



Annexe 7 – Programme de travaux de premier établissement Avenant 7

7.1 Dimensionnement et méthodologie des travaux de réseaux

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
2. BILAN DES PUISSANCES APPELES ACTUEL ET AVEC LA SITUATION PROJETEE	3
2.1. CALCUL DE LA PUISSANCE APPELEE EN SOUS-STATION.	3
2.2. CALCUL DE LA PUISSANCE MAXIMALE APPELEE EN CHAUFFERIE	4
2.3. CHAUFFERIE D'APPOINT SECOURS	5
2.4. BILAN DE PUISSANCE COMPLET RESEAU PRINCIPAL	6
3. SYNTHESE DES TRAVAUX PREVUS ET PLANNING	6
3.1. POSTES DE LIVRAISON	6
3.2. TRAVAUX RESEAUX	8
3.3. ETUDE DU TRACE	10
3.4. MODELISATION HYDRAULIQUE	12
3.5.METHODOLOGIE DE TRAVAUX	33

1. INTRODUCTION

La présente proposition a pour objet de présenter les évolutions pour le réseau de SODIEN dans le cadre de l'avenant 7. L'extension du réseau doit notamment permettre de :

- Assurer la **densification et le développement** du réseau de chaleur ;
- **Renouveler les outils de productions afin de maintenir un taux ENR satisfaisant** ;
- Continuer à assurer **un coût de l'énergie à l'utilisateur en euros HT et en euros TTC pérenne et compétitif dans le temps**.

Pour chacun de ces objectifs, l'offre proposée apporte une solution par le projet industriel suivant :

- Raccordement de 99 nouvelles sous-stations au réseau dont 8 mises à niveau issues de la rétrocession provenant du réseau de DIJON ENERGIES ;
- Raccordement de 15 nouvelles sous-stations au réseau au titre de la reprise du programme de travaux de l'avenant 4
- Raccordement en direct à l'UVE permettant de valoriser et transporter jusqu'à 16MW ;
- Installation de PAC sur condenseur dans la chaufferie des Valendons (décrit dans la notice 2.2) ;
- Reprise de la chaufferie Montchapet.

2. BILAN DE PUISSANCE APPELE ACTUEL ET PROJETE

2.1. CALCUL DE LA PUISSANCE APPELEE EN SOUS-STATION.

Une analyse des abonnés actuels ainsi que des futurs prospects a permis de déterminer leurs consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire prévisionnelles.

Dans le cas du scénario de fonctionnement hivernal à pleine puissance, la puissance appelée par chacune des sous-stations (pour le chauffage et l'ECS) est calculée selon les formules suivantes.

$$P_{max_{chauffage}} = \frac{C_{chauffage} \times (T_c - T_{ext_{ref}})}{DJU \times 24 \times i}$$

Où :

- $C_{chauffage}$: Correspond à la consommation de chauffage (en kWh) de l'abonné.
- T_c : Correspond à la température de non-chauffage.
- $T_{ext_{ref}}$: Correspond à la température extérieure minimale de référence, soit -11°C
- DJU : Degrés jour unifiés, 2 550 DJU
- i : Correspond au coefficient d'intermittence par typologie de bâtiments

$$P_{max_{ECS}} = \frac{C_{ECS}}{NHFPF}$$

Où :

- C_{ECS} : Correspond à la consommation moyenne d'ECS de l'abonné réellement constatée sur les 3 dernières années (en kWh).
- NHFPP : Correspond au nombre d'heures de fonctionnement à pleine puissance équivalent à la durée annuelle durant laquelle le réseau va être sollicité pour produire de l'ECS en sous-station.

Une priorité ECS est appliquée pour chaque sous-station où il y a des consommations chauffage et ECS, la formule appliquée pour la PMA de la sous-station est alors :

$$PMA = \max(PMA_{chauffage}; PMA_{ECS})$$

Ainsi, au terme de tous les développements la somme des Puissances Maximales Appelées non foisonnées au niveau des sous-stations est de 103.5 MW.

2.2. CALCUL DE LA PUISSANCE MAXIMALE APPELEE EN CHAUFFERIE

Selon les données d'exploitation, la PMA en chaufferie du réseau actuel est de 67,2 MW par -11°C.

En ce qui concerne la puissance maximale appelée du développement, celle-ci est calculée à partir :

- De la somme de l'ensemble des puissances appelées par chacune des sous-stations, soit **24,5 MW** ;
- Du rendement réseau à pleine charge. Lorsque le réseau avec une isolation standard, est à pleine puissance, le rendement est ainsi de 95% à -11°C extérieur.
- Le coefficient de foisonnement du réseau, modélisant les décalages temporels entre les appels des différentes sous-stations. Sa valeur est calculée selon la formule :

$$f = \text{minimum} (1 ; 1,1 \times Nb_{SST}^{-0,09})$$

Soit :

- $(Nb_{SST} = 99) : f = 71,6\%$

En conclusion, nous obtenons donc le besoin de puissance en sortie chaufferie suivant :

$$PMA_{Chaufferie \text{ développement}} = \frac{\text{Puissance appelée MW} \times \text{foisonnement \%}}{\text{rendement réseau à pleine puissance à } -7^{\circ}\text{C extérieur \%}}$$

$$PMA_{Chaufferie \text{ réseau développement}} = \frac{24,5 \text{ MW} \times 71,6 \%}{95\%} = 18.4 \text{ MW}$$

$$PMA_{Chaufferie \text{ réseau développé}} = 67,2 + 18.4 = 85.7 \text{ MW}$$

Avec la prise en compte du rendement du réseau principal et du coefficient de foisonnement, la puissance totale appelée en chaufferie à considérer pour le secours est donc de 85,7 MW.

Le bilan de puissance est décrit dans la suite de ce mémoire.

2.3. CHAUFFERIE D'APPOINT SECOURS

Afin de garantir une continuité de service en cas de défaillance de moyens de production de base, il est nécessaire de mettre en place des moyens de production complémentaires garantissant la fourniture de chaleur.

Le projet industriel de notre offre prévoit d'exploiter les chaufferies gaz suivantes :

- Fontaine d'Ouche
 - 3 chaudières mixtes gaz/FOD pour un total de 34,5 MWth ;
- Valendons :
 - 1 chaudière mixte gaz/FOD de 10,5 MWth ;
- Chenôve :
 - 1 chaudières mixtes gaz/FOD pour un total de 14 MWth ;
- Talant (ancienne chaufferie du lycée de Montchapet) :
 - 2 chaudières gaz de 5 MWth à partir de 2028.

Le réseau principal dispose actuellement d'une **puissance gaz secours de 59 MW** pour subvenir aux besoins des abonnés historiques, qui sera augmenté à **69 MWth** en **2028**. Tout au long de la phase de développement du réseau, cette puissance gaz sera nettement suffisante pour l'appoint en fonctionnement normal (voir chapitre suivant).

Aussi, le projet étant alimenté par 2 moyens de production en énergie renouvelable, nous avons retenu pour notre bilan de puissance le cas de défaillance de la récupération de chaleur sur l'UVE à savoir 12 MWth. Il nous paraît effectivement très conservateur d'avoir une panne simultanée de l'UVE et de la biomasse.

Dans ce cas de défaillance, **la puissance totale installée pour le secours du réseau principal sera donc de 89,4 MW.**

À noter que le réseau exploite actuellement des installations de cogénérations de puissance de 8 MWth en centrale Fontaine d'Ouche et 10,5 MWth en centrale Chenove. Ces moyens de productions ne disposeront plus du contrat d'obligation d'achat en 2026, ces moyens n'étant pas nécessairement pérennes, ne sont donc pas retenus dans les bilans de puissances et modélisation du futur réseau.

Pour le fonctionnement des moyens de production au terme des développements, l'ordre de priorité considéré est le suivant :

- 1) UVE – 12 MWth
- 2) Biomasse + PAC sur Condenseur Valendons – 22,4 MWth
- 3) Gaz Valendons - 10,5 MWth
- 4) Gaz Chenove – 14 MWth

- 5) Gaz Fontaine d'Ouche – 34,5 MWth
- 6) Gaz chaufferie Montchapet – 10 MWth

2.4. BILAN DE PUISSANCE COMPLET RESEAU PRINCIPAL

Situation Actuelle, cas nominal par -11°C ext :

Fonctionnement du RCU par -11°C	Normal (MWth)
Puissance appelée en chaufferie (a)	67,2
Puissance UVE Talant (b)	10
Puissance biomasse Valendons (c)	22
Puissance gaz nécessaire (d)=(a)-(b)-(c)	35,2
Puissance gaz installée (e)	59
Puissance disponible (f)=(e)-(d)	23,8

Situation au terme des développements, cas nominal par -11°C ext :

Fonctionnement du RCU par -11°C	Normal (MWth)	UVE HS (MWth)
Puissance appelée en chaufferie (a)	85,7	85,7
Puissance UVE (b)	12	0
Puissance biomasse Valendons (c)	22	22
Puissance gaz nécessaire (d)=(a)-(b)-(c)	51,7	63,7
Puissance gaz installée (e)	69	69
Puissance disponible (f)=(e)-(d)	17,3	5,3

Lors du fonctionnement nominal par -11°C, l'ensemble des sites de production devront être mobilisés, à l'exception du site de Montchapet qui sert uniquement en secours.

3. SYNTHÈSE DES TRAVAUX PRÉVUS ET PLANNING

3.1. POSTES DE LIVRAISON

3.1.1. PLANNING DES MISES EN SERVICES

Le réseau de chaleur de SODIEN alimente actuellement 301 sous-stations. Le projet industriel de Coriance intègre le raccordement de 99 prospects d'ici 2034, et 15 dans le cadre de l'avenant 4.

Le phasage par année est synthétisé dans le tableau suivant :

Année	Nombre de SST créées
2026	21
2027	16
2028	14
2029	20
2030	17
2031	10
2032	1
Total Avenant 7	99
Avenant 4	15
TOTAL	114

3.1.2. SCHEMA DE SOUS-STATIONS A METTRE EN PLACE

Sur les 99 prospects envisagés dans le cadre de l'avenant, 68 présentent des besoins en ECS. Ces sous-stations seront réalisées selon ce schéma, avec deux échangeurs au primaire. Le préparateur ECS installé sera un préparateur semi-instantané.

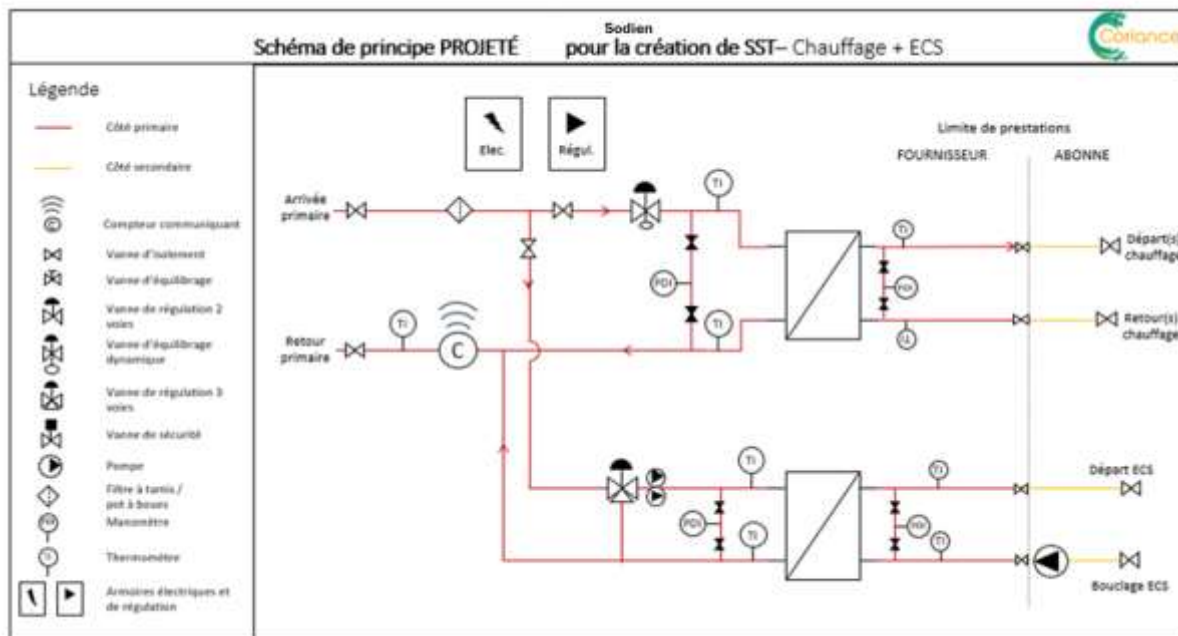
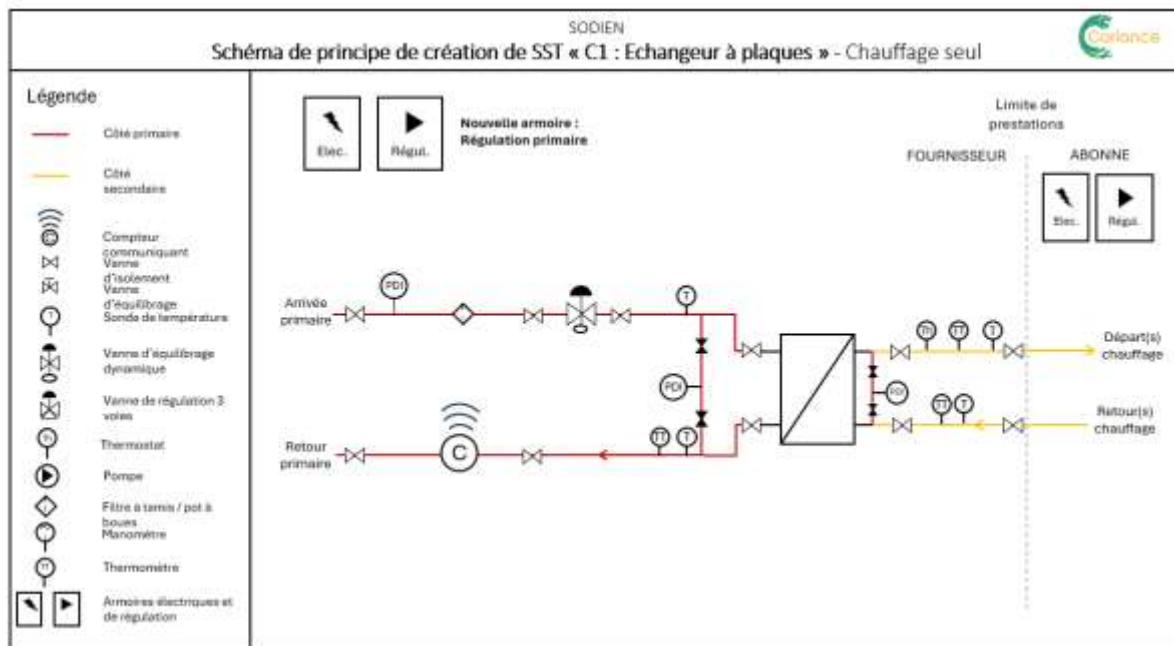


Figure 1 : Schéma de principe de sous-stations avec deux échangeurs chauffages et ECS séparés

Les 31 prospects ne présentant pas de besoins en ECS auront un échangeur unique et suivront le schéma suivant :



3.2. TRAVAUX RESEAUX

Les travaux réseaux de notre projet reposent sur la création de 13 010 ml de réseau. Ces travaux auront lieu entre 2026 et 2032.

