraulique, <https://lebatimentperformant.fr/>

Eburo, L'énergie-bois, https://eburo.fr/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=39

Energie+, Choisir le combustible : Bois, Gaz et Fuel, <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10936#c4960+c20387+c4961+c4962+c4963+c4964>

Energie+, Les émissions de polluants liés à la consommation énergétique, <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=15568#c9710>

ENGIE, <https://particuliers.engie.fr/gaz-naturel/chaudiere-gaz-naturel/conseils/comparer-prix-chaudiere.html>

Elyotherm, Le bouclage d'eau chaude sanitaire ou boucle ECS, <https://blog.elyotherm.fr/2011/09/bouclage-eau-chaude-sanitaire-ecs.html>

GRDF, Baromètre des énergies : des données fiables sur le prix des énergies, <https://projet-gaz.grdf.fr/comparaison-prix-energies>

La combustion du bois et ses impacts sur la qualité de l'air, Jean-Pierre SAWERYSYN, Université Lille 1, http://www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Revue/AirPur/Airpur_81_Sawerysyn.pdf

Le chauffage au bois, Québec, <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/>

Picbleu, Taux de pollution de particules fines lié au chauffage bois, <https://www.picbleu.fr/page/taux-de-pollution-de-particules-fines-du-chauffage-bois>

Weiss France, Fabricant de chaudières Biomasse, https://www.weiss-france.fr/contacter-weiss-france#cid_153

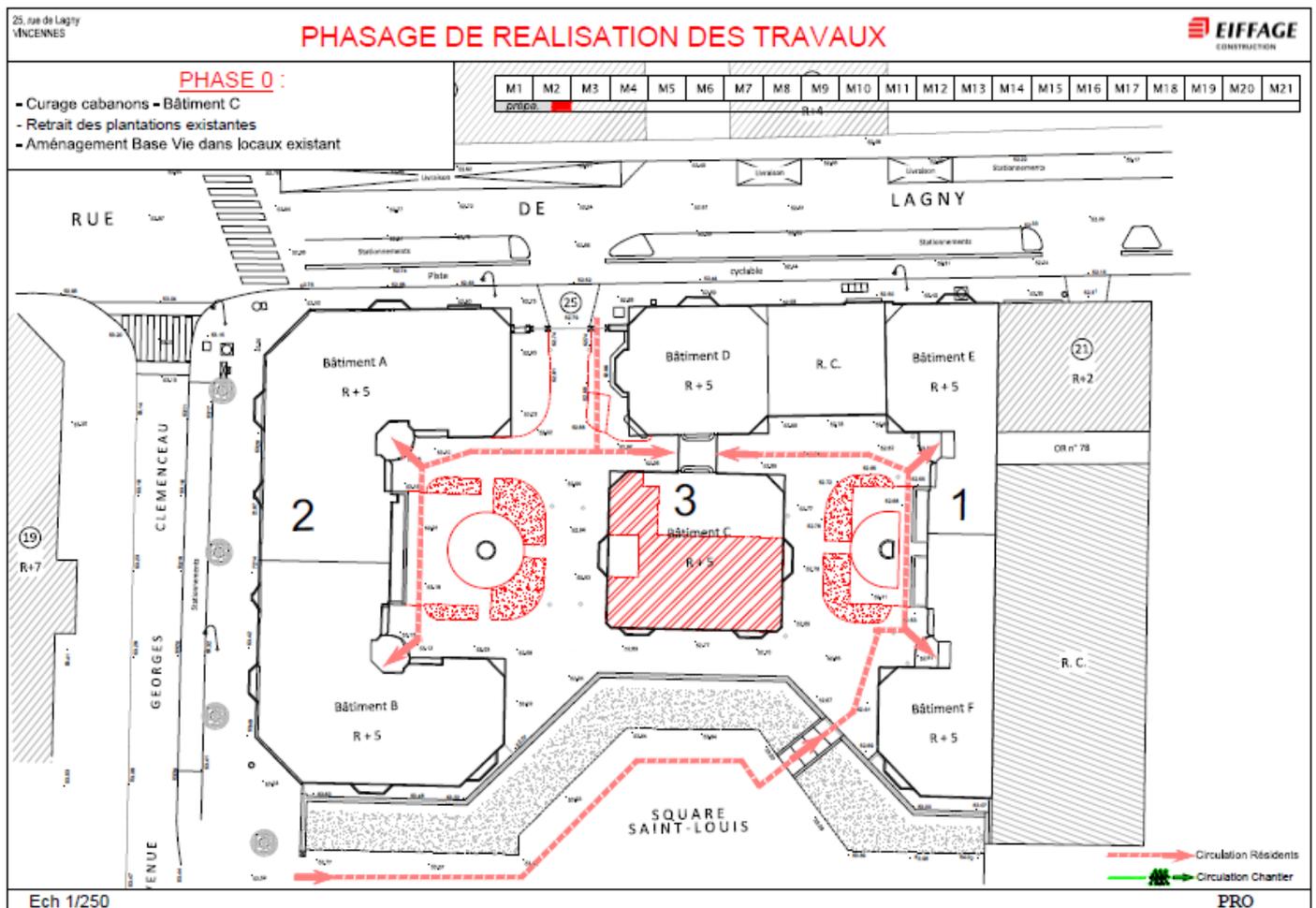
Annexes :