Le visuel ci-dessous présente le réseau existant et à créer à l'issue de tous les développements, accompagné du phasage des travaux :



Réseau de chaleur de Sodien Phasage des travaux

Réseau à créer : 13 010 ml
Sous-stations à créer : 91 SST

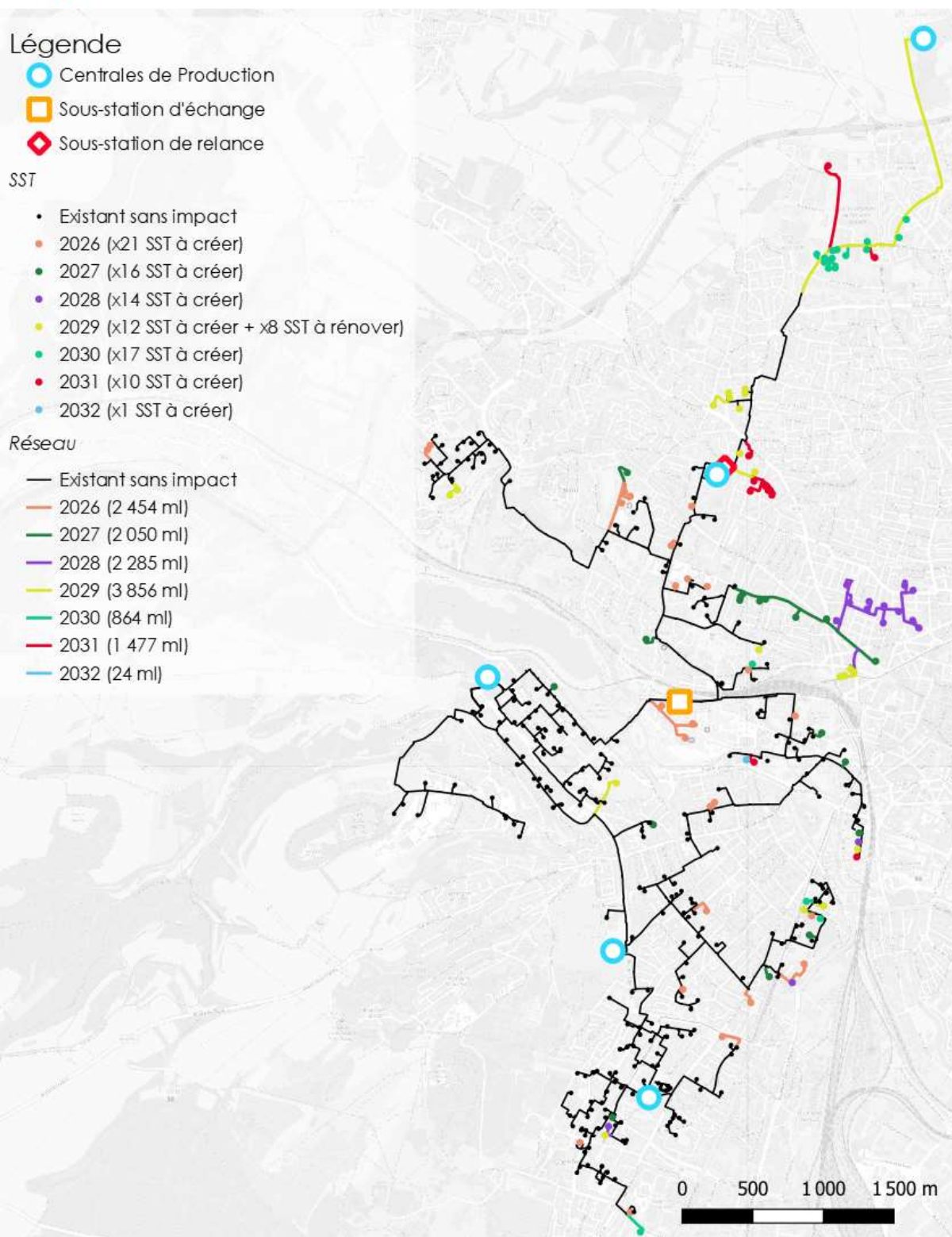


Figure 2 : Synthèse global du réseau existant et à créer

Dans ce visuel, le développement de l'Avenant 4 est intégré dans la catégorie « existant sans impact ».

À noter que les 13 010 mètres linéaires totaux de travaux réseau intègrent les mètres linéaires verticaux dédiés à la création de sous-station en toiture (remontée de tubes en façade). Nous avons, hors mètres linéaires verticaux, 12 870 mètres linéaires de réseau à créer.

3.3. ETUDE DU TRACE

Le réseau de chaleur de Sodien s'étend actuellement sur 48,1 km et dessert actuellement 301 sous-stations.

Le plan du réseau existant est le suivant :

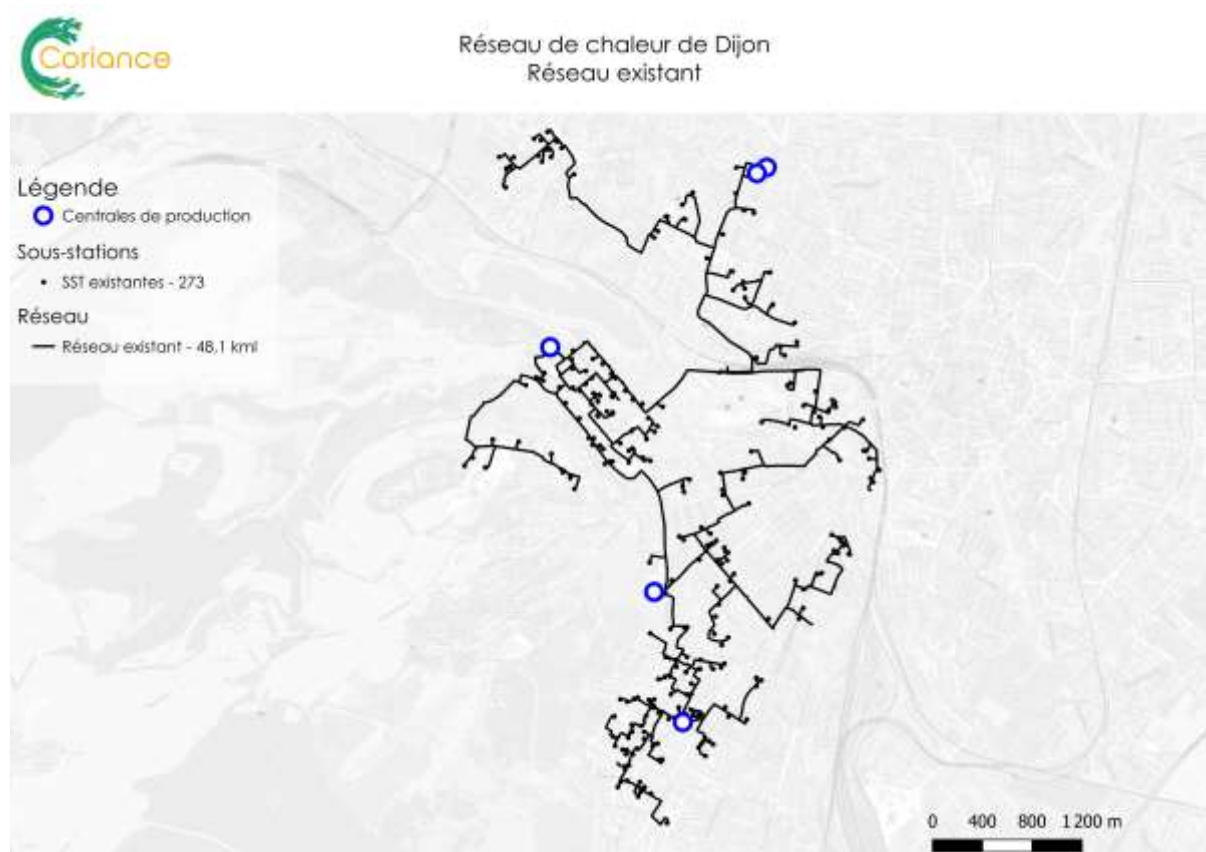


Figure 3 : Visuel du réseau existant

Le tracé prévisionnel du réseau est le suivant :

Réseau de chaleur de Sodien Développements à réaliser dans le cadre des avenants 4 et 7

Réseau à créer : 13 010
ml et 99 SST

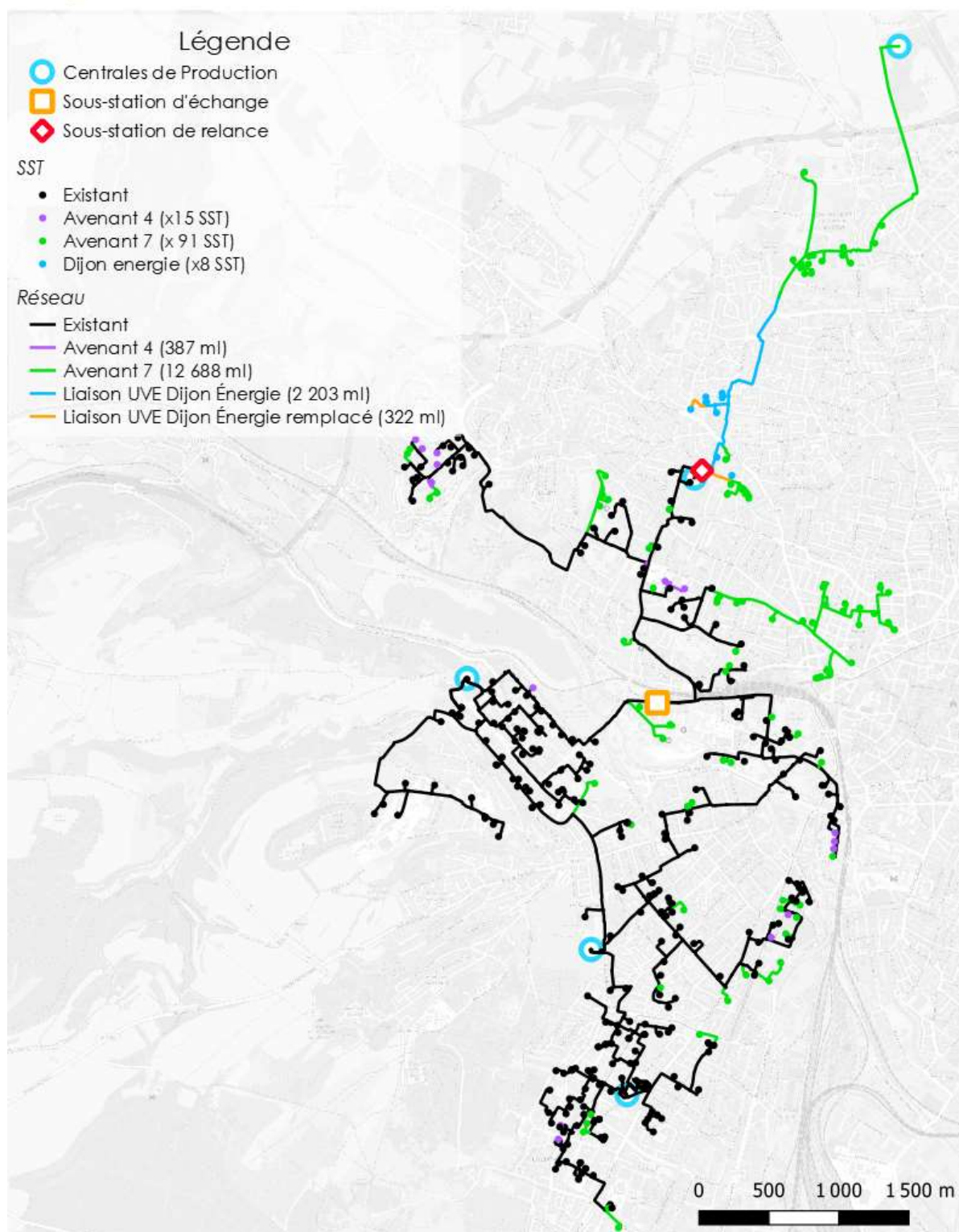


Figure 4 : Synthèse global du réseau existant et à créer

Le tracé a été établi et optimisé suivant différents critères : densités des réseaux existants, trafic routier, longueur du tracé, état et type de voiries.

Voici quelques règles que nous utilisons pour l'étude du tracé :

- Minimiser l'impact sur la circulation ;
- Assurer les servitudes des transports publics ;
- Assurer les accès véhicules aux propriétés privées et aux accès pompiers ;
- Privilégier l'espace public et réduire le nombre de servitudes ;
- Prévoir un phasage adapté aux contraintes de circulation.

Lors de l'étude de tracé, nous avons retenu un unique point singulier sur le réseau à créer. Il s'agit de l'encorbellement sur le pont traversant le Suzon au niveau de l'Avenue Fernand Léger.

3.4. MODELISATION HYDRAULIQUE

3.4.1. PRESENTATION DU LOGICIEL TERMIS

Le logiciel de simulation TERMIS permet de modéliser le réseau de chaleur et de simuler hydrauliquement son fonctionnement. Il permet par ailleurs de modéliser les éléments « physiques » du réseau, tels que :

- Les canalisations ;
- Les centrales de production de chaleur ;
- Les postes d'échange HP/BP au besoin ;
- Les postes de livraison des différents abonnés ;
- Les vannes de régulation et d'isolement ;
- Les pompes du réseau.

Le modèle mis en place vise à s'approcher de la charge maximale du réseau, en utilisant les puissances appelées des abonnés, et permet donc de juger du comportement du réseau et de ses extensions au point de fonctionnement le plus défavorable.

La modélisation permet d'obtenir des résultats concernant les pressions, à partir des pertes de charge des tronçons, mais aussi des vitesses sur tout le réseau pour la partie hydraulique. Pour la partie thermique, la modélisation présente les résultats de pertes thermiques du réseau ainsi que les températures d'alimentation et de retour en chaque point du réseau.

Enfin, pour la partie énergétique, la modélisation présente la puissance à fournir au niveau des centrales de production, en intégrant les pertes thermiques des canalisations et les puissances à fournir aux points de livraison.

Le réseau a été modélisé en deux temps :

- En premier lieu, le réseau existant a été simulé à l'aide des données réelles d'exploitation ;
- Nous avons ensuite étudié le réseau développé, avec l'ajout des prospects.

3.4.2. HYPOTHESES DE FONCTIONNEMENT

Les hypothèses de fonctionnement regroupent les données d'entrée permettant de réaliser les simulations hydrauliques sous TERMIS.

3.4.2.1. PARAMETRAGE DES MOYENS DE PRODUCTION

Actuellement, le réseau existant de Dijon est alimenté par les chaufferies Fontaine d'Ouche, Chenove, Valendons ainsi que par la Sous-station d'interconnexion avec Dijon Energie nous fournissant de l'énergie en provenance de l'UVE de Talant.

La puissance maximale appelée par -11°C se situe à 85.7 MWth après développement.

A l'issue des travaux, la température sortie centrale à -11°C extérieur sera fixée à 105°C en centrales Chenove et Fontaine d'Ouche, 100°C en centrale Valendons, et 95°C à la Sous-stations d'interconnexion avec l'UVE de Talant.

3.4.2.2. PARAMETRAGE DES MOYENS DE DISTRIBUTION

Il existe 9 départs actuellement en sortie des différentes centrales de productions :

- **Départ RCH1** associé à la **centrale Fontaine d'Ouche** alimentant les sous-stations du centre du quartier de Fontaine d'Ouche ;
- **Départ RCH2** associé à la **centrale Fontaine d'Ouche** alimentant les sous stations situées entre la centrale Fontaine d'Ouche et la sous-stations de découplage entre les réseaux Sud et Nord ;
- **Départ RCH3** commun aux **centrales Fontaines d'Ouche et Valendons**, alimentant les sous-stations situées entre les deux centrales ;
- **Départ RCH4** au départ de la centrale Fontaine d'Ouche, dirigé vers le quartier des Marcs d'Or. Il est séparé du rete du réseau par une sous-station de découplage PN16/PN25.
- **Départ RCH5** au départ de la **centrale Valendons**. Il alimente les sous-stations situées entre la centrale et la sous-station de découplage des réseau Sud et Nord, à savoir les quartiers de Faubourg-Raines, Bourroches Nord et Sud, les Tanneries et la ZAC l'Arsenal .
- **Départ RCH7 commun aux centrales Valendons et Chenove** (appelé Chenove Nord en sortie de Chenove dans la suite de ce mémoire), il dessert les abonnés situés entre ces deux centrales.
- **Départ RCH8 commun à la sous-station d'interconnexion avec l'UVE de Talant et la sous-station de découplage entre les réseaux Sud et Nord**, il dessert tous les abonnés situés entre ces deux sous-stations.
- **Départ Chenove Ouest** au départ de la centrale **Chenove**.
- **Départ Chenove Est** également au départ **Chenove**.

Ci-dessous un schéma synthétisant le fonctionnement actuel du réseau, et sur lesquels figurent les différents départs réseaux :

[illegible]

Figure 6 : Schéma du fonctionnement du réseau par départ aux termes du développement

54

pour fonctionner avec le réseau développé. **Nous prévoyons donc une modification des moyens de pomperie pour plusieurs départs** (ils seront détaillés en partie 3.4.6 de ce mémoire).

3.4.2.3. ALTIMETRIES DES POINTS DU RESEAU

Le réseau de chaleur développé s'étendra sur 64 km, avec une altitude pouvant varier entre 386 et 235 m NGF.

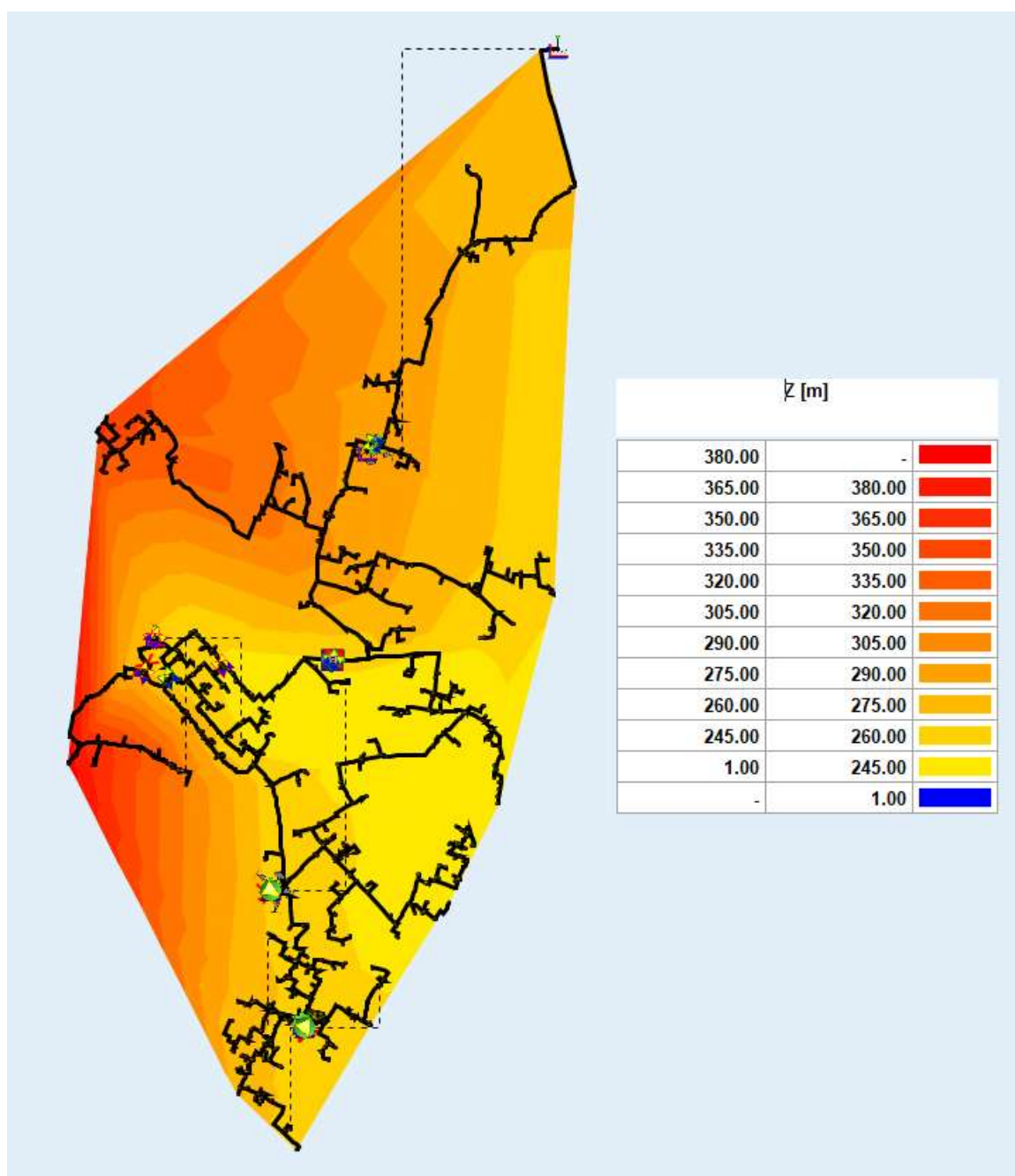


Figure 7 : Altimetries des nœuds et des sous-stations.

Les variations d'altitudes, qui génèrent des variations de pression le long du réseau, sont anticipées de manière précise, et notamment les sous-stations en toiture, car nous avons renseigné l'altitude de chaque nœud dans notre modèle.

3.4.2.4. PARAMETRAGE DES CANALISATIONS

Rugosité des canalisations

Pour prendre en compte l'usure naturelle des canalisations au fil du temps, il est retenu une rugosité de 0,1 mm pour la modélisation des canalisations.

Isolation des canalisations

Les pertes thermiques du réseau sont directement corrélées aux coefficients d'échange thermique des canalisations. Il est prévu que les canalisations à créer soient installées avec un niveau d'isolation standard (série n°1).

Pertes de charges singulières

Dans le logiciel de simulation hydraulique TERMIS, utilisé pour la modélisation du réseau, les pertes de charge singulières, c'est-à-dire les pertes de charge induites par des variations de tracé (coudes, angles, lyres, etc...), ne sont pas calculées automatiquement comme le sont les pertes de charge linéaires.

Il est donc nécessaire d'affecter un coefficient aux canalisations, supérieur à 1, pour prendre en compte ces dissipations d'énergie sur le dimensionnement du réseau. En revanche, ce coefficient de pertes de charge singulières n'intervient pas dans le dimensionnement des diamètres des canalisations, seules la vitesse et les pertes de charge linéaires sont prises en compte.

Toutefois, ces pertes de charge singulières impactent la pression de service dans le réseau, ainsi que la HMT nécessaire au niveau des pompes.

Nous retenons une valeur de 25% afin d'estimer ces pertes singulières.

3.4.2.5. AUTRES HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT

Foisonnement

Afin de prendre en compte les différentes typologies d'abonnés sur le réseau, un coefficient de foisonnement est mis en place. Ce coefficient permet de simuler le fait que toutes les puissances maximales appelées des abonnés ne sont pas toutes appelées au même moment durant la journée.

Le coefficient de foisonnement est alors appliqué sur les puissances maximales appelées par chacune des sous-stations.

Pression de fonctionnement

Les pressions d'alimentation et de retour, ainsi que les Hauteurs Manométriques Totales (HMT) mises en jeu dans le fonctionnement du réseau seront obtenues suites à la modélisation des différents cas de fonctionnement présentés dans les sections suivantes.

Pour valider le dimensionnement global, plusieurs critères ont été intégrés :

- Les pompes doivent permettre d'alimenter tous les abonnés avec un différentiel de pression d'au moins 10mCE en sous-station ;
- Un coefficient de 25% sur les pertes de charge et donc sur la pression est mis en place pour prendre en compte les pertes de charge singulières (voir chapitre précédent) ;

- **La pression d'alimentation est limitée à 16 bars dans le réseau (hors Talant et RCH4 en PN25), afin de pouvoir conserver le réseau en PN16 en toute circonstance ;**
- La pression ne doit pas descendre en dessous de 1,2 bars dans l'ensemble du réseau, afin de garantir le bon fonctionnement et notamment éviter des phénomènes de cavitation.

Pour le dimensionnement de chaque canalisation, deux critères sont mis en place :

- Les pertes de charge linéaires des canalisations neuves sont fixées à un maximum de 20 mmCE/ml. Les pertes de charges des canalisations existantes seront étudiées au cas par cas et mises en exergue dès qu'elles dépasseraient les 25 mmCE/ml.
- Les vitesses dans les canalisations sont fixées aux niveaux maximums suivants :
 - DN < 100 : 2 m/s ;
 - DN 100 à 150 : 2,5 m/s ;
 - DN > 150 : 3 m/s.

Pour mémoire, le dimensionnement des canalisations du réseau à partir des pertes de charge n'intègre pas les pertes de charge singulières, mais seulement les pertes de charge linéaires.

Il est donc de rigueur de préciser que les vues de simulation qui seront proposées à partir du logiciel TERMIS rendent compte des valeurs de pertes de charges totale, incluant la somme des pertes linéaires et singulières.

Ainsi, le seuil de perte de charge linéaire totale retenu pour l'affichage est de 25mmCE/ml, correspondant à 20mmCE/ml de pertes linéaires.

Le tableau ci-dessous synthétise les hypothèses retenues pour la modélisation du réseau de chaleur à l'issue des développements et pour le dimensionnement des canalisations à créer. Celles-ci sont issues de nos REX et de nos standards de conception.

Rugosité des canalisations	0.2 mm
Isolation des canalisations	Niveau d'isolation standard
Pertes de charges singulières	25% des pertes de charge linéaires : valeur issue du calage du modèle existant
Seuil Pertes de charges linéaires admissible	Canalisations neuves : maximum de 20 mmCE/ml . Canalisations existantes : 25mmCE/ml . Au-delà, elles sont étudiées au cas par cas
Foisonnement	Calculé pour chaque tronçon selon le nombre de sous-stations en aval.
Pression de fonctionnement	Différentiel de pression d'au moins 10mCE en sous-station.

	Pression Maximale de Service < 16 bars (hors zone Talant et RCH4). La pression ne doit pas descendre en dessous de 1,2 bars
Seuils vitesses admissibles	Les vitesses sont fixées aux niveaux maximums suivants : - DN < 100 : 2 m/s; - DN 100 à 150 : 2,5 m/s ; - DN > 150 : 3 m/s.

3.4.3. MODELISATION DU RESEAU EXISTANT

3.4.3.1. PRESENTATION DU RESEAU

Dans un premier temps, nous avons recueilli les informations du réseau existant à l'aide des données d'exploitation réelles afin de pouvoir modéliser le réseau à développer.

Les plans du réseau ont été repris, ainsi que l'ensemble des attributs associés aux canalisations, tels que leur diamètre et leur niveau d'isolation.

Nous avons ensuite validé la cohérence entre les résultats de la simulation nos données d'exploitation afin d'établir un modèle de référence fiable et représentatif.

Les simulations avec l'outil TERMIS® nous ont permis de vérifier les vitesses de fluide maximum, ainsi que les pressions totales maximales en tout point du réseau.

3.4.3.2. SIMULATION DU RESEAU ACTUEL

Dans le cas du fonctionnement actuel du réseau, l'appel de puissance est totalement couvert, sans îlotage, par les moyens de production présents dans les différentes centrales.

Toujours en nous basant sur nos retours d'exploitation, nous avons retenu l'ordre de priorité suivant pour l'utilisation des moyens de production :

- Pour la partie Nord du réseau comprenant la zone de Talant :
 - L'UVE de Talant alimente les abonnés en premier lieu (10 MW)
 - La Sous-station d'interconnexion faisant le lien entre les zones Nord et Sud du réseau importe au Nord le surplus nécessaire à la couverture de l'ensemble des appels de puissance.
- Pour la partie Sud du réseau, les moyens de production ont été hiérarchisés de la manière suivante :
 - 1) Cogénération Chenove (10,5 MW)
 - 2) Cogénération Fontaine d'Ouche (8 MW)
 - 3) Biomasse Valendons (22 MW)
 - 4) Chaudières gaz Valendons (10,5 MW)
 - 5) Chaudières gaz Chenove (14 MW)
 - 6) Chaudières gaz Fontaine d'Ouche (33,5MW)

Analyse de la pression de service du réseau :

Le visuel ci-dessous montre la carte des pressions en tous points du réseau :

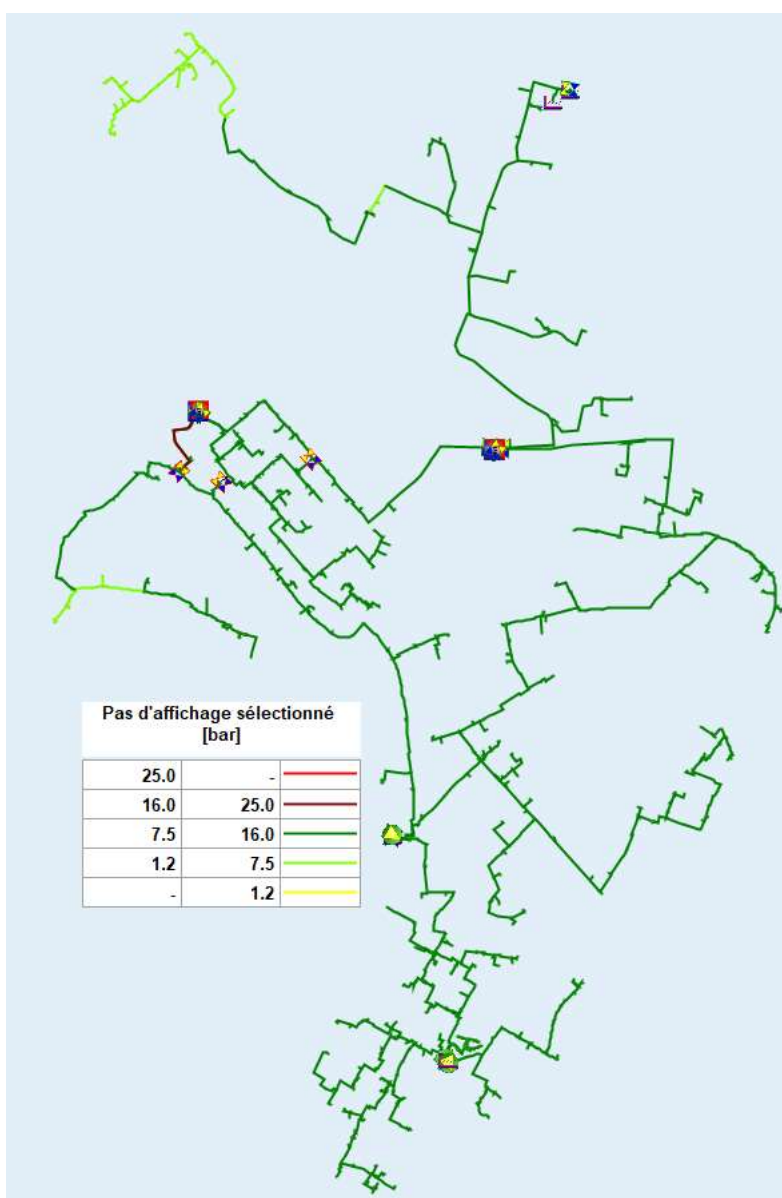


Figure 8: Pression de service en tout point du réseau

La simulation montre qu'il n'existe pas de problématique de pression sur le réseau actuel. La pression est inférieure à 16 bars sur la partie Sud du réseau en PN16 et inférieure à 25 bars sur la partie Nord et le départ RCH4 en PN25.

Sur le départ RCH4 en direction des Marcs d'OR, la pression à la base de l'antenne est de 17 bars, ce qui s'explique par des différences d'altimétries importantes sur cette zone.

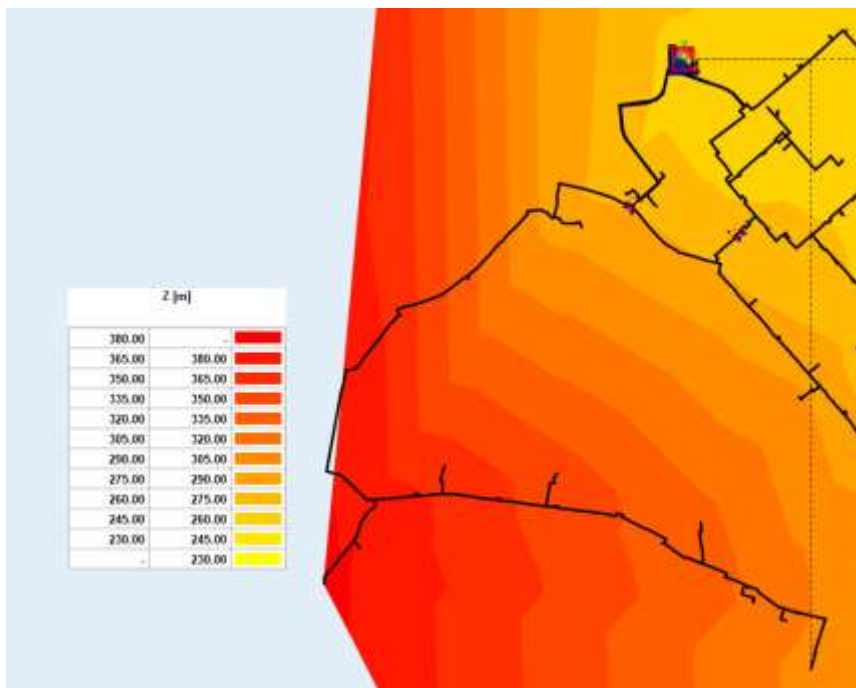


Figure 9 : Altimétries sur la branche du réseau alimentant les Marcs d'Or

Ce sujet de pression est bien connu, une sous-station de découplage PN25/PN16 permet d'isoler hydrauliquement cette branche du reste du réseau.

Analyse des pertes de charge et des vitesses :

La première figure présente le gradient de pression en mCE/ml, la seconde présente la vitesse en m/s.

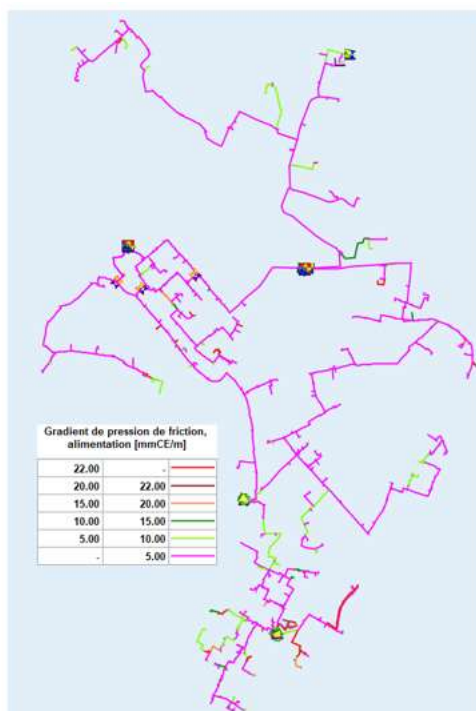


Figure 10 : Pertes de charges dans les canalisations

D'après nos standards, les pertes de charges totales (pertes de charges singulières comprises) ne devraient pas excéder les 22mmCE/ml (avec pdc singulières) afin de garantir un fonctionnement optimal du réseau.

Cette observation est globalement vérifiée. On observe que le réseau de Dijon est très peu exposé aux pertes de charges, puisque la majorité des tronçons n'observe pas de pertes de charges supérieures à 5mmCE/ml.

Sur certains branchements, des pertes de charges supérieures à nos standards sont observées ; Ne générant pas de problématiques d'exploitations, les canalisations concernées ne feront pas l'objet de rénovations tant que leur alimentation sera pérenne.