1. Evolution estimative de la baisse des charges :

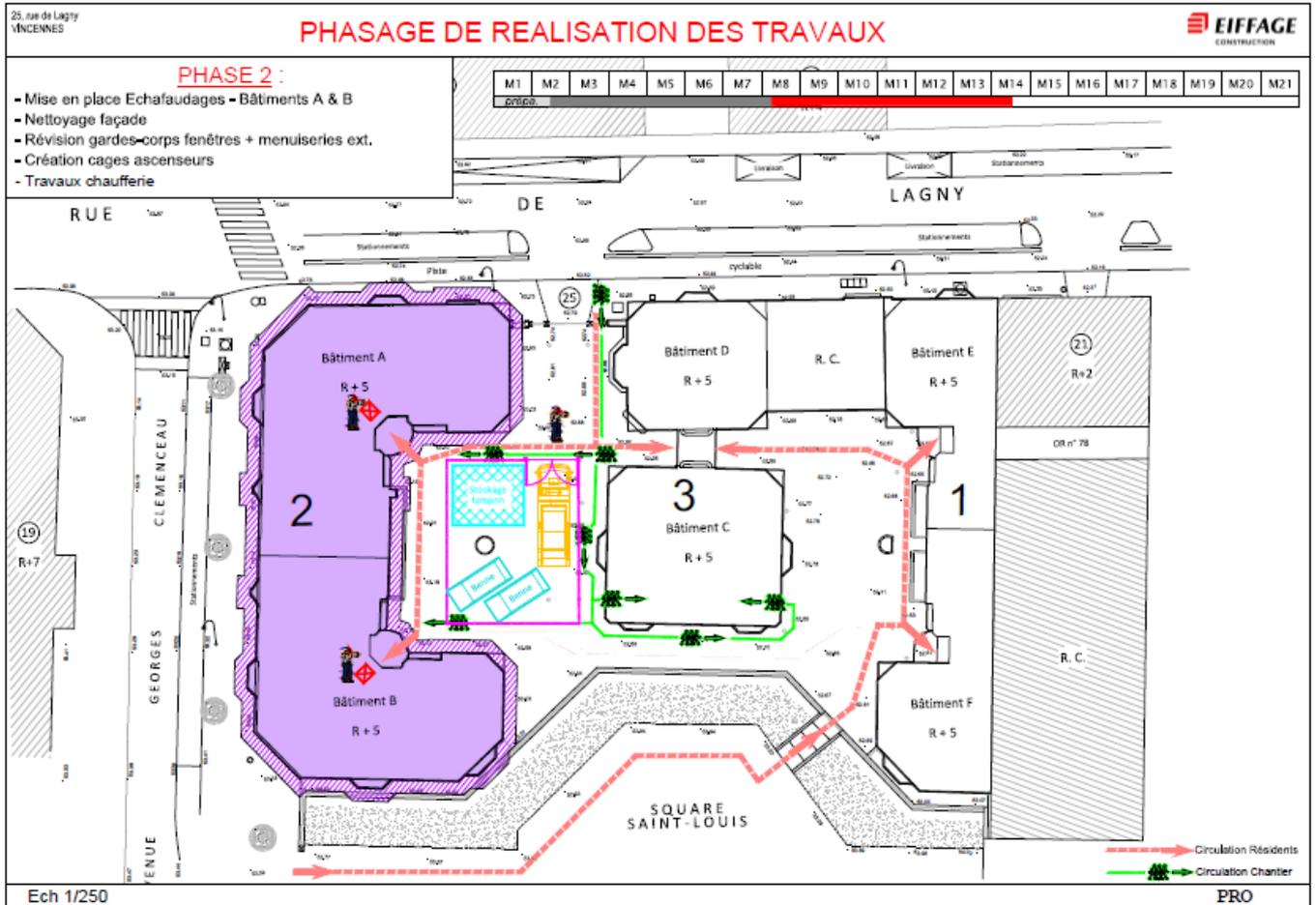
	Avant	Après	Evolution
P1 Chauffage	464 €	318 €	-146 €
P1 ECS	316 €	251 €	-65 €
P2	90 €	197 €	107 €
Total	870 €	766 €	-104 €

Détail baisse des charges

2. Phasage du chantier :

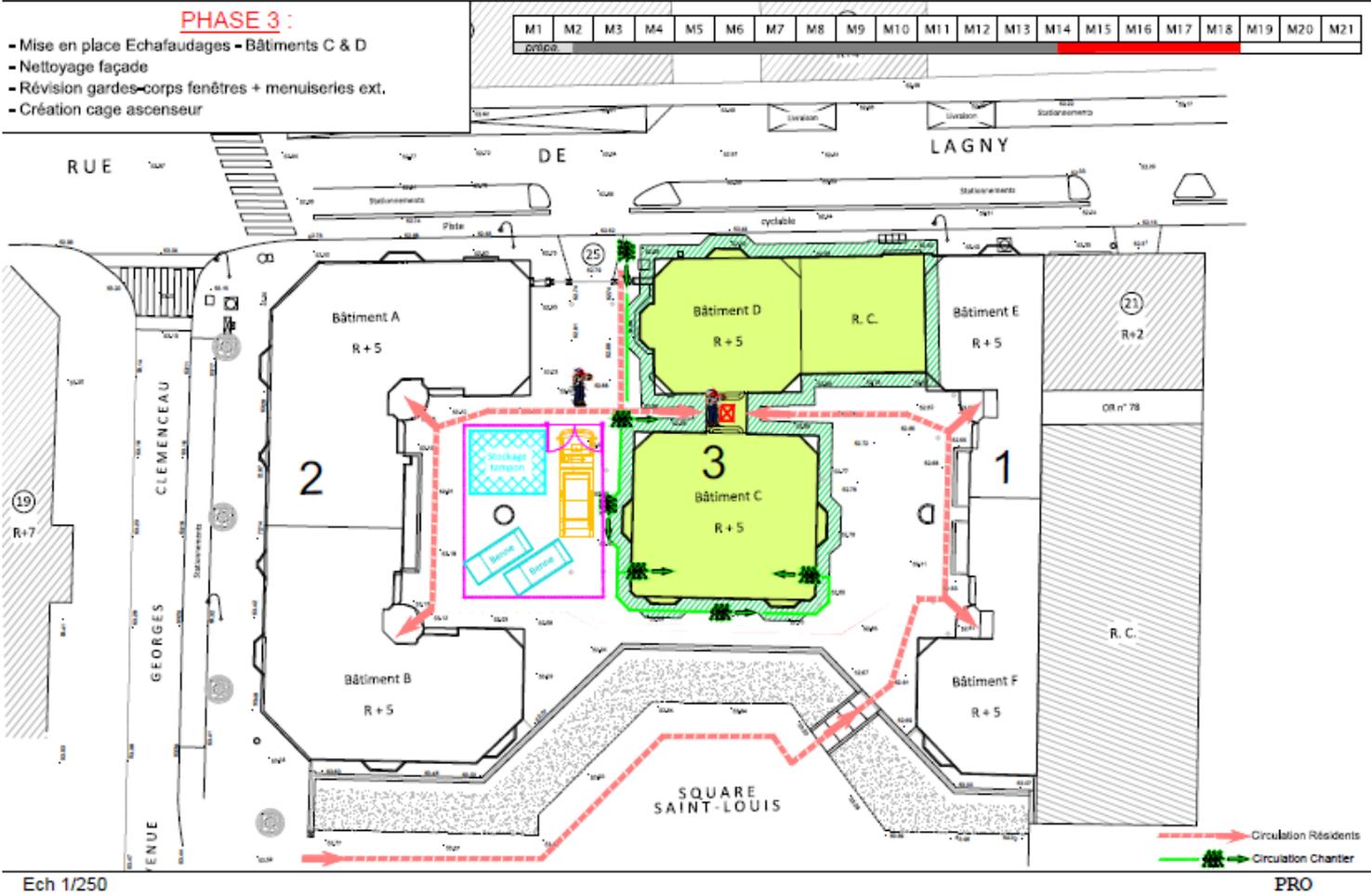


Plan de la phase 0 des travaux

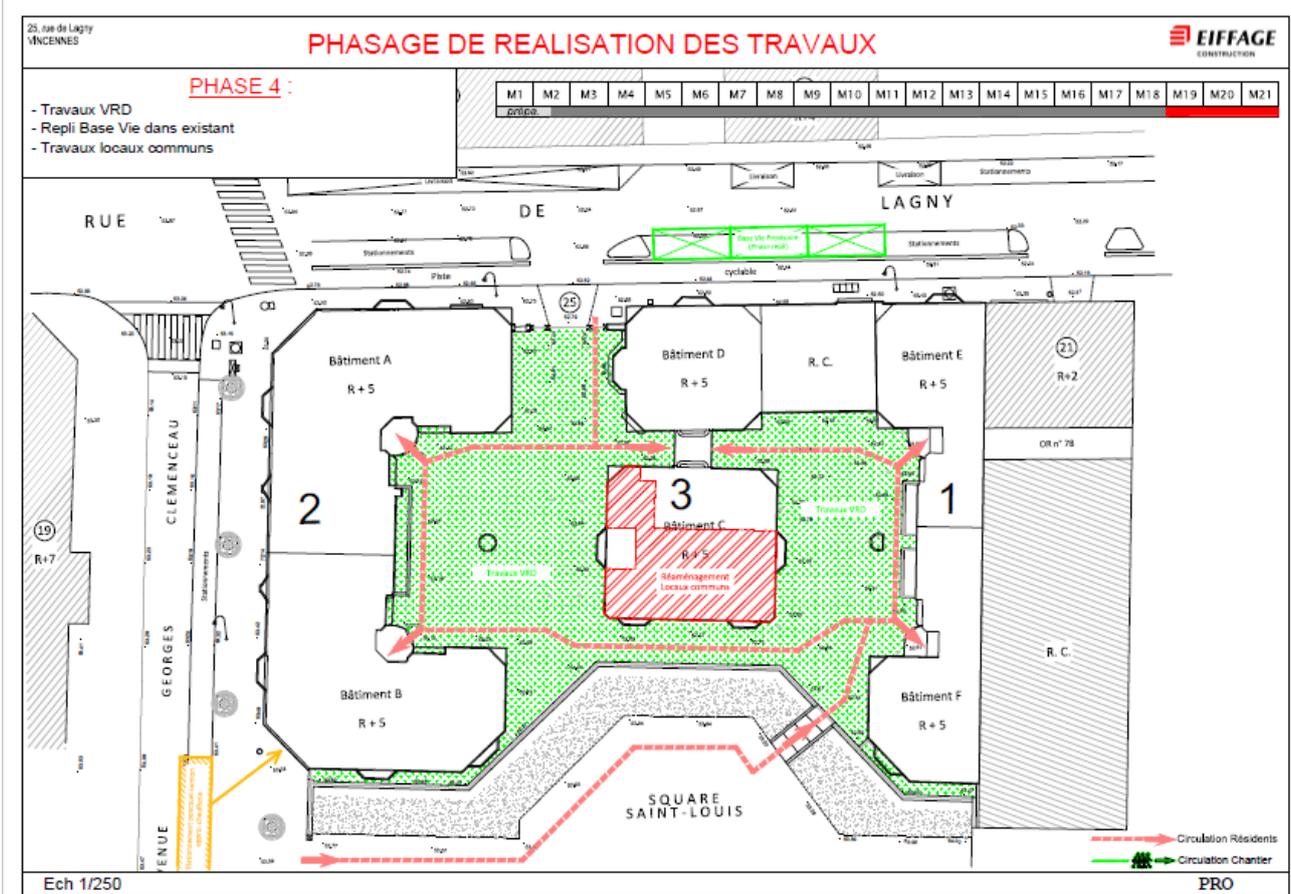


Plan de la phase 2 des travaux

PHASAGE DE REALISATION DES TRAVAUX



Plan de la phase 3 des travaux



Plan de la phase 4 des travaux

3. Explication de quelques missions réalisées :

A mon arrivée, l'ordre de service venait d'être signé et les consultations n'avaient pas commencé. Dans un premier temps, j'ai étudié l'ensemble des pièces écrites et graphiques : CCTP, plans de l'architecte, plans des chaufferies et études thermiques. Rapidement, j'ai dû créer les dossiers de consultations pour chaque lot (énuméré en annexe), contacter les entreprises (lancement des consultations) et organiser les visites de site. Un dossier de consultation est constitué du CCTP et du DQE (Détail Quantitatif Estimatif) du lot en question ainsi que des plans nécessaires pour son chiffrage. Avant d'affilier le DQE au dossier je devais le vérifier et faire les métrées afin de m'assurer que les quantités correspondaient bien à la réalité. Par la suite je devais m'assurer que les entreprises avaient bien reçu le dossier et les relancer si nécessaire. Pour faciliter le suivi des consultations je tenais à jour un tableau Excel dans lequel je faisais apparaître les informations relatives à mes consultations : Nom de l'entreprise, date d'appel et d'envoi du dossier, date de relance, date de réception du devis et montant du devis.

1 - Lots ST GO - TCE		BUDGET du Transfert	OBJECTIF	A désigner pour le	Entreprises consultées/ offres
MACONNERIE	Entreprise:				
	Contact:				
	Tel:				
	Mail:				
	Date appel				
	Date envoi dossier				
	Relance				
Montant devis:					

Suivi des consultations

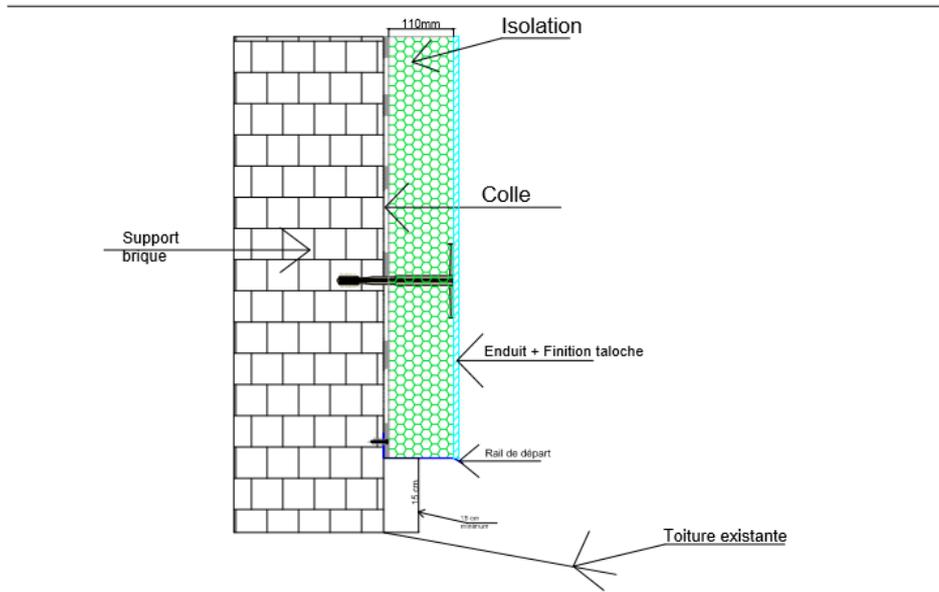
Les devis reçus, je devais les classer par lot et les rentrer dans un tableau comparatif que je devais mettre à jour en permanence. Très important, ce tableau nous permet de comparer les entreprises entre elles, mais aussi par rapport à notre budget. On utilisait donc ce tableau pour d'une part repérer les entreprises qui entrent dans notre budget et d'autre part pour voir sur quels postes elles devaient améliorer leur prix.