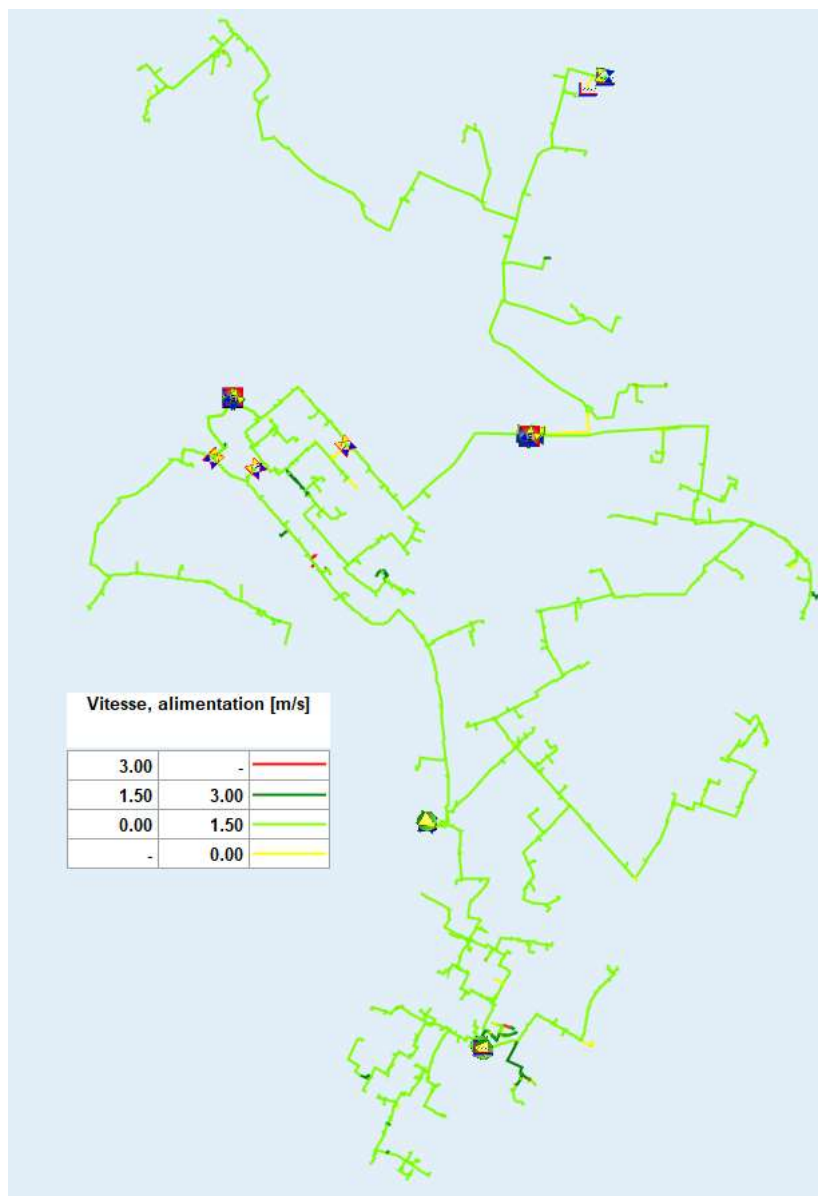


Figure 11 : Vitesse du fluide dans les canalisations

Les vitesses dans les canalisations ne dépassent pas les 3 m/s dans la plupart des canalisations, comme préconisé dans nos standards de dimensionnement.

Comme pour les pertes de charges, cette valeur est dépassée sur certaines zones très localisées, sans que cela ne génère des problématiques de fonctionnement.

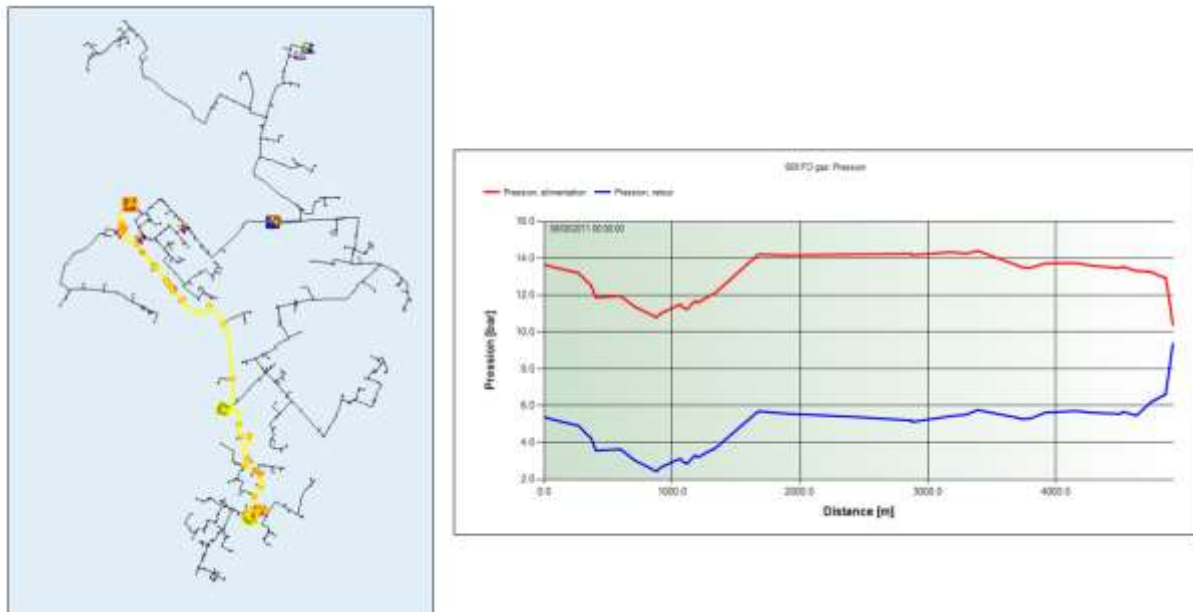


Figure 12: Evolution de la pression sur le chemin critique, en fonctionnement normal du réseau existant

Il s'agit de la sous-stations CHE-2-MI, une maison individuelle du quartier de Chenove, qui correspond à la sous-station la plus défavorisée.

La figure ci-dessus représente l'évolution de la pression d'alimentation du réseau depuis la centrale de production jusqu'à l'abonné critique. La courbe bleue représente l'évolution de la pression de retour pour ce même chemin.

Le profil de pression a été tracé pour montrer le respect du différentiel de pression minimal de 1 bar pour l'abonné critique, pour illustrer que la pression ne dépasse jamais 15 bars et reste toujours supérieure à 1.2 bars sur ce même chemin.

Analyse des impacts sur les pompes existantes :

Les caractéristiques des pomperies par départs selon la modélisation Termis sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Données calculées Termis		
Caractéristiques par départ	Débit volumique [m³/h]	HMT (mCE)
Centrale Chenove	Chenove Est	88
	Chenove Ouest	346
	Chenove Nord (RCH7)	82

Centrale Valendons	RCH3	275	91
	RCH5	386	91
	RCH7	278	92
	RCH1	204	83
Centrale Fontaine d'Ouche	RCH2	228	83
	RCH3	21	91
	RCH4	70	20
UVE Talant	RCH8	425	68

3.4.4. PRESENTATION DES SCENARIOS DE DEVELOPPEMENT ETUDIES

Conformément à la demande de Dijon Métropole, nous avons étudié les scénarios synthétisés dans le tableau suivant :

Scénario	Description du cas
H1	Fonctionnement normal en hiver à pleine puissance

3.4.5. MODELISATIONS EN FONCTIONNEMENT NORMAL

Cette section présente le cas nominal, afin de démontrer le bon fonctionnement du réseau projeté en fonctionnement normal en hiver par -11°C extérieur.

Ce cas à -11°C (T°C de référence) est dimensionnant pour l'ensemble du développement du réseau et permet de nous assurer de la bonne compatibilité du réseau existant. Ce point de fonctionnement est le plus critique pour notre réseau et permet de nous assurer son bon fonctionnement pour tout autre température extérieure.

Différents résultats sont présentés :

- Une synthèse des paramètres de distribution en chaufferie ;
- Un visuel des pertes de charge et vitesses de chaque tronçon ;
- L'évolution de la pression le long du chemin critique (graphe des pressions) ;

- Une explication du fonctionnement du réseau.

Objectifs :

- Consolider les diamètres des canalisations par la vérification des vitesses et des pressions dans le réseau ;
- Vérifier la bonne alimentation de l'intégralité des abonnés ;
- Identifier le scénario le plus défavorisant pour l'ensemble des paramètres vérifiés ci-dessus.

Dans le cas de fonctionnement du réseau à la suite des études de dimensionnement, l'appel de puissance est couvert par les moyens de production installés en chaufferies existantes. La puissance maximale appelée par le réseau dans ce cas est de 85.7 MW par un total de 415 abonnés dont 99 prospects.

3.4.5.1. SCENARIO H1A : FONCTIONNEMENT NORMAL EN HIVER A PLEINE PUISSANCE

Nous simulons ici le fonctionnement du réseau de chaleur au terme du développement dans les conditions maximales.

Hypothèses particulières :

- Température de départ en centrale de production :
 - Centrale Chenove : **93°C**
 - Centrale Fontaine d'Ouche : **100°C**
 - Centrale Valendons : **100°C**
 - UVE : **95°C**
- Température extérieure : **-11°C**
- Aucun ilotage considéré

Le linéaire de notre réseau de Talant et Fontaine-lès-Dijon jusqu'à l'UVE est important. Notre travail de modélisation a mis en évidence des niveaux de pression élevés au départ de l'UVE. Afin de maintenir des niveaux de pression compatibles avec la PN25, nous avons prévu de convertir la sous-station d'interconnexion existante entre le réseau Dijon Energie et le réseau Sodien. En lieu et place des échangeurs existants nous installerons des pomperies de relance sur l'aller et le retour. Ces relèves de pression permettront de limiter les niveaux de pression sur l'ensemble du réseau de Talant au terme du développement du réseau.

Cette sous-station de relance sera équipée des équipements suivants :

- Sur l'aller :
 - Deux pompes (en base) : 189 m3/h & 39 mCE de HMT ;
 - Une pompe secours : 189 m3/h & 39 mCE de HMT ;
- Sur le retour :
 - Deux pompes (en base) : 186 m3/h & 121 mCE de HMT ;
 - Une pompe secours : 186 m3/h & 121 mCE de HMT ;

Tableau de synthèse du fonctionnement réseau :

Les résultats de la simulation hydraulique TERMIS H1a sont présentés par départs dans les tableaux ci-dessous :

Caractéristiques par départ		Données calculées Termis	
		Débit volumique [m³/h]	HMT (mCE)
Centrale Chenove	Chenove Est	112	170
	Chenove Ouest	402	63
	Chenove Nord	0	15
Centrale Valendons	RCH3	148	51
	RCH5	421	115
	RCH7	188	23
Centrale Fontaine d'Ouche	RCH1	208	51
	RCH2	187	26
	RCH3	102	22
	RCH4	487	107
UVE	RCH8	112	170

Répartition hydraulique :

La figure ci-dessous présente la manière dont se répartit hydrauliquement la chaleur à partir des centrales de production.

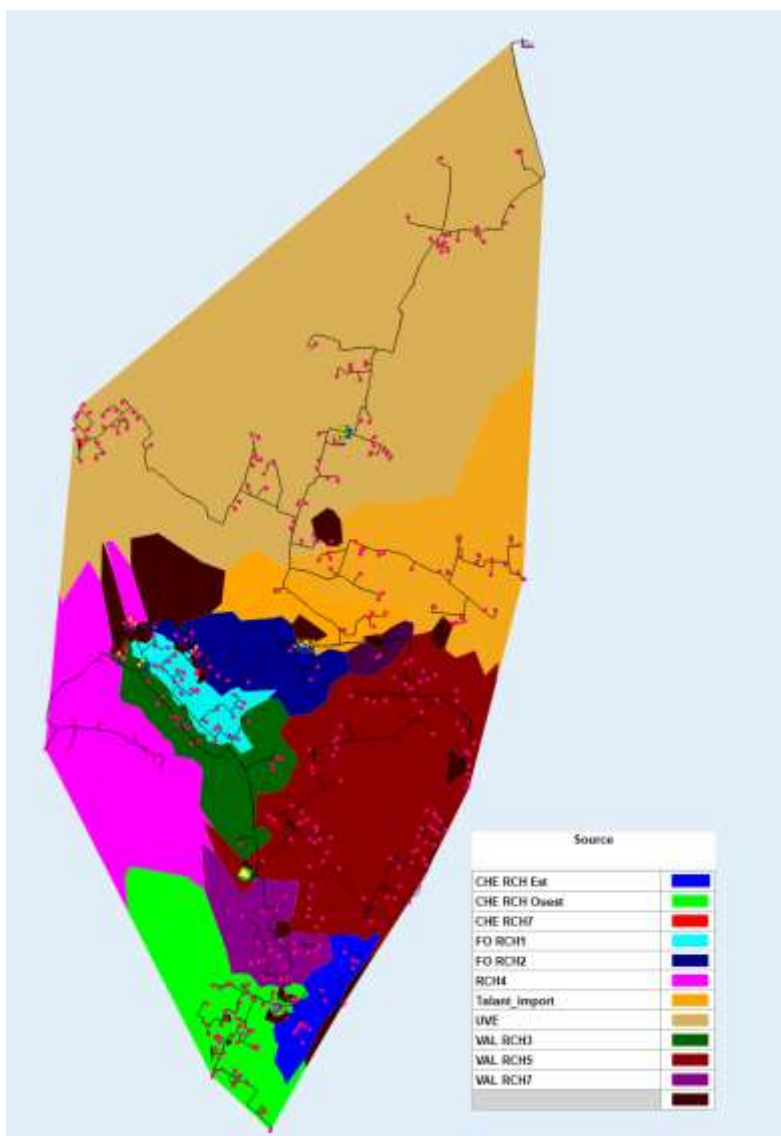


Figure 7 : Répartition hydraulique de la chaleur entre les différents départs de la centrale de production.

En fonctionnement normal en hiver par -11°C extérieur, l'ensemble des moyens de production sont en fonctionnement. Les appels de puissances sur le réseau de Talant étant supérieurs à la puissance fournie par l'UVE, la sous-station d'interconnexion située entre les réseaux sud et nord permet de compléter la puissance venant de l'UVE de Talant.

Pertes de charges et vitesses dans le réseau :

Les visuels ci-dessous montrent les pertes de charges ainsi que les vitesses dans les tronçons :

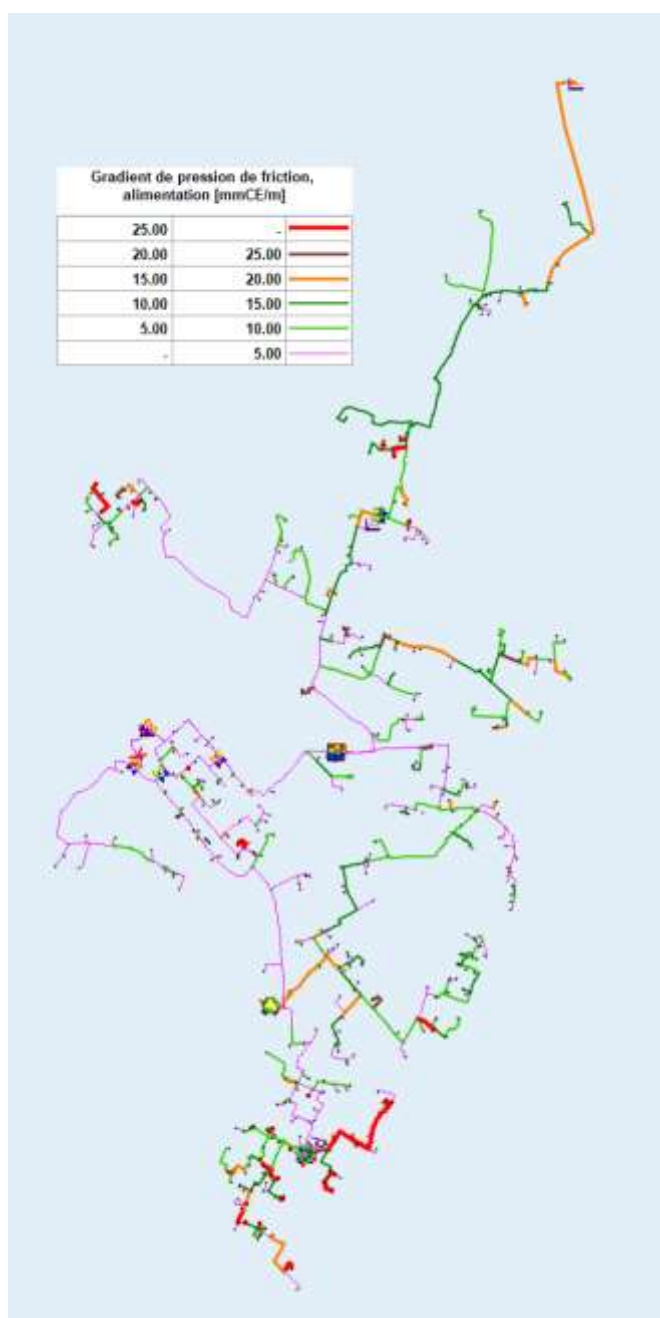


Figure 8 : Pertes de charges dans les canalisations.

Au-delà de certains tronçons existants qui, comme observés dans la modélisation du cas existant, présentent des pertes de charges supérieures aux valeurs standards, les canalisations tirées dans le cadre du développement sont correctement dimensionnées. Leur valeur de pertes de charges sont strictement inférieures à 25 mmCE/ml.

En ce qui concerne les vitesses des tronçons, elles sont représentées dans le visuel ci-dessous :

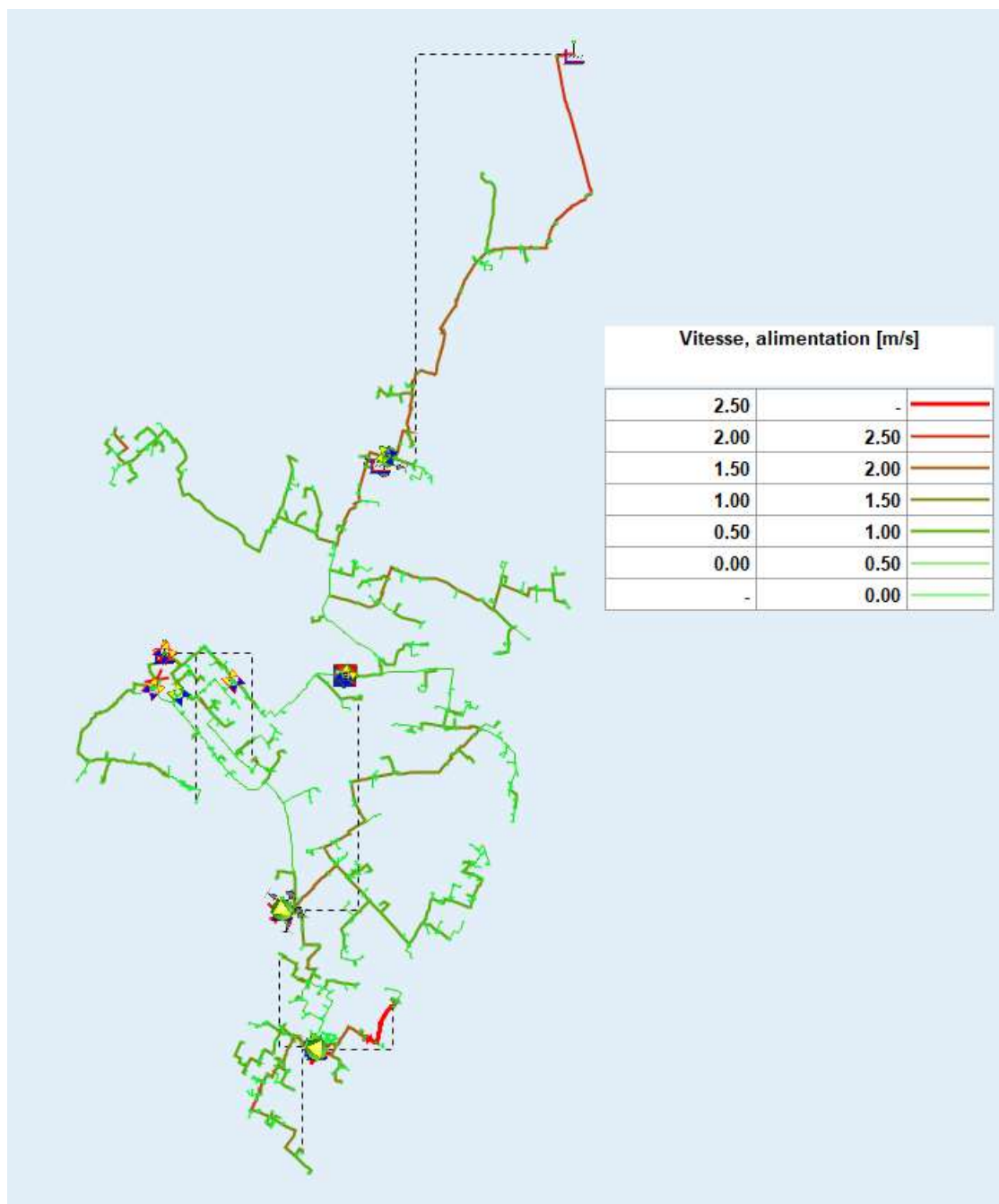


Figure 13 : Vitesses dans les canalisations

Tous les nouveaux tronçons respectent nos standards de dimensionnement avec une perte de charge inférieure à 20 mmCE/ml et une vitesse inférieure à 3 m/s.

Les vitesses et pertes de charge renseignent le bon dimensionnement de chaque canalisation par rapport au débit qui y passe, mais la cohérence globale du réseau se mesure aux pressions d'alimentation.

Profil de pression :

Les résultats de la simulation des pressions d'alimentation sont synthétisés sur la vue suivante :

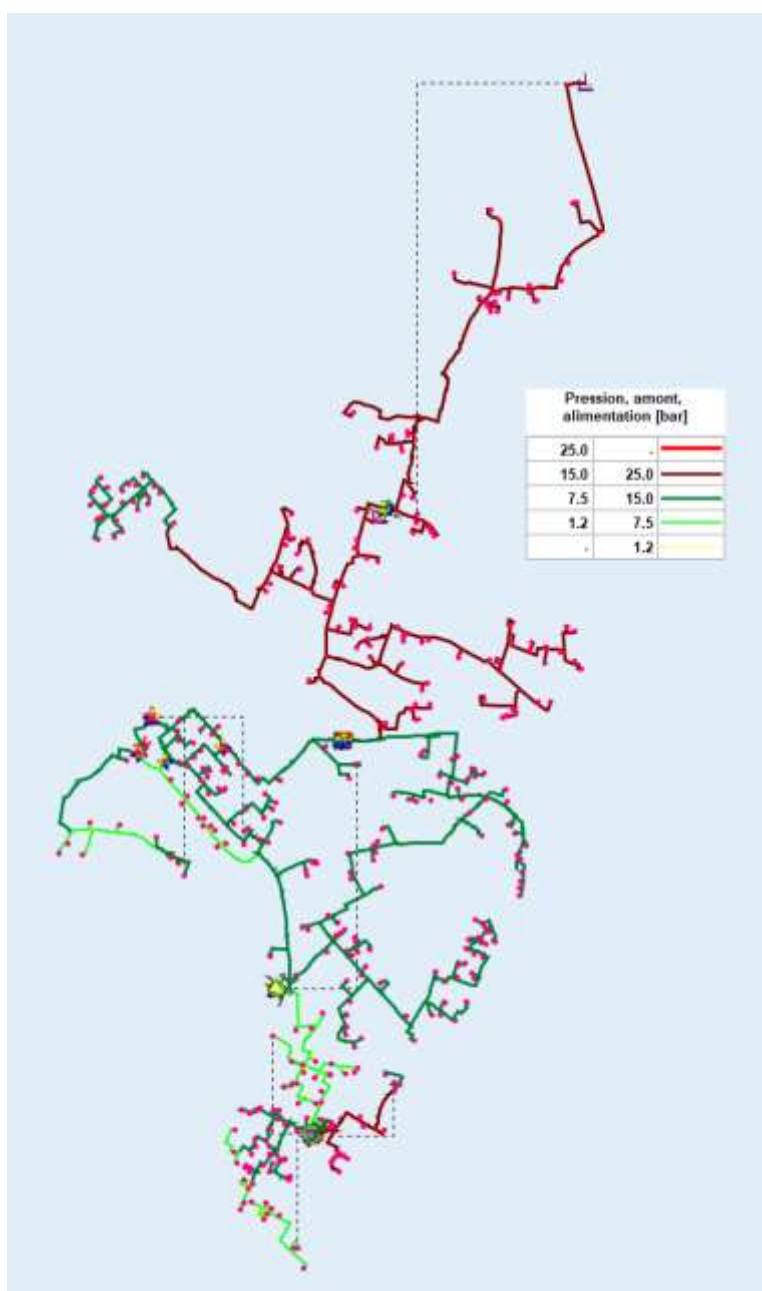


Figure 14 : Pression de service en tout point du réseau.

Nous observons que les pressions dans les canalisations respectent les critères de dimensionnement et ne dépassent jamais les 15 bars, à l'exception de la partie Nord du réseau et du départ RCH4 en PN25 pour lesquelles les pressions sont inférieures à 25 bars. À noter que la pression sur la branche Chenove RCH Est est supérieure au 16 bars. Il s'agit là très probablement d'incohérences au niveau des données d'entrée (PMA SST) sans incidence sur le fonctionnement futur du réseau puisque que cette branche ne fait pas l'objet de développement.

Différentiel de pression aux noeuds :

Le visuel ci-dessous nous permet d'observer les zones dites critiques, présentant un différentiel de pression plus faibles :

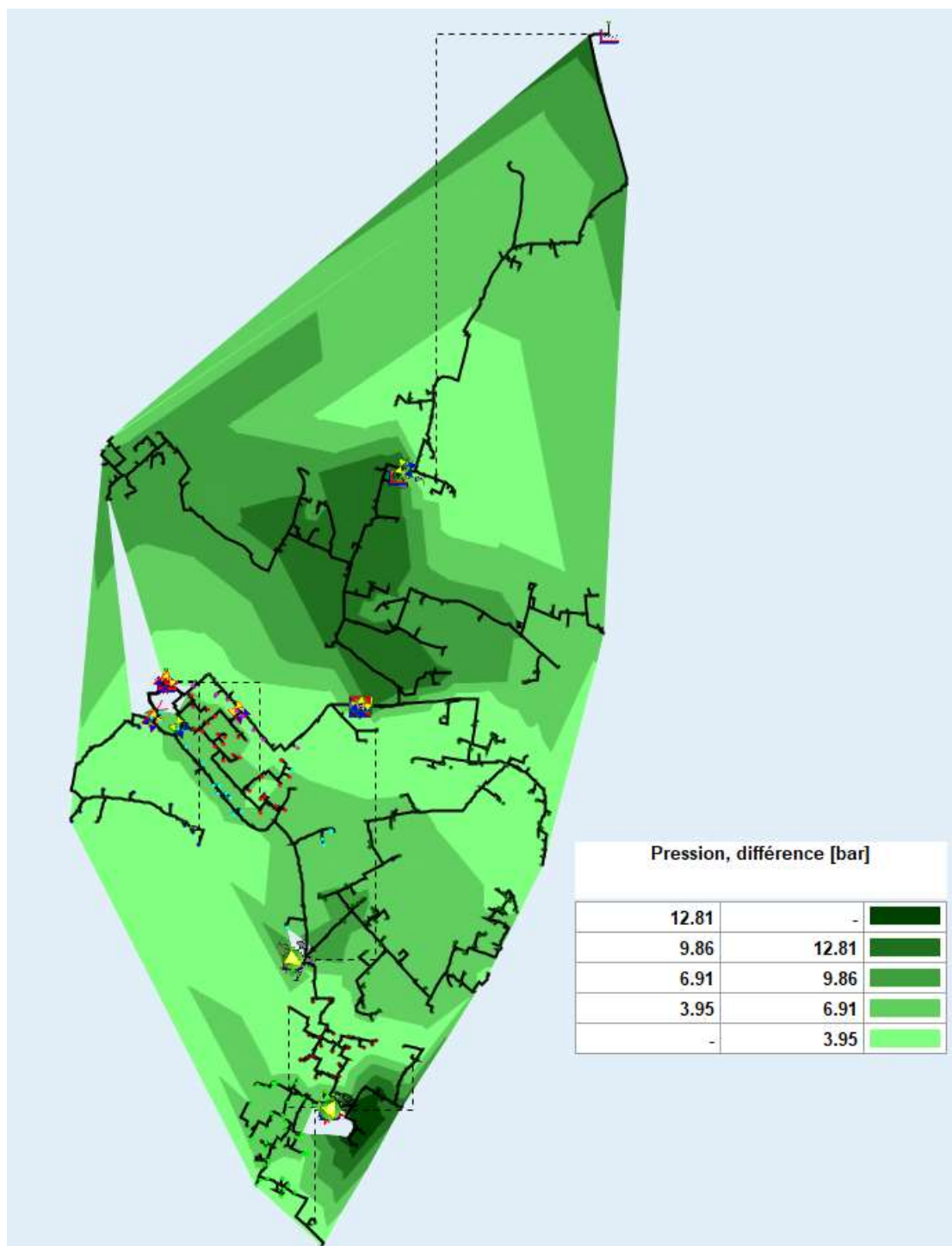


Figure 15 : Différentiel de pression en tout points du réseau

Les points critiques du réseau (hors départ RCH4 et réseau de Talant isolés par des sous-stations de découplages) sont situés au centre de Fontaine d'Ouche, à l'est de Chenove et au niveau de Faubourg Raines.

Par ailleurs, ci-dessous se trouvent les pressions d'alimentations et de retours pour les différentes centrales :

Centrales	Départ	Pression alimentation (bar)	Pression retour (bar)
Chenove	RCH 7	4.5	3
	RCH Est	19.6	3
	RCH Ouest	9.3	3
Valendons	RCH 3	8.1	3
	RCH 5	14.5	3
	RCH 7	4.9	2.6
Fontaine d'Ouche	RCH 1/3	8.1	3
	RCH 2	10	7.4
	RCH 4	15	12.8
UVE	RCH8	24.2	13.5
Découplage RCU principal -> Talant	RCH8	22.7	11.5

Nous observons que les pressions d'alimentations en centrales sont globalement très en dessous de la limite supérieure des 15 bars (hors départ RCH4 et réseau Nord isolés par des sous-stations de découplages).

A noter que la pression sur la branche Chenove RCH Est est supérieure au 16 bars. Il s'agit là très probablement d'incohérences au niveau des données d'entrée (PMA SST) sans incidence sur le fonctionnement futur du réseau puisque que cette branche ne fait pas l'objet de développement.

Evolution de la pression sur le chemin critique :

A l'issue des développement le chemin critique est le suivant :

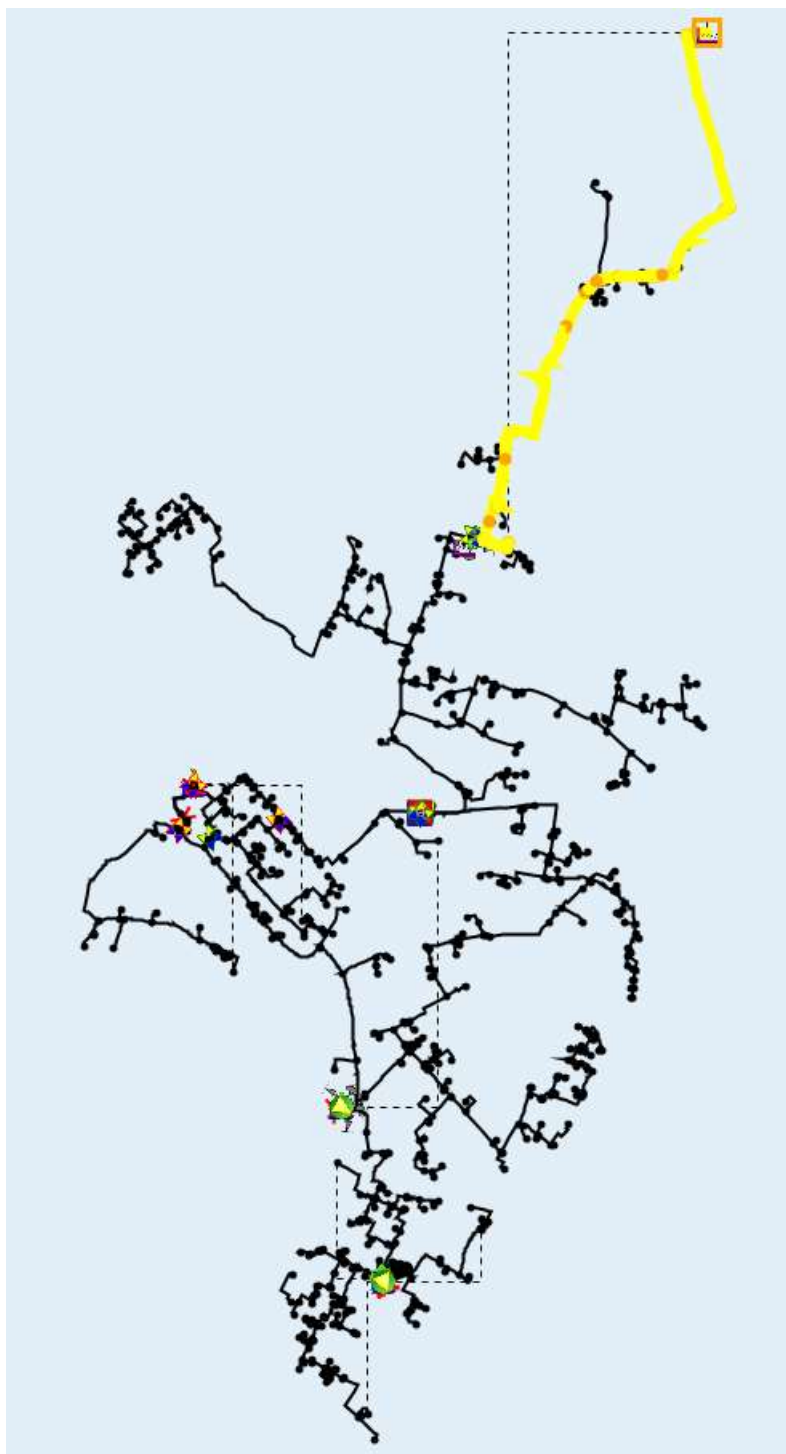


Figure 16 : Chemin critique du fonctionnement normal du réseau.