Une fois les entreprises désignées, je devais créer les dossiers d'exécution. Ce dossier comprend tous les documents, graphiques, descriptifs et normatifs, permettant la réalisation du projet. La création des plans de détail d'exécution fut la tâche la plus longue. Afin de créer ces plans, je me referais tout d'abord au CCTP pour savoir ce qu'il était demandé et ensuite je contactais, si nécessaire les sous-traitants afin d'avoir leur avis de professionnel.

En outre, j'ai été chargé de la réalisation de l'ensemble des plans sur AUTOCAD. J'ai par exemple réalisés le PIC (Plan d'installation chantier), les plans d'exécution, le plan de la base vie des ouvriers et les plans des réseaux de chauffage et d'ECS...

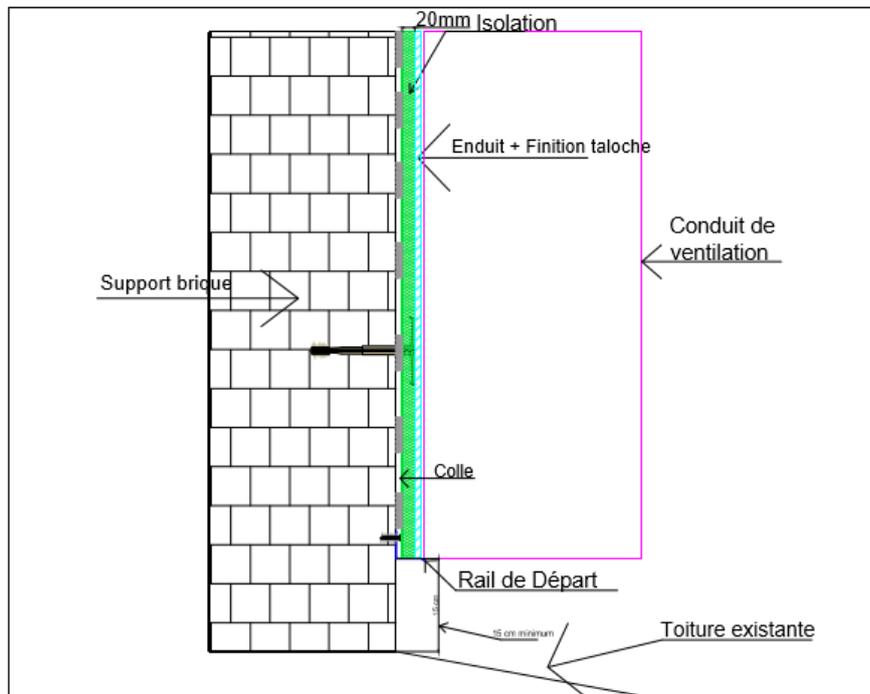
Enfin, j'ai participé à l'élaboration du Point Zéro. Il s'agit d'un document d'une dizaine de page dans lequel nous renseignons nos premières prévisions financière pour le chantier.

4. Plans d'exécutions :



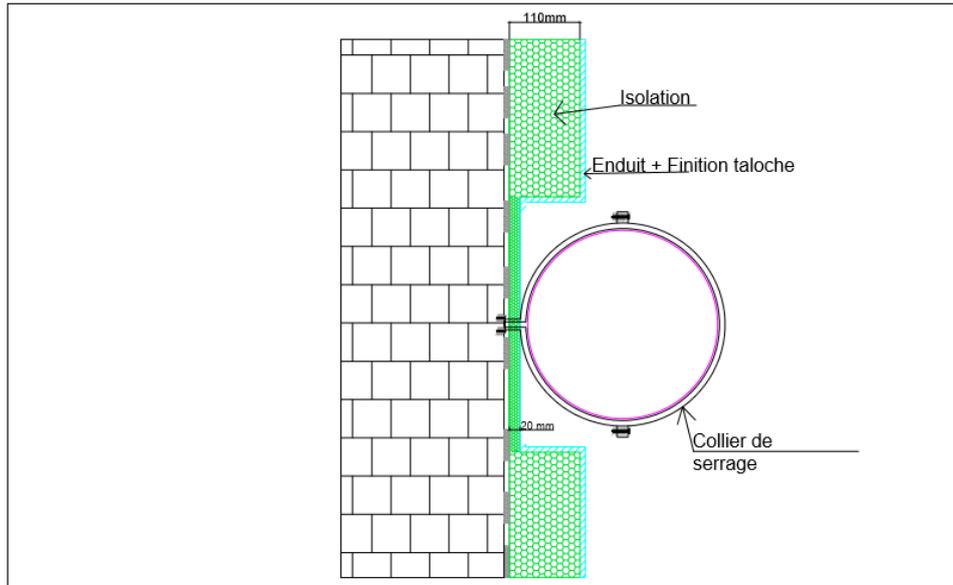
CARNETS DE DETAILS FACADES	RESIDENCE 25 RUE LAGNY
Détail 1 : ISOLATION THERMIQUE EXTERIEURE PIGNON EST	ECH : SANS

Plan de coup façade



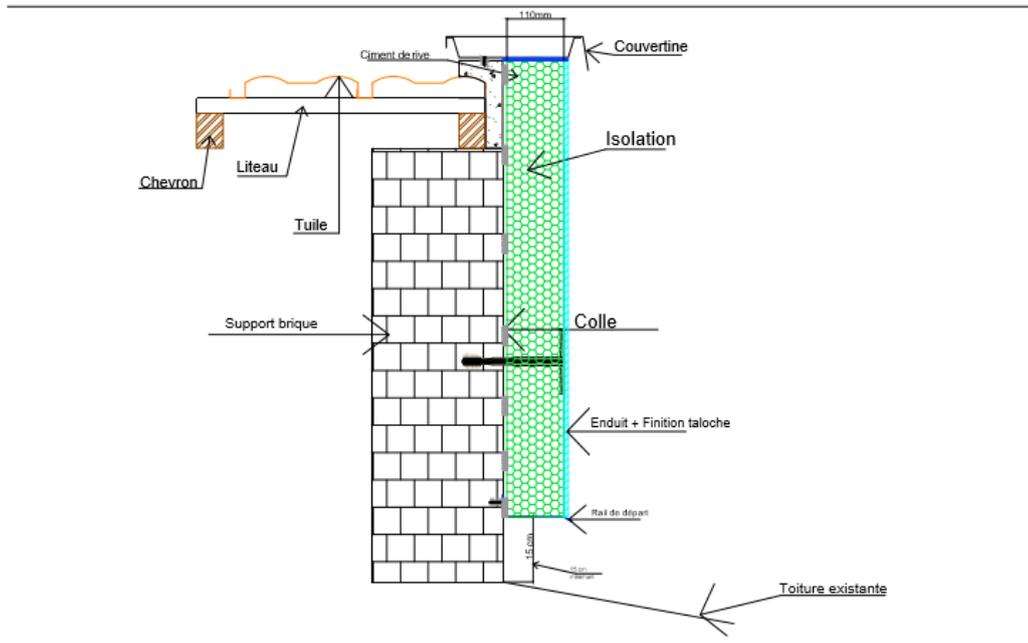
CARNETS DE DETAILS FACADES	RESIDENCE 25 RUE LAGNY
Détail 1 : ISOLATION THERMIQUE EXTERIEURE PIGNON EST	ECH : SANS