La figure ci-dessous représente l'évolution de la pression d'alimentation du réseau depuis l'UVE jusqu'à l'abonné critique correspondant à la sous-station n°1 « Orée de Fontaine ».

La courbe bleue représente l'évolution de la pression de retour pour ce même chemin.

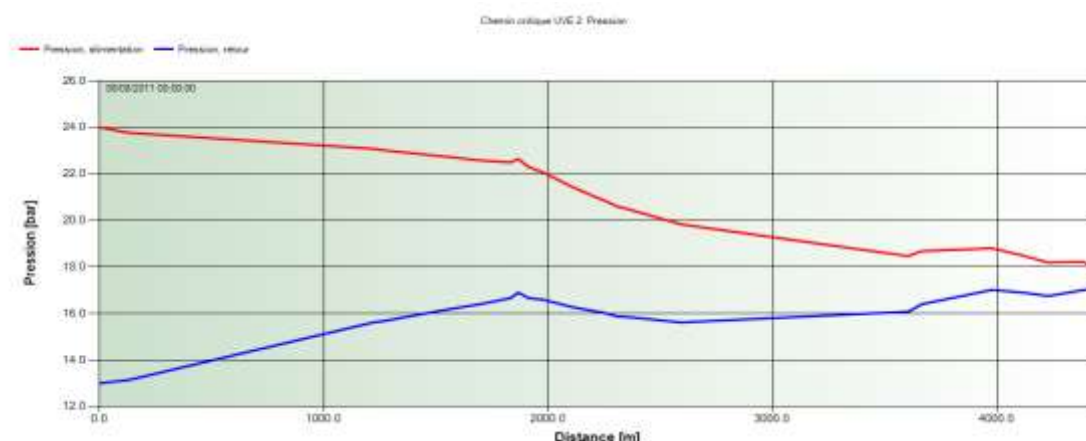


Figure 17 : Evolution de pression d'alimentation du réseau entre la centrale de production et l'abonné critique.

Le profil de pression a été tracé pour montrer le respect du différentiel de pression minimal de 1 bar pour l'abonné critique, pour illustrer que la pression ne dépasse pas 24 bars et pour s'assurer que la pression est toujours positive sur ce chemin.

3.4.6. CONCLUSION

La modélisation TERMIS® du réseau projeté présentée permet de mettre en évidence que le réseau existant est aujourd'hui suffisamment dimensionné pour le développement prévu dans notre projet. Toutefois, le programme de travaux retenu prévoit le remplacement de certaines pompes existantes voire la totalité si nécessaire au bon fonctionnement du service aux abonnés.

Les simulations présentent un fonctionnement du réseau satisfaisant selon l'architecture prévue. Les canalisations du réseau à créer sont également correctement dimensionnées.

3.5. METHODOLOGIE DE TRAVAUX

3.5.1. PRINCIPES DE REALISATION DE TRAVAUX RESEAUX

Caractéristiques d'un réseau

Les caractéristiques du fluide (eau chaude) à transporter sont les suivantes :

- Température aller : 105°C
- Température retour : 60°C environ
- Pression nominale : PN16 ou PN 25 si nécessaire dans les zones concernées

Prescriptions générales

Les canalisations seront posées sur un lit de sable (100 mm) soigneusement compacté en fond de fouille et réalisées en tube acier pré-isolés rigides conforme à la réglementation en vigueur, tuyauteries en acier noir à extrémités lisses, normes EN 253 & EN 10217, utilisés aux

températures élevées jusqu'à 120°C (Marque ISOPLUS, LOGSTOR, BRU GG, AXIOM, INPAL ou équivalent).

Elles devront permettre des piquages en charge en reprenant les contraintes de normes ainsi que les qualités nominales des tubes pré-isolés en termes d'étanchéité et d'isolation thermique.

Les tubes seront pourvus d'une enveloppe de protection type PEHD réticulé et de caractéristiques suivantes :

- Isolation par mousse isolante en polyuréthane, coefficient de conductivité thermique : $[0,033 \text{ W/m}^\circ\text{K}]$,
- Masse volumique de la mousse de polyuréthane 80 kg/m³ (norme EN-253),
- Masse volumique de l'enveloppe de protection en PEHD : 935 kg/m³ (norme EN-253),
- Allongement à la rupture minimum : 350 % (norme EN-253),
- Contrainte maximum à la rupture : 20 Mpa,
- Conditionnement par barre de 6m ou 12 m de longueur maximale.



Mise en œuvre tuyauterie

La tuyauterie pré-isolée a l'avantage d'être facile et rapide à mettre en œuvre et d'avoir d'excellents niveaux de performances thermiques (conductivité thermique très basse), limitant ainsi les pertes de chaleur et donc d'engendrer un meilleur rendement « réseau ».

Par retour d'expérience, une bonne exécution de ce type de matériel et une bonne maîtrise de la qualité de l'eau du réseau permettent d'obtenir une parfaite longévité.

Les réseaux seront posés en pleine-terre. La coupe type ci-dessous présente le principe de pose sur lit de sable en fond de fouille ainsi que la reconstitution de la chaussée prévue :

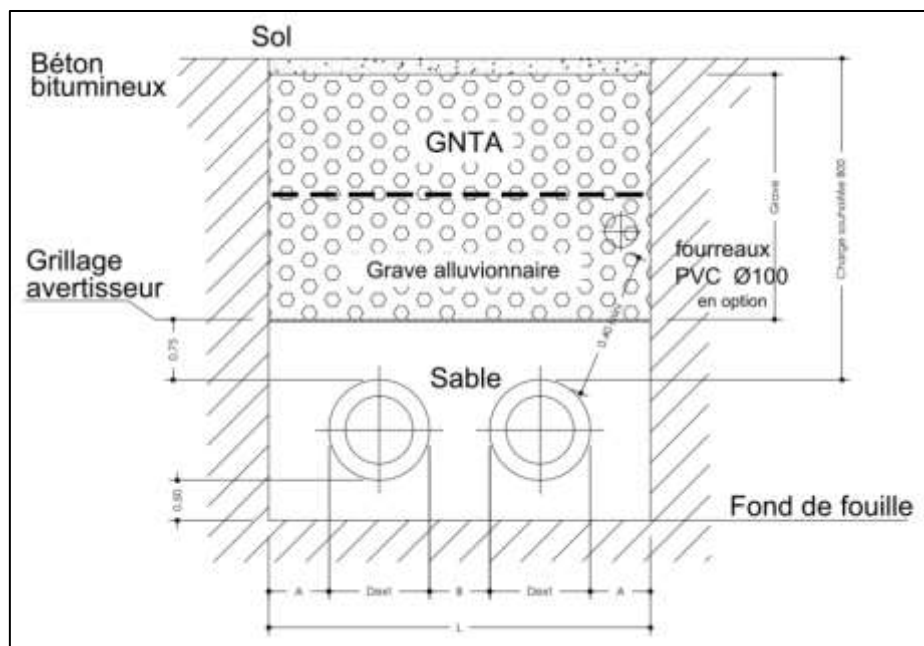


Figure 18 : Coupe type présentant le principe de pose du réseau

Type de canalisations et matériels à utiliser

Nous utiliserons des **tubes en acier pré-isolés** pour tous nos travaux réseaux.

La fabrication et la constitution d'un tube pré-isolé consiste à calorifuger en usine un tube en acier noir, en le recouvrant d'une mousse en polyuréthane.

L'isolant mis en œuvre est protégé par une gaine extérieure en plastique PEHD (PolyÉthylène Haute Densité), ce qui permet de rendre l'ensemble résistant aux chocs et aux poinçonnements.

Les tubes pré isolés prévus sont fabriqués conformément aux normes Européennes suivantes :

- EN 253 pour les tubes pré-isolés,
- EN 448 pour les raccords,
- EN 488 pour les vannes,
- EN 489 pour les joints,
- EN 13941 pour la conception et les calculs.

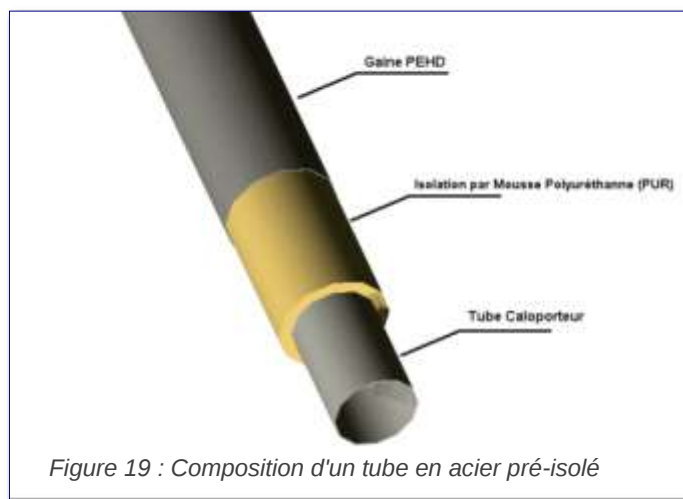


Figure 19 : Composition d'un tube en acier pré-isolé

Les tubes et les accessoires sont certifiés par le CSTB, et admis dans la LISTE VERTE de l'assurance construction. Le référentiel « Certifié CSTB Certified » atteste de la conformité :

- Du tube de service ;
- De la gaine de protection ;
- De l'isolant ;
- Du tuyau pré-isolé ;

- Du système d'assemblage ;
- De la formation du personnel de pose de jonctions ;
- De l'assistance technique.

En termes d'isolation, les tubes sont calorifugés par une mousse polyuréthane rigide bicomposé Polyol et Isocyanate activé au cyclopentane selon la norme EN 253. Le coefficient Lambda de cette mousse est de 0,027 W.m².

Les conditions limites d'utilisation du produit sont garanties jusqu'à 120°C en continu et pour une utilisation ponctuelle à des températures plus élevées.



Figure 20 : Exemple de canalisations utilisées

Comme tout réseau classique, nous mettrons en place des **vannes, purges et vidanges**.

Le positionnement précis des vannes, purges et vidanges sera réalisé en phase projet.

Les vannes de sectionnement seront créées à intervalles réguliers, via des bouches à clés.

La position de ces vannes sera guidée par les paramètres suivants :

- Isoler les parties de réseau en cas de fuite, pour limiter les impacts sur l'alimentation en chaleur des abonnés ;
- Ne vidanger qu'un volume restreint d'eau, en cas d'intervention sur les réseaux (réparation de fuite ou travaux programmés). Ainsi les vannes seront positionnées de sorte à pouvoir isoler un tronçon d'un maximum de 5 abonnés.
- Le débit de fuite maximal aux côtés de la vanne aux standards Coriance.

Les purges et vidanges sont déportées sous trottoir dans des regards de 1 m x 1 m avec une profondeur maximum de 1 m et équipés d'un tampon fonte Φ800 minimum de la classe correspondante au type de voirie sur laquelle ils sont insérés. Les vannes devront être à moins de 40cm du tampon.

Nous mettrons en œuvre autant de purges et vidanges que nécessaire au bon fonctionnement du réseau.

La ligne de purge (en DN 50 minimum et constituée d'éléments de tuyauterie pré-isolés) est reprise sur la génératrice supérieure de la conduite principale et ramenée dans un regard. Elle est munie d'une vanne à boisseau sphérique, et de crosses en acier fileté avec bouchons (« col de cygne ») dirigées vers le bas.

La ligne de vidange (en DN 50 minimum et constituée d'éléments de tuyauterie pré-isolés) est reprise sur la génératrice inférieure de la conduite principale et ramenée dans un regard. Elle est munie d'une vanne à boisseau sphérique, et terminée par une bobine en acier fileté avec raccord type "Guillemin ou DSP" et leurs bouchons.

Détection de fuites

Une attention particulière sera apportée afin de prévenir toute fuite des canalisations enterrées. En effet, tous les réseaux enterrés n'étant par définition pas visibles, il est primordial de localiser rapidement une éventuelle fuite.

C'est pourquoi les nouvelles canalisations que nous prévoyons seront dotées d'un système de détection de fuite. Le système de détection utilise la loi sur la conductivité électrique grâce à deux câbles en cuivre situés dans la mousse isolante.

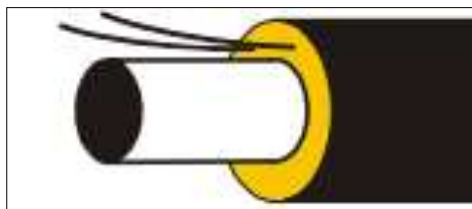


Figure 21 : Schéma du système de détection des fuites au sein d'une canalisation

Lorsqu'une fuite survient, celle-ci est localisée grâce à plusieurs points de mesure de l'impédance. En effet, la conductivité électrique s'accroît avec la teneur en humidité dans la mousse isolante.

Ce système de surveillance est le plus répandu et se caractérise par une grande fiabilité et une attractivité économique aussi bien lors de sa mise en œuvre que lors de son fonctionnement.

De plus, à partir d'une consommation d'eau journalière supérieure ou égale à 25 m³ pendant 5 jours consécutifs des mesures particulières seront mises en place :

- Recherche du secteur fuyard par sectorisation,
- Localisation de la fuite dans le secteur identifié par pré localisation acoustique / traçage à l'hélium / thermographie.

3.5.2. METHODOLOGIE APPLIQUEE AUX TRAVAUX RESEAUX

Travaux de génie civil

Caractéristiques des ouvrages maçonnés

Les caractéristiques des ouvrages seront données par les plans des projets à l'exception des points de purges, de vidanges et sectionnements qui feront l'objet de plans de détails réalisés lors des études d'exécution.

Ces ouvrages de génie civil sont destinés à contenir les canalisations eau chaude qui sont installées en pleine terre ou à l'intérieur d'ouvrages maçonnés comme les chambres de sectionnement, des regards de purge d'air et de vidange. Dans certains cas, les tronçons pourront être réalisés en souterrain (galerie circulaire ou en fer à cheval, micro-tunnels, passages ponctuels sous les obstacles tels qu'égouts, passages souterrains, etc.).

Les ouvrages maçonnés et les galeries comportent tous les 10 à 15 mètres un joint de rupture étanche. Ce joint doit pouvoir supporter les déformations dues à la dilatation ou au retrait (chimique ou thermique) et à la température maxi accidentelle de 210°C sans que l'étanchéité en soit affectée. Il sera de type Waterstop ou similaire.

L'étanchéité sera assurée en particulier à la pénétration des tuyauteries dans les ouvrages maçonnés. Les chambres de sectionnement et de vidange sont réalisées sous chaussée ou trottoir. Elles comporteront des accès implantés sur les trottoirs.

Les vannes de sectionnement seront installées dans la chambre dimensionnée ou encore dans un regard dans le plan projet, de même que les regards de purges d'air ou de vidange, avec accès sous trottoir.

Signalisation du chantier

L'entreprise de génie civil doit assurer la **protection des fouilles** réalisées, notamment par :

- La protection des fouilles sera réalisée par la mise en place de barrières rigides de type « lourde », posées sur plots et maintenues entre elles par la mise en place de menottes,
- La pré signalisation, la signalisation, l'éclairage et l'entourage du chantier autour des tranchées et des emplacements réservés dans les conditions imposées par le Coordinateur SPS seront assurés par l'entreprise.

Enrobés amiantés

Conformément à la circulaire du 15 mai 2013 portant instruction sur la gestion des risques sanitaires liés à l'amiante dans le cas de travaux sur les enrobés amiantés du réseau routier national non concédé ; et au décret n°2012-639 du 4 mai 2012 applicable au 1er juillet 2012, le maître d'ouvrage a pour obligation de faire réaliser, préalablement au démarrage des travaux et avant la délivrance des arrêtés, des analyses sur des prélèvements par carottage.

Investigations complémentaires

Selon la Norme AFNOR NF S 70-003, les réseaux de concessionnaires qui ne sont pas référencés **en classe A** doivent faire l'objet d'investigations complémentaires (intrusives ou non intrusives) qui seront à la charge de CORIANCE.

Exécution des terrassements à ciel ouvert

Les travaux de terrassement à ciel ouvert consisteront à excaver le terrain jusqu'au fond de fouille, à l'abri d'un blindage construit en fonction de la nature du terrain et selon les règles de l'art. Les eaux de ruissellement seront canalisées en surface et ne pénétreront pas dans les fouilles, même en cas d'orage.

Exécution des ouvrages d'accès aux galeries

Les terrassements des ouvrages d'accès verticaux ayant généralement une section rectangulaire sont exécutés par travées blindées au fur et à mesure de l'approfondissement, après pose d'un cadre de tête. En ce qui concerne le terrassement, des cadres métalliques sont posés et soutiennent le blindage jointif. L'entrepreneur étudie, s'il y a lieu, les moyens capables de remettre en compression horizontalement les terrains entourant les ouvrages dans la zone où ceux-ci traversent les remblais et les alluvions.

Exécution des remblais

Les prescriptions techniques du fascicule 70 du cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux s'appliquent intégralement aux travaux de remblaiement des fouilles exécutées pour la réalisation des travaux autorisés sous domaine public.