Plan de coup avec conduit de cheminé



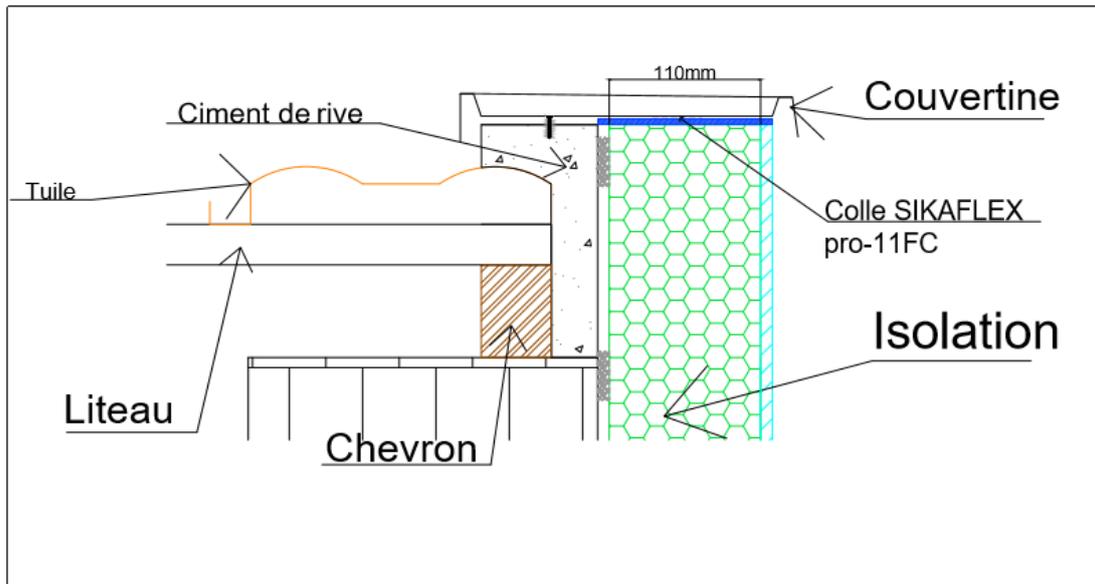
CARNETS DE DETAILS FACADES	RESIDENCE 25 RUE LAGNY
Détail 1 : ISOLATION THERMIQUE EXTERIEURE PIGNON EST (vue de haut)	ECH : SANS

Plan de coupe horizontale sur conduit de cheminé



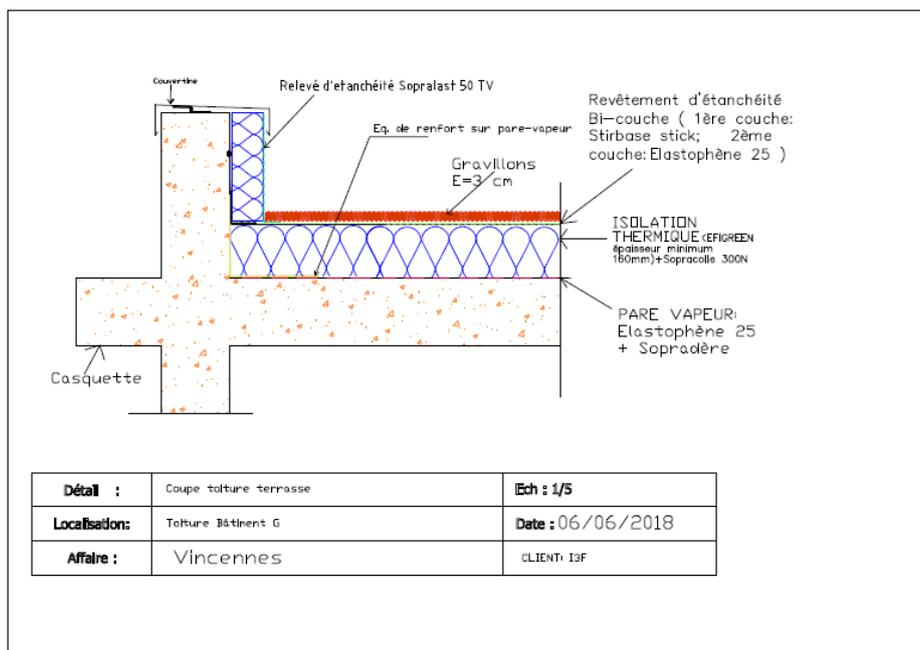
CARNETS DE DETAILS FACADES	RESIDENCE 25 RUE LAGNY
Détail 1 : ISOLATION THERMIQUE EXTERIEURE PIGNON EST	ECH : SANS

Plan de coupe avec toiture



CARNETS DE DETAILS FACADES	RESIDENCE 25 RUE LAGNY
Détail 1 : ISOLATION THERMIQUE EXTERIEURE PIGNON EST (ZOOM COUVERTINE)	ECH : SANS

Zoom sur coupe toiture



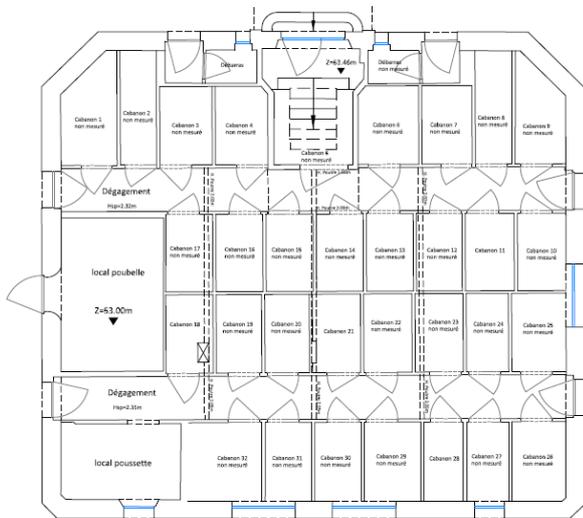
Détail d'exécution étanchéité

5. Plan de la base vie des ouvriers :

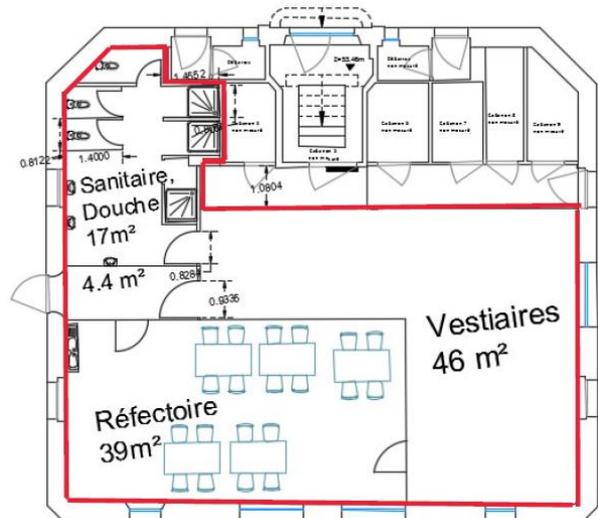
Contraintes à respecter pour une base vie :