Le sable utilisé pour l'enrobage des canalisations (y compris le lit de pose) est du sable de rivière de granulométrie 0/4mm de caractéristiques adaptées aux tuyauteries à mettre en place (acier revêtu PEHD, matériau composite, double enveloppe, etc.).

Réfection de la voie publique

Rétablissement provisoire de chaussée après remblai :

Le rétablissement provisoire de la voie sera fait uniquement après le remblaiement de la tranchée.

Réfection définitive de la voie publique :

La réfection définitive a pour objet la remise en état des revêtements et d'une façon générale la reconstitution à l'identique du domaine et de son équipement. L'entreprise titulaire devra par ailleurs respecter un épaulement de 15cm de part et d'autre des tranchées.

Tous les travaux se feront en respectant le règlement de voirie de la zone impactée.

Ouvrages de sectionnement

Les ouvrages de sectionnement seront visitables. Tous les départs seront isolés du tronçon principal par ce type d'ouvrage. Les accès seront positionnés tant que possible sous trottoir.

Travaux de tuyauterie

Prescriptions de pose

Les prescriptions du fabricant des tubes seront scrupuleusement respectées pour la manutention, le stockage, la mise en place et la réalisation du réseau. Tout le personnel assurant la pose devra être agréé par le fabricant des tubes et justifier d'un certificat délivré par celui-ci.

Dans tous les cas, les installations seront contrôlées par le fabricant des tubes avant recouvrement des tranchées. Ce dernier fournira un compte rendu où il indiquera que les installations ont été exécutées conformément à ses prescriptions.

Les valeurs maximales des longueurs droites sont calculées par diamètre pour limiter les contraintes et éliminer les risques de flambage des tubes, il sera mis en place des points fixes, des lyres, ou des compensateurs suivant les prescriptions. Les changements de direction du tracé seront utilisés pour reprendre la dilatation.

Manutention – Stockage - Bardage

Les pièces ainsi que les tuyauteries ne devront subir aucun choc lors des manutentions. On évitera particulièrement les flexions excessives. Il sera pris un soin particulier des extrémités des tubes (Bouchons).

Les tuyauteries seront chargées sur des camions spécialement aménagés et arrimées pendant le transport. Les accessoires, coudes, tés, etc. seront rangés dans des camions et arrimés de façon qu'ils ne puissent se déplacer pendant le transport. En aucun cas la robinetterie ne pourra être déposée sur les tubes.

Les manutentions brutales, les flèches importantes, les ballants, ainsi que tous les contacts avec des pièces métalliques comportant des angles vifs sont à proscrire. Les tuyauteries et accessoires ne devront pas être traînés sur le sol mais portés. Ils ne devront pas être laissés tomber sur le sol. Le déchargement et, d'une manière générale, toute manutention se fera à l'aide de sangles larges (100 mm minimum) ou de crochets munis de protection caoutchouc. L'emploi de câbles ou de chaînes métalliques est strictement prohibé. La manutention des équipements se fera suivant les règles de l'art.

Les tuyauteries (Tuyaux + Raccords) seront déposées sur une aire de stockage (à définir). L'Entrepreneur devra prendre des précautions pour le stockage des tuyaux et raccords sur site, les pièces seront disposées par catégorie et par diamètre hors des terrains inondables. Les extrémités seront bouchonnées (Caps plastique).

Les tuyaux peuvent être descendus directement dans la tranchée ou bardés le long de la fouille : toutefois la génératrice inférieure ne devra pas reposer sur des points durs ou arêtes vives. Les tuyaux peuvent être stockés, génératrice sur génératrice, en remplaçant les protections utilisées lors du transport, leurs extrémités doivent être obturées par des bouchons en matière plastique.

Tous les accessoires seront stockés à l'abri des intempéries. Le gerbage des éléments droits pourra être fait sur une hauteur de 2 m maximum sur sol sec et uni, le calage latéral doit être effectué sur parois continues lisses. En cas de stockage prolongé (plus d'un mois) les éléments seront protégés par des bâches en toile.

Assemblage des tuyauteries

Les tuyaux en acier seront déposés dans le fond de fouille, par des sangles ou tout autre moyen de manutention adéquat, ensuite les éléments seront assemblés. Il ne pourra être utilisé aucun mode de calage autre que les cales en mousse de section 10*10 cm² prévues à cet effet (morceaux de bois, briques, etc.). A chaque arrêt de travail les extrémités des tubes intérieurs seront obturées pour éviter l'introduction de corps étrangers.

Après coupe, les extrémités des tubes seront préparées selon les recommandations de l'institut de soudure.

Les tuyaux et raccords en acier seront assemblés par soudure à l'arc en s'assurant que l'isolant ne risque pas d'être détérioré, une plaque de protection thermique devra éventuellement être utilisée.

Les cadences de pose d'un réseau de chaleur pour un soudeur sont de 6 soudures DN 250 / jour.

Reprise d'isolation et d'étanchéité – pénétrations

- Contrôle visuel : s'assurer que les pièces du réseau ne présentent aucune dégradation et qu'elles ont été correctement mises en place.
- Type de jonction : Les joints seront réalisés conformément aux prescriptions du fabricant des tuyauteries, l'enveloppe extérieure de qualité et résistance identique à celle du tube, ils devront être parfaitement étanches.
- Mise en œuvre : Les jonctions seront faites conformément aux prescriptions du fabricant des tubes.
- Dommages : au cas où l'enveloppe isolante serait endommagée, l'élément défectueux sera remplacé et traité comme un point particulier.
- Traversée de mur lors des pénétrations dans les chambres, les galeries et les bâtiments : Avant le raccordement du réseau avec les parties intérieures, il sera mis en place une bague de traversée (Joint) du mur proprement dite et la capsule (Coiffe) d'étanchéité thermo rétractable provenant du fabricant du tube.
- Pénétrations : les tuyauteries isolées pénétreront à l'intérieur des bâtiments de 30 cm au minimum, si la pénétration se fait horizontalement (pénétration en sous-sol), de 1m par rapport au sol si la sous station se situe au rez-de-chaussée.
- Fin de ligne : une attention particulière sera apportée pour la mise en place de la coiffe d'étanchéité. Une bride + plaque pleine seront installés, suffisamment éloigné des parois afin de permettre le montage – démontage d'une vanne par la suite. Une peinture antirouille + bande DENSO seront mise en place sur les longueurs non pré-calorifugées.

L'entrepreneur aura pris note que les zones de travaux se trouve en zone inondable, par remontée de nappe notamment, et intégrera dans son offre les propositions techniques pour assurer une étanchéité en tout temps de ces canalisations.

Dilatations

Le traitement des points hauts et des points bas sera géré en phase projet (nécessité de faire des profils en long). Le type d'ouvrage sera validé dans cette même phase (ouvrage visitable ou non visitable).

L'Entrepreneur et/ou le fournisseur de tubes transmettra au MOA et/ou au MOE une note de calcul (+ Plans) relative à la dilatation du Réseau de Chaleur : Il sera prévu des baïonnettes, des coudes ou des lyres (voire des compensateurs et des points fixes, sous réserve d'approbation du Maître d'œuvre). Afin de limiter les contraintes des longueurs droites, ces systèmes de compensation seront calculés en fonction des valeurs des efforts maximaux admissibles, et pour des régimes de fonctionnement de 109° C pour les circuits BP. L'exécution des lyres, si cette solution est retenue, sera conforme aux prescriptions.

Les points fixes consistent en un massif de béton armé dont le tube en acier est rendu solidaire par l'intermédiaire d'une bride d'ancrage soudée au milieu du tube caloporteur. La mise en œuvre s'il y en a suivra le déroulement suivant :

- Épreuve hydraulique de la portion concernée du réseau ;

- Mise en place des raccords et de l'isolation par additif ;
- Réalisation du (ou des) massifs en béton armé. Les valeurs des efforts que peuvent encaisser les points fixes seront calculées. Les dimensions minimales des massifs en béton dépendant de la nature et de la configuration du terrain seront déterminées par les services techniques du fabricant des tuyaux et feront l'objet d'un plan. Il est rappelé que, dans tous les cas de figure, ces massifs devront toujours s'ancrer dans un sol non remanié.

Néanmoins lorsque cela est nécessaire, la prise en compte de la dilatation sera évoquée afin de justifier certains changements de direction.

Puisards

Si des purges et/ou des vidanges du réseau sont implantées dans l'ouvrage, celui-ci sera équipé d'un puisard.

Robinetterie pour le réseau

La robinetterie sera constituée de vannes à soupapes ou papillons PN 16 ou PN 25, équipée de brides. Les vannes proposées par le Titulaire devront être agréées par le Maître d'Œuvre. Tout équipement ou accessoire correspondra aux caractéristiques de température et pression du réseau, certificat à l'appui.

Les corps de vannes seront équipés de taquets permettant de verrouiller le volant à l'aide d'un cadenas et d'une chaîne. En fonction du DN, les vannes d'isolement pourront être équipées de démultiplicateur.

Kit de jonction

Deux types de manchons peuvent être utilisés :

- Manchons électro soudables
- Manchons thermo rétractables

Points importants

Les accessoires pré-isolés, tés, courbes type 3D, piquages, réductions seront réalisés par des pièces préfabriquées du commerce et conformes à la Norme en vigueur. La mise en œuvre des tubes devra être conforme aux prescriptions du fabricant, utilisation de coussins de dilatation avec les coudes à 90° (Tous changements de direction), jonctions par kits de jonction permettant de réaliser la continuité de l'isolation.

Pose de la tuyauterie

Les tuyauteries seront posées sur le côté de la tranchée, autant que possible. Il ne sera pas permis de poser les tuyaux avant l'ouverture totale d'un tronçon déterminé de la tranchée, afin d'assurer la continuité des travaux de montage de la tuyauterie.

Les tuyaux ne pourront pas être traînés ni roulés sur le sol, mais devront être déplacés en utilisant des élingues appropriées, de façon à ne pas endommager leur revêtement.

Découpage et cintrage

Les tuyauteries seront découpées, perpendiculairement à l'axe du tuyau, aux dimensions correctes par des moyens mécaniques. Les extrémités qui seront réunies par soudure seront biseautées à un angle de 55-60°.

Les changements de direction inférieurs à 5° pourront être obtenus par biseautage des extrémités de la tuyauterie. Pour des changements de direction plus importants, il faudra utiliser des accessoires spécifiques pré-isolés et biseautés de la taille appropriée.

Assemblage

Les tuyauteries devront être convenablement alignées pour leur montage, en utilisant les dispositifs de calage appropriés dont la fourniture est à la charge de l'émetteur du marché et la pose est à charge de l'entrepreneur.

Les soudures réunissant des sections de conduites déjà enterrées seront effectuées en tranchée, une place suffisante devant être prévue à cet effet.

Garantie de tenue à la corrosion

Le degré d'enrouillement des équipements, des tuyaux et pièces accessoires en acier ou en fonte sera inférieur à Re2 de l'échelle européenne d'enrouillement pendant un délai de dix (10) ans à partir de la date de la réception des installations ou à compter de la date de levée des réserves pour les prestations ayant fait l'objet de réserves lors de la réception.

Ainsi nous effectuerons toutes les réparations ou réfections nécessaires pour remédier aux défauts qui seraient constatés, que ceux-ci proviennent d'une défectuosité des produits ou matériaux employés ou des conditions d'exécution.

Essais et contrôles

Nous éprouverons 100% des soudures effectuées sur nos travaux de réseau par des essais de pression à l'eau.

La Direction Travaux et Ingénierie de Coriance a mis en place des procédures maîtrisées issues de multiples retours d'expériences sur les travaux réseau de tous types :

- Les soudures seront contrôlées visuellement au cours de leur exécution et une fois terminées. L'entrepreneur présentera avant le début des travaux un plan de radiographie (si option choisie) qui devra être approuvé par Le Maître d'Ouvrage ou ses représentants, qui se réservent le droit de modifier ce plan.
- Avant la fermeture des tuyauteries et préalablement à leur mise en service, les canalisations appartenant aussi bien aux réseaux qu'aux raccordements d'alimentation devront être soumises à un test d'étanchéité, afin de garantir l'absence de fuites et la bonne exécution de l'installation.
- Après construction du réseau et avant les travaux d'isolation, l'entrepreneur procédera à l'épreuve hydraulique du réseau suivant le cahier des charges visant les essais COPREC à une pression égale à 1,5 fois la pression maximale de service (soit 24 bars ici pour des canalisations Basse Pression en PN16, ou 37,5

bars pour des canalisations en PN25)., pendant une durée minimum de 24h, puis cas échéant marteler les soudures afin de vérifier qu'elles ne subiront pas de dommages provoqués par les contraintes engendrées par la mise en température du réseau et de dilatation en résultant.

Après validation de l'épreuve hydraulique du réseau, L'Entrepreneur établira un Procès-Verbal d'essais, signé et daté. Ce PV sera impérativement contresigné par CORIANCE ou la MOE, qui auront été avertis 48h à l'avance de la réalisation de l'essai. Sans contre-signature, l'épreuve ne sera pas validée.

Le nettoyage et le rinçage des tuyauteries avant mise en eau définitive sont à la charge de L'Entrepreneur.

Un contrôle au ressuage sera effectué en complément, selon la logique suivante :

Diamètre intérieur de la conduite D en mm	Contrôle au ressuage
D < ou égale à 100	5% des joints soudés
D < ou égal à 200	10% des joints soudés
D > 200	15% des joints soudés

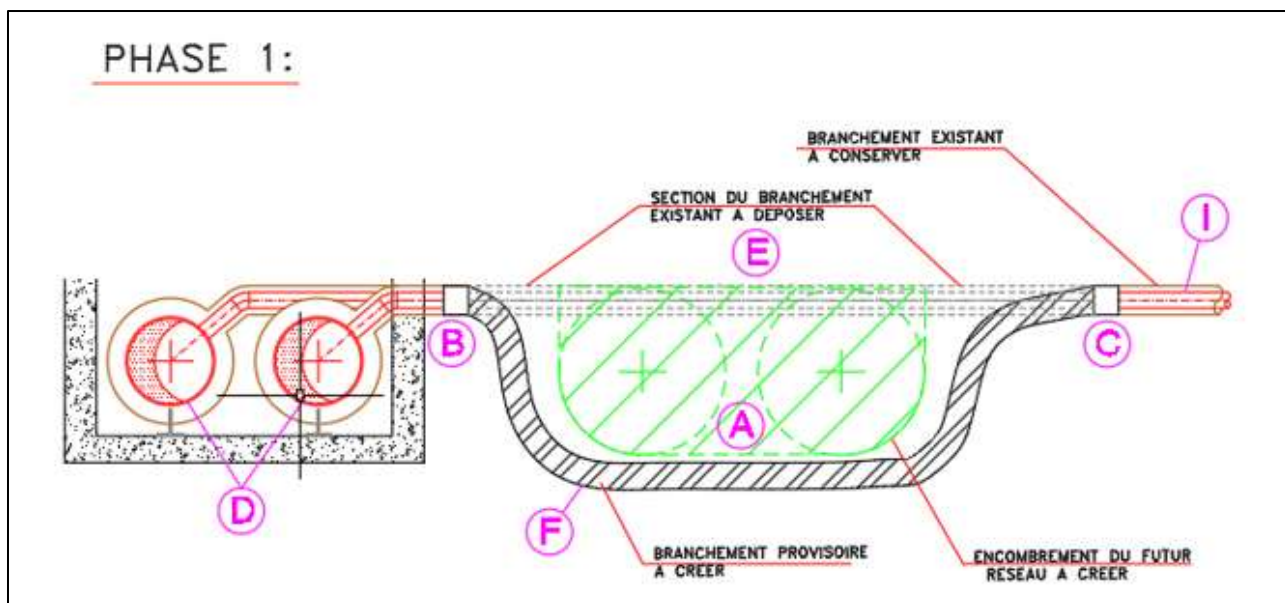
En centre-ville, le contrôle des ressues est porté à 30% des joints soudés quel que soit le diamètre. Le contrôle par ressuage sera accompagné d'une épreuve pneumatique de chaque joint soudé ainsi que d'un contrôle de la compacité par radiographie des soudures implantées au droit d'un ouvrage d'art.

Nous adapterons aussi nos méthodes de contrôle pour les zones difficiles d'accès après mise en œuvre. Ici, les réseaux seront systématiquement soumis à des contrôles radiographiques (de l'ordre de 10%), ce qui sécurisera grandement ces tronçons vis-à-vis de futurs potentiels incidents.