- Les sanitaires et vestiaires doivent être communiquant entre eux
- Les vestiaires doivent communiquer avec le réfectoire
- La surface des vestiaires sera d'au moins 1m² par salarié

- Dans les sanitaires, nous devons prévoir un cabinet et un lavabo pour 10 personnes
- La surface du réfectoire sera d'au moins 1.30m² par salarié

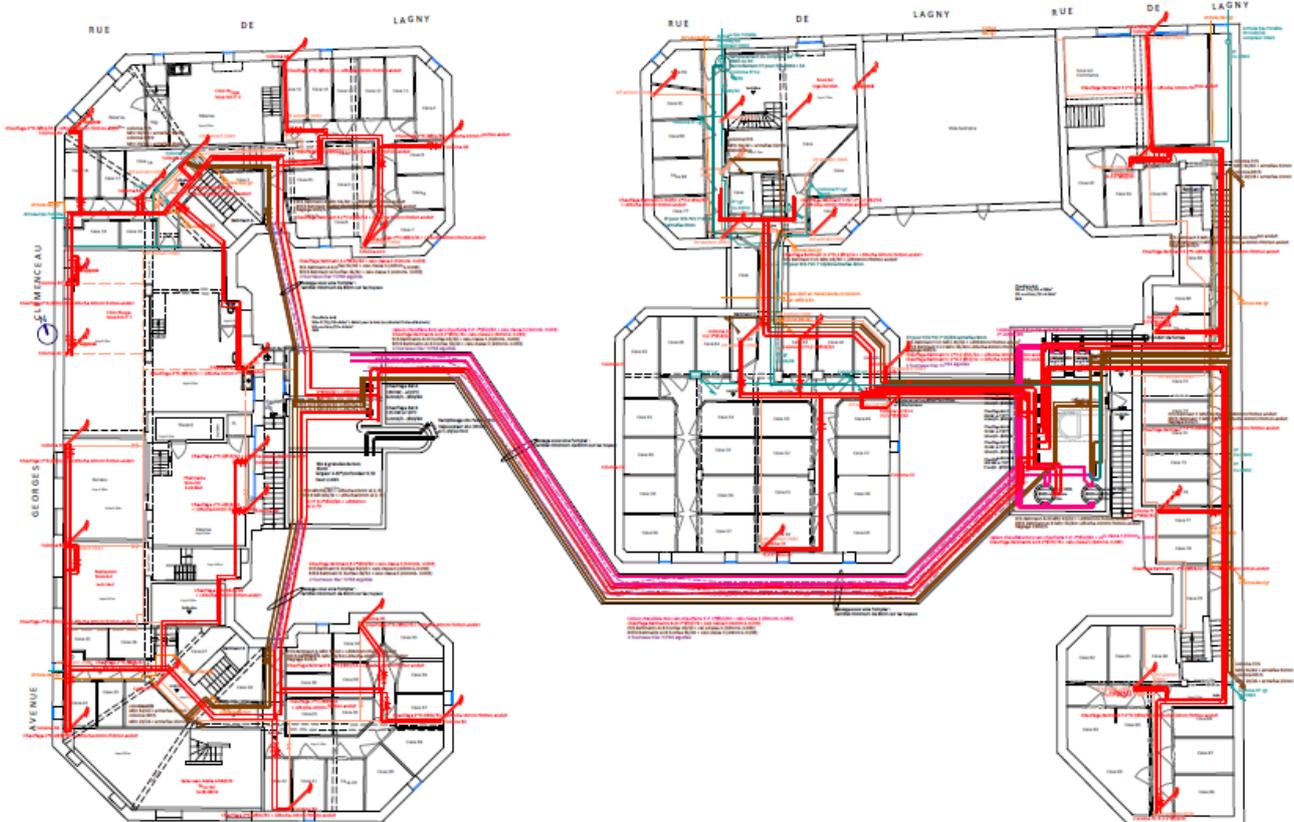


Plan RDC Bat. C avant travaux



Plan de la base vie des ouvriers

6. Plan du réseau d'ECS en sous-sol :



Plan du réseau d'ECS (en rouge)

7. Facteur de conversion PCS/PCI :

Tableau des unités de comptage pour les différentes énergies			
Unité de comptage	Pouvoir calorifique supérieur (kWh _{PCS})	Conversion de PCS en PCI	Pouvoir calorifique inférieur (kWh _{PCI})
1kWh électrique	1	divisé par 1	1
1kwh (PCS) de gaz naturel	1	divisé par 1,11	0,9
1kg de gaz propane	13,8	divisé par 1,09	12,66
1 m ³ de gaz propane	25,9	divisé par 1,09	23,7
1kg de gaz butane	13,7	divisé par 1,09	12,56
1 m ³ de gaz butane	33,5	divisé par 1,09	30,45
1 tonne de granulés de bois	5106	divisé par 1,11	4600

Facteur de conversion PCS/PCI

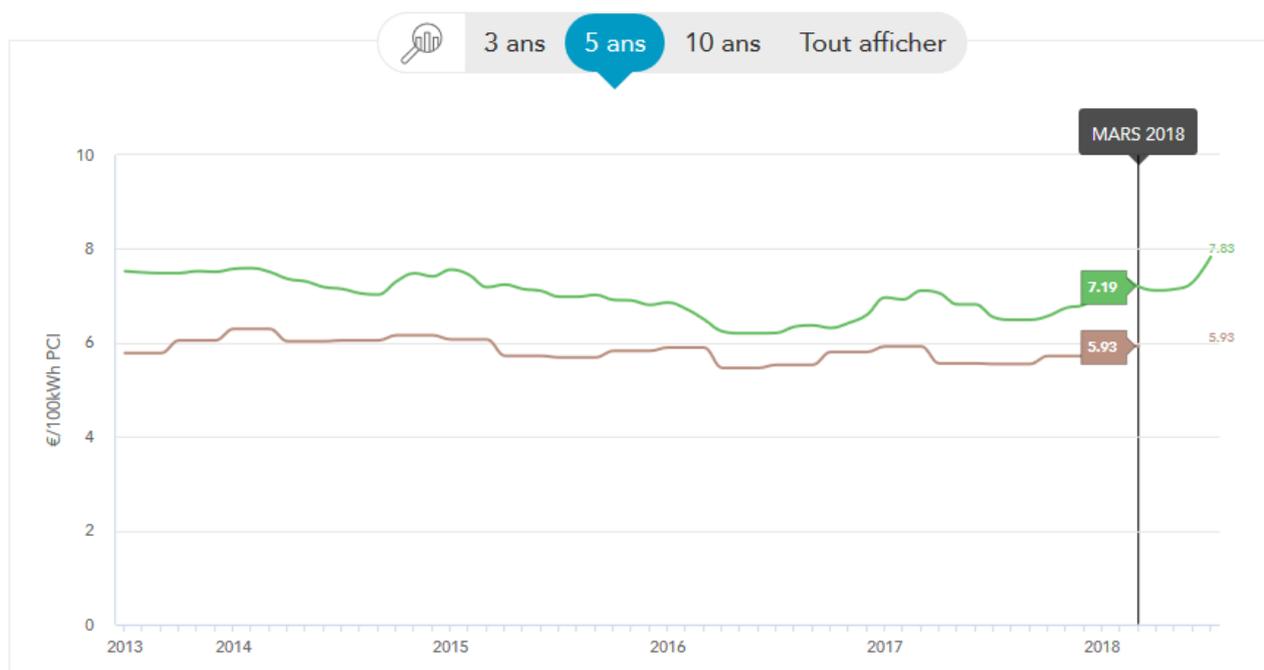
8. Tableau des émissions de Polluants par plusieurs types de chaudières :