Méthodologie de remplacement

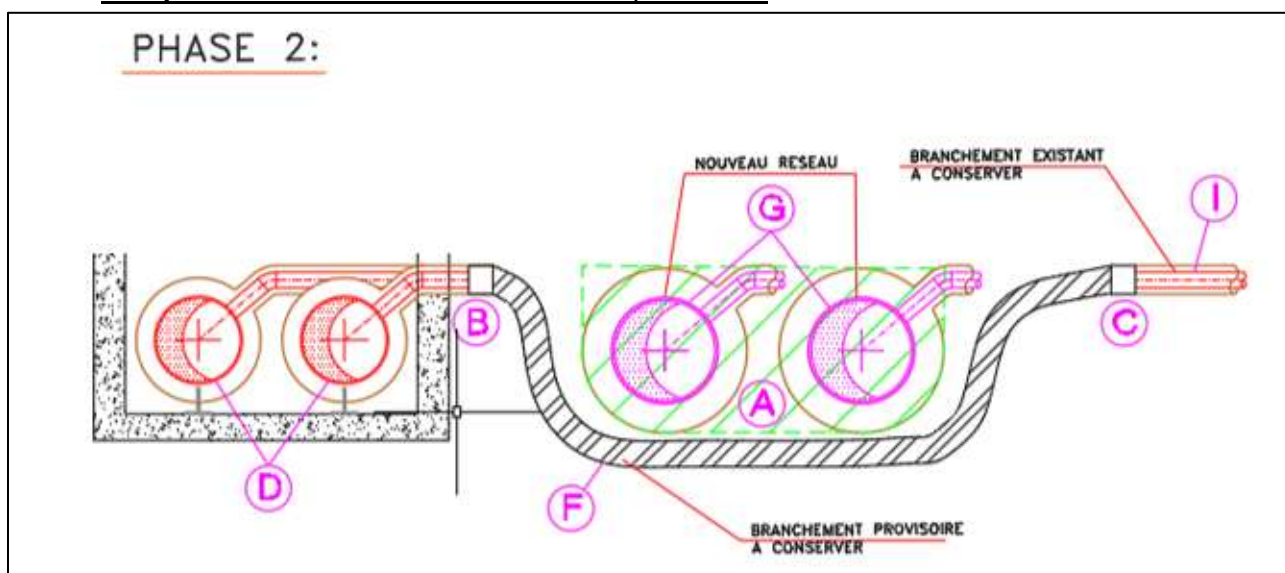
Afin d'assurer la continuité de service, nous privilégierons autant que possible la pose en parallèle des canalisations existantes. La méthodologie ci-après est détaillée pour raccorder un branchement existant aux nouveaux feeders.

1^{ère} phase : En amont des travaux de remplacement



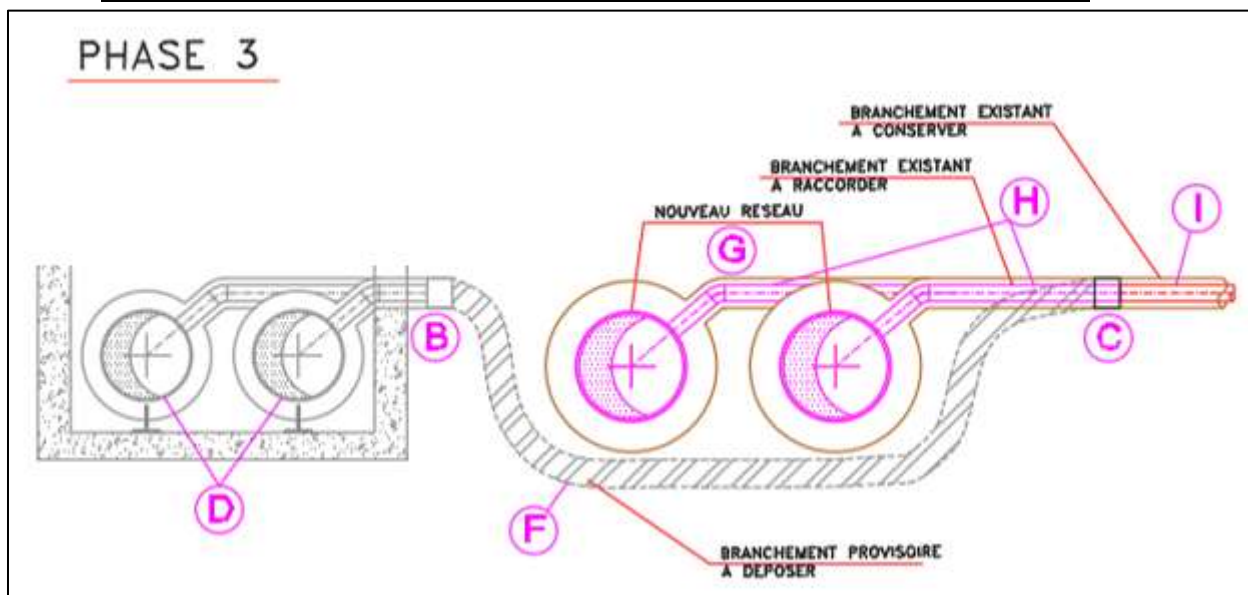
- Terrassement au niveau du branchement en conflit dans la zone d'encombrement des nouvelles conduites (A), entre les points (B) et (C),
- Arrêt et vidange du réseau existant (D),
- Coupure du branchement de part et d'autre de la zone impactée (A) par la pose des nouvelles conduites entre les points (B) et (C),
- Dépose de la manchette en acier (E), entre les points (B) et (C).
- Pose d'un tube provisoire en inox (F), se raccordant sur les deux extrémités du branchement à la place de la manchette déposée (entre les points (B) et (C)), mais en dehors de la zone d'encombrement des nouvelles conduites (A),
- Remise en service du réseau existant (D),
- Remblais de la fouille, ou pose de pont lourd.

2^{ème} phase : Pendant les travaux de remplacement



- Terrassement de la tranchée pour la pose des nouvelles conduites (G),
- Préparation du piquage pour le branchement au niveau de la zone de conflit (A),
- Fouille laissée ouverte à cet endroit ou pose de pont lourd.

3^{ème} phase : Avant le basculement et la mise en service du nouveau réseau



- Arrêt et vidange du réseau existant (D),
- Coupure et dépose du branchement provisoire en inox (F), entre les points (B) et (C),
- Raccordement du branchement existant (I), par manchette définitive en acier (H), entre le piquage prévu sur la nouvelle conduite (G), et le point (C),
- Remise en service du réseau par les nouvelles conduites (G),
- Abandon de l'ancien réseau (D),
- Remblais de la fouille et réfection définitive du terrain naturel.

Gestion d'un front de chantier

1. Principes généraux :

Chaque front de chantier sera composé de 3 postes de travaux : Terrassement, pose de canalisations, et remblaiement.

Plusieurs éléments peuvent influencer la cadence et notamment la ralentir :

- Présence de nombreux réseaux répertoriés et non répertoriés ;
- Surprofondeur (+de 1,80m) ;
- Présence de roche ou terrain ;
- Passage de carrefour.

A l'inverse certaines conditions permettent d'augmenter cette cadence :

- Ligne droite, faible nombre de croisement ;
- Absence de réseau ;
- Faible profondeur.

Les sections suivantes visent à détailler les trois postes du front de chantier.

2. Terrassement :

Le terrassement est la 1^{ère} étape de pose d'un réseau de chauffage urbain (RCU). Il consiste à décaisser le terrain à la profondeur souhaitée pour la pose des tubes du RCU. On y retrouve 3 sous parties :

- Terrassement et réglage du fond de fouille ;
- Découverte des réseaux concessionnaires existants ;
- Pose des blindages dans la tranchée afin de garantir la sécurité des différents intervenants.

Les cadences moyennes sont de 10 ml/jour sur ce poste. Suivant les conditions du front de travaux détaillés ci-dessus, les cadences peuvent évoluer à la baisse ou à la hausse.

Ce sont les cadences de terrassement qui déterminent l'avancement du front, les autres postes (pose de canalisation et remblaiement) s'adaptent, le plus souvent, à la cadence d'ouverture.

Pour ce type d'opération, les moyens humains d'une équipe de terrassement sont :

- 1 chef de chantier (idem à celui du poste de remblaiement) ;
- 1 chauffeur de pelle ;
- 2 conducteurs de camions ;
- 2 terrassiers.

Les moyens matériels sont :

- 1 camionnette ;
- 1 pelle à pneu adapté à la taille de tranchée et l'environnement pour le terrassement ;
- 2 camions pour évacuation des gravats.

Vous trouverez ci-dessous une coupe et une vue du dessus d'un poste de terrassement.

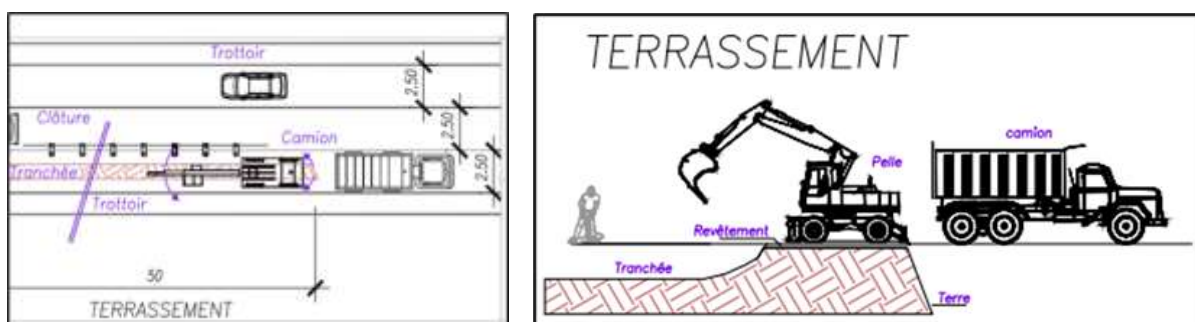


Figure 22 : Vue du dessus d'un poste de terrassement (gauche) et Vue en coupe d'un poste de terrassement (droite)

3. Pose des canalisations :

La deuxième étape est la pose des canalisations de RCU.

La cadence moyenne pour la pose des canalisations est d'environ 50 ml/jour. La présence des canalisateurs s'adapte en fonction de l'avancement du terrassement.

Cette étape est décomposée en 3 sous parties :

- Manutention des tubes dans la tranchée ;
- Préparation et soudure des canalisations ;
- Manchonnage et test du fonctionnement de la détection d'humidité.

Pour réaliser ces différentes étapes, une équipe de pose de canalisations est composée de :

- 1 soudeur ;
- 1 tuyauteur/chef de chantier ;
- 1 conducteur de pelle ;
- 1 manchonneur,

Les moyens matériels seront :

- 1 camionnette ;
- 1 poste à souder ;
- 1 pelle pour la manutention des canalisations.

Vous trouverez ci-dessous une vue de dessus du poste pose des canalisations :

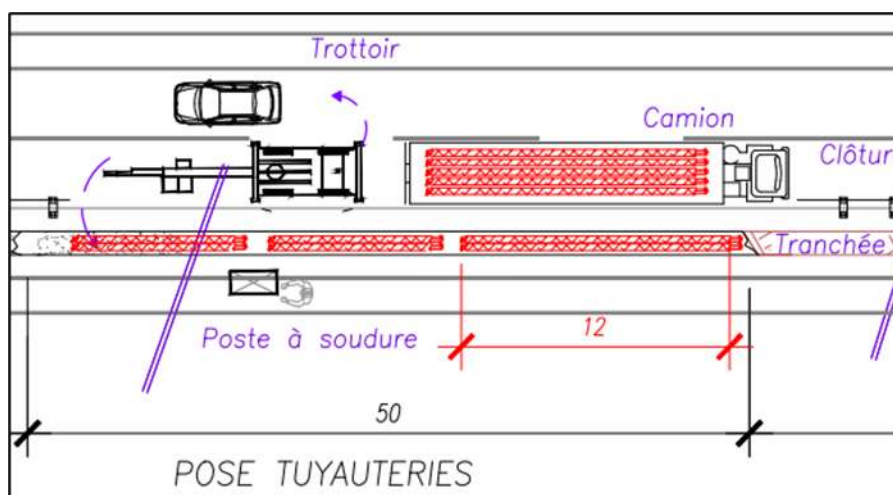


Figure 23 : Vue du dessus d'un poste de pose de canalisations

4. Remblaiement :

Enfin la dernière tâche consiste au remblaiement et à la réfection de la voirie. Celle-ci se décompose en :

- Géolocalisation du réseau de chauffage urbain et des réseaux concessionnaires croisés ;
- Remblaiement en sable sur les différents réseaux et pose des grillages avertisseurs appropriés ;
- Reprise des maçonneries (chambre à vannes, regard ...) ;
- Remblaiement au niveau 0 (couche de forme et structure chaussée) ;
- Réfection de voirie et reprise du marquage au sol.

La réfection provisoire se fait par défaut sauf s'il est possible de mettre en place immédiatement le revêtement de chaussée définitif.

Une fois la réfection de voirie et le marquage au sol réalisés, l'entreprise libère l'emprise travaux.

Le poste de remblaiement avance à un rythme moyen de 20ml/j. Celui-ci est assez constant sauf en cas de très grande profondeur.

Pour ce type d'opération, les moyens humains d'une équipe de remblaiement sont :

- 1 chef de chantier (idem à celui du poste de terrassement)
- 1 chauffeur de pelle
- 2 conducteurs de camions
- 2 terrassiers/maçons

Les moyens matériels sont :

- 1 camionnette
- 1 pelle à pneu adapté à la taille de tranchée et l'environnement pour le remblaiement
- 2 camions pour amener les nouveaux matériaux
- 1 compacteur

Vous trouverez ci-dessous une coupe et une vue du dessus d'un poste de remblaiement.

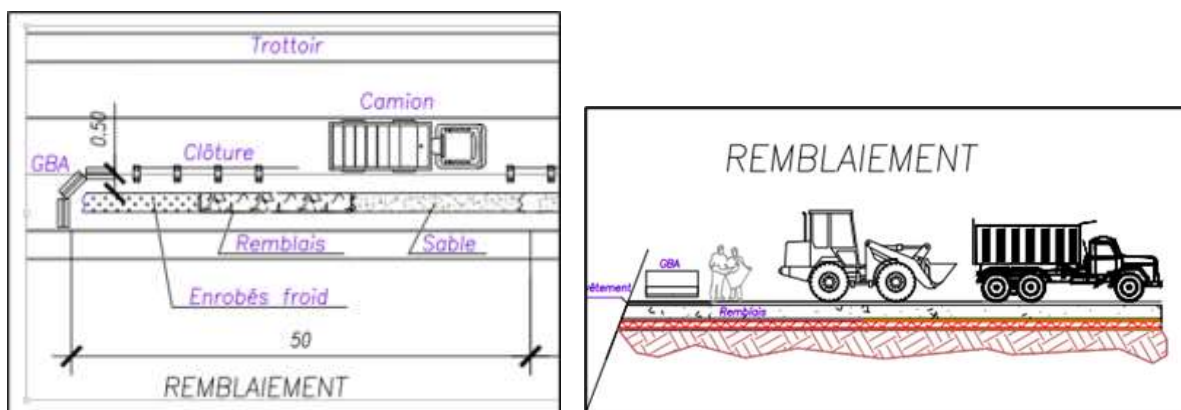


Figure 24 : Vue du dessus d'un poste de remblaiement (gauche) et Vue en coupe d'un poste de remblaiement (droite)

Nous précisons également que tout franchissement de chaussée et de trottoir se feront à l'aide de ponts lourds et de ponts piétons, par système de demi-chaussée, pour qu'à aucun moment le flux des véhicules, des cyclistes et des piétons ne soit arrêté.

5. Longueur de tranchées ouvertes :

Afin de minimiser la longueur totale des tranchées ouvertes, tout en permettant un travail de qualité par les sous-traitants de CORIANCE, chacun s'engage contractuellement sur ses propres cadences d'avancement qui seront ensuite vérifiées, sur place, par les conducteurs de travaux de CORIANCE spécialisés en travaux de réseau.

Avec cette organisation, la longueur théorique minimale d'une tranchée ouverte est de 150 ml, telle que présentée dans le schéma ci-dessous. Néanmoins nous privilégions de travailler sur

des voiries fermées, d'une part pour des raisons de sécurité et d'autre part cela nous permet d'avancer plus rapidement.

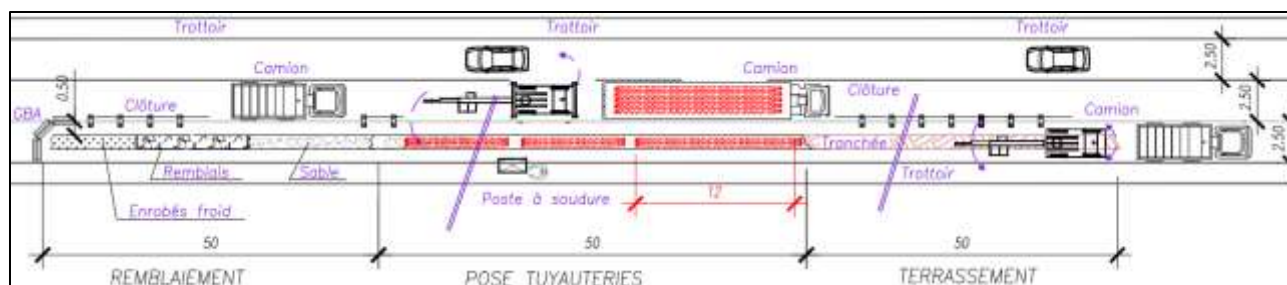


Figure 25 : Vue d'ensemble d'une tranchée ouverte

Afin de permettre une meilleure gestion des flux de matériaux et de tubes, ainsi que le franchissement d'ouvrages spéciaux (sous-sol encombré, traversée de chaussée, ...) la tranchée s'étend en réalité en moyenne sur 200 m de long.