	SO ₂	NO _x	CxHy	CO	CO ₂	Poussières
Chaudière Fioul	140	40	10	50	78000	5
Chaudière Gaz Naturel	0	40	5	50	52000	0
Chaudière Charbon	340	70	10	4500	104000	60
Chaudière à bois bûches traditionnelle	10	50	1000	6000	0	70
Chaudière à bois bûche moderne	10	42	9	366	0	14
Chaudière à bois déchiqueté	10	45	2	16	0	4

Source : BLT Autriche

Émissions de polluants par types de chaudières

9. Evolution du prix du Gaz naturel et des Granulés de bois :



Source : GRDF

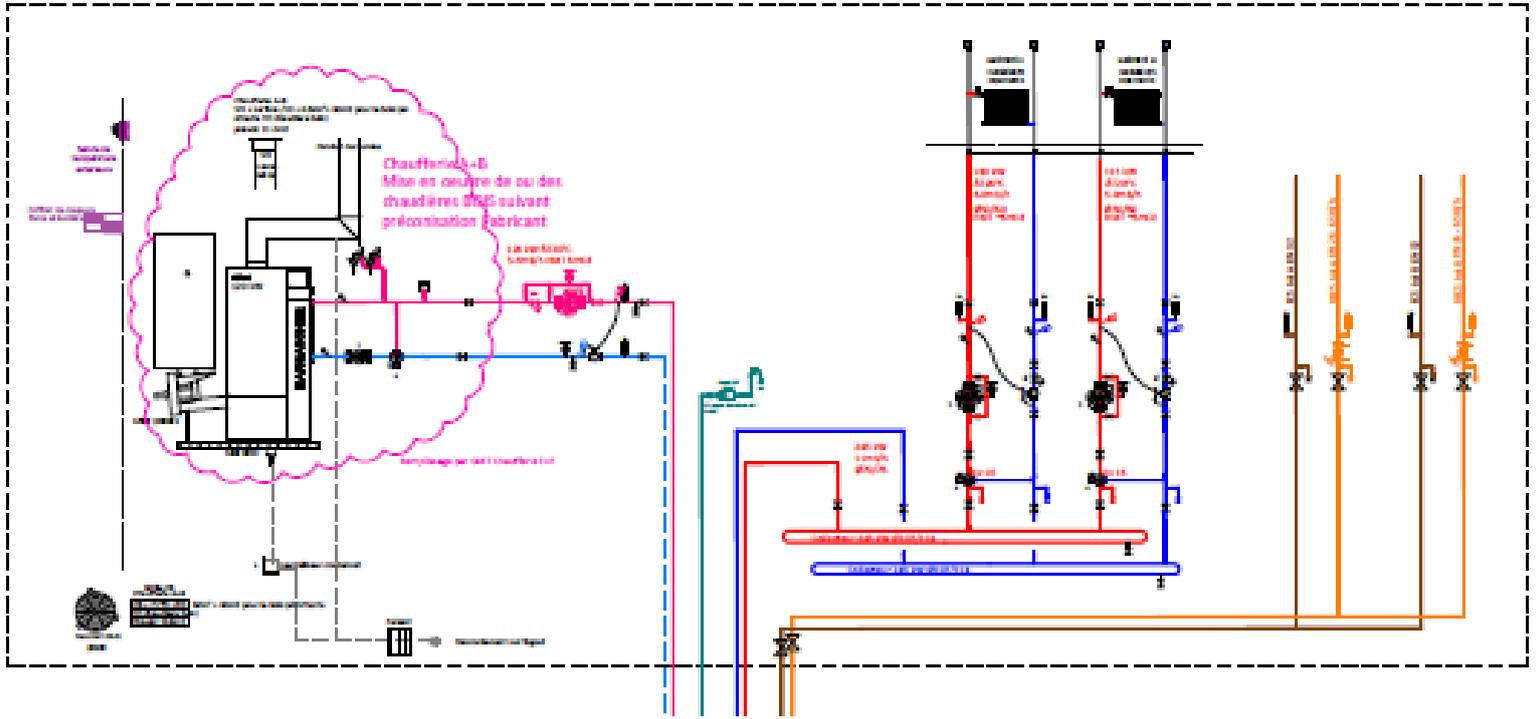
Prix des énergies de chauffage pour 100kWh

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
2005	-	-	-	-	-	-	+4,1%	-	+2,8%	-	+13,7%
2006	-	-	-	-	+5,8%	-	-	-	-	-	-
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	+4,3%	-	-	+6,3%	-	-	-	+5,3%	-	-	-
2009	-	-	-	-11,3%	-	-	-	-	-	-	-
2010	-	-	-	+9,7%	-	-	+5,1%	-	-	-	-
2011	-	-	-	+5,2%	-	-	+7,1%	-	-	+3,2%	-
2012	+4,4%	-	-	+1,5%	-	-	+7,3%	-	-	+0,8%	-
2013	-1,8%	-0,5%	-0,3%	-0,6%	-	-0,6%	+0,2%	-0,5%	-0,2%	0%	+0,6%
2014	+0,4%	+0,2%	-1,2%	-2,1%*	-0,8%	-1,72%	-0,1%	-1,28%	-0,43%	+3,9%	+2,31%
2015	-0,6%*	-1,27%	-3,46%	+0,58%	-1,16%	-0,56%	-1,3%	0%	+0,5%	-1,4%	-0,18%
2016	-2%*	-1,86%	-3,22%	-3,72%	-0,61%	0%	+0,4%	+2%	+0,4%	-0,8%	+1,6%
2017	+2,30%	-0,60%	+2,60%	-0,73%	-3,30%	0%	-3,50%	-0,80%	0%	+1,20%	+2,58%
2018	+2,3%*	+1,3%	-3%	-1,1%	+0,4%	+2,1%	+7,45%	+0,2%	-	-	-

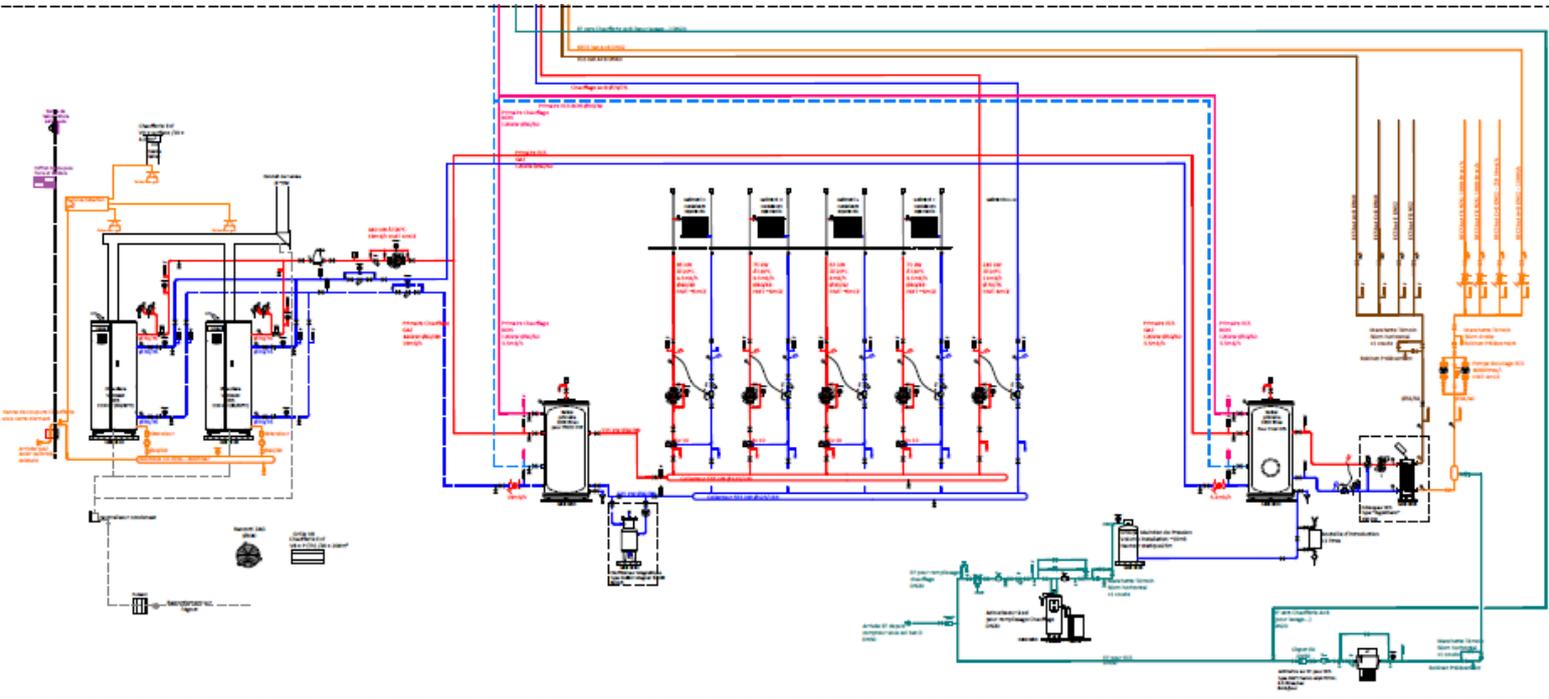
Source : ENGIE

Evolutions mensuelles moyennes HT des tarifs réglementés d'Engie

10. Synoptiques chaufferies :



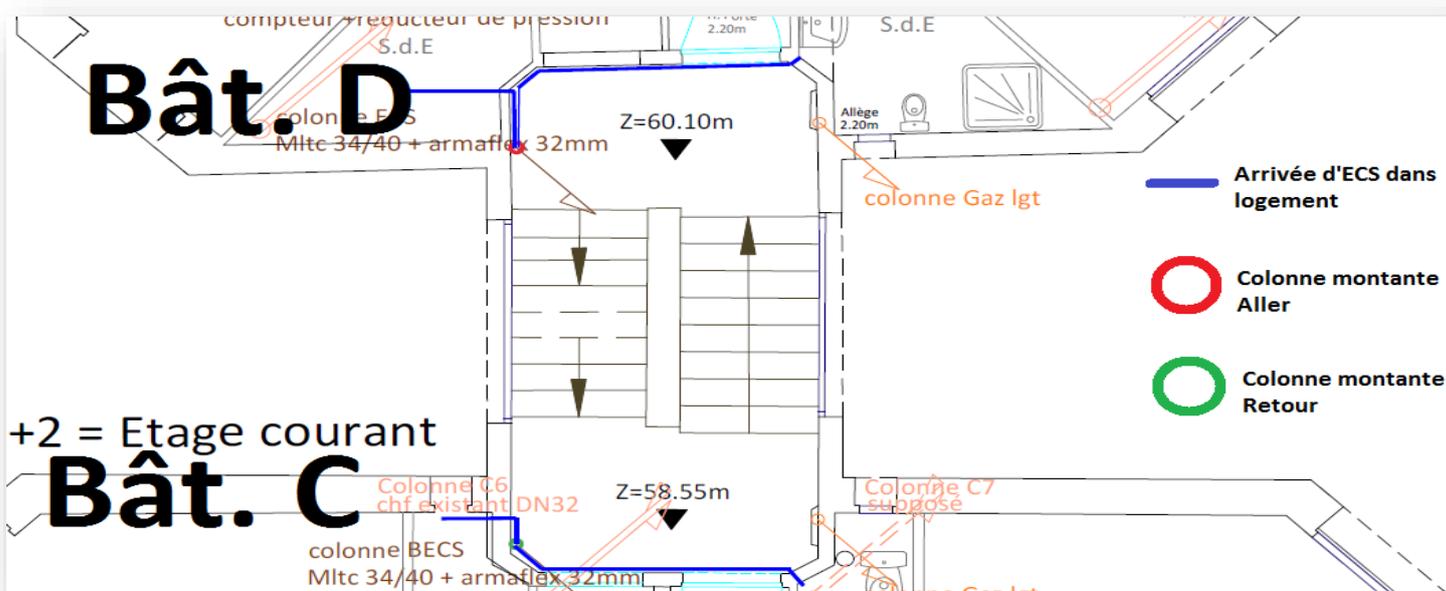
Synoptique chaufferie AB



Synoptique chaufferie EF

11. Solution retenue pour la distribution de l'ECS dans les bâtiments C et D :

L'idée est de faire passer la colonne « aller » par le bâtiment D et la colonne « retour » par le bâtiment C tout en restant dans les parties communes. Les logements du bâtiment D viendront se raccorder sur la colonne montante « aller » tandis que les logements du bâtiment C seront raccordés sur la colonne montante retour. Ci-dessous une illustration afin de mieux visualiser nos choix :



Distribution ECS Bâtiments C et D

La connexion entre les deux colonnes montantes (et donc le bouclage) se fera dans les combles.