



*réseaux de chaleur*



ÉTUDE

**Solutions techniques pour optimiser  
les réseaux de chaleur dans un  
contexte de développement de  
bâtiments basse consommation**

**Série Technique**

**RCT 34**

**Mai 2011**



Cette étude a été réalisée par  
INDDIGO pour AMORCE

---

## SOMMAIRE

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>PREAMBULE .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1 DIMINUTION DE LA TEMPERATURE DE RETOUR DU RESEAU DE CHALEUR .....</b>            | <b>5</b>  |
| <b>2 SUR ISOLATION DU RESEAU DE CHALEUR.....</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>3 VARIATION DE TEMPERATURE SUR LE RESEAU DE CHALEUR.....</b>                       | <b>9</b>  |
| <b>4 OPTIMISATION DU POINT DE FONCTIONNEMENT D'UNE POMPE A REGIME FIXE.....</b>       | <b>12</b> |
| <b>5 VARIATION ELECTRONIQUE DE VITESSE (VEV) SUR LES POMPES PRIMAIRE RESEAU .....</b> | <b>14</b> |
| <b>6 MISE EN PLACE D'UNE SOUS STATION COLLECTIVE PERFORMANTE .....</b>                | <b>18</b> |
| <b>7 SOUS STATION PERFORMANTE DANS UN IMMEUBLE DE LOGEMENTS .....</b>                 | <b>20</b> |
| <b>8 SOLAIRE THERMIQUE CENTRALISE.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>9 RELEVÉ DE TEMPERATURE EN SOUS STATION .....</b>                                  | <b>28</b> |
| <b>10 OPTIMISATION DU TRACE DU RESEAU .....</b>                                       | <b>29</b> |
| <b>11 BALLON D'HYDRO ACCUMULATION .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>12 STOCKAGE TAMPON GRANDE CAPACITE .....</b>                                       | <b>32</b> |
| <b>13 FONCTIONNEMENT DU RESEAU TOUTE L'ANNEE .....</b>                                | <b>33</b> |
| <b>14 INCITATIONS TARIFAIRES .....</b>  | <b>33</b> |

**Rédaction : bureau d'études INDDIGO – Frédéric COLEE ; Sophie MOUSSEAU**

Relecture et coordination : AMORCE – Emmanuel GOY

*Révision fiche 2 - 31 mai 2012*

---

## PREAMBULE

---

### CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE

L'argument selon lequel le développement des réseaux de chaleur ne serait plus pertinent compte tenu de la baisse des consommations d'énergie est souvent avancé pour écarter – a priori - cette solution dans les projets d'aménagement.

Pour étayer cette question, et éviter que des a priori guident des choix structurants à long terme dans les projets d'aménagement des collectivités, AMORCE a publié une étude sur les conditions dans lesquelles le développement des réseaux de chaleur est possible pour alimenter des bâtiments basse consommation<sup>1</sup>. Elle apporte de nombreux éléments sur le jeu d'acteurs, la prise en compte des réseaux de chaleur dans la réglementation thermique et les implications pour les promoteurs notamment, ainsi que des pistes de travail pour les collectivités, aménageurs et exploitants.

La pertinence technico-économique des réseaux d'énergie (chaleur, mais aussi gaz et électricité) étant directement liée au poids des investissements au regard des quantités d'énergie qui les traversent, AMORCE a missionné - pour compléter l'étude précédente - le bureau d'études INDDIGO pour répertorier les différentes solutions permettant d'améliorer la performance technique et économique des réseaux de chaleur, dans un contexte de diminution de leur densité énergétique.

Le présent document décrit ces solutions avec leurs avantages et inconvénients, limites de pertinence et apporte des éléments chiffrés sur leur rentabilité économique.

Les solutions présentées et leurs impacts montrent que des marges de progrès important s'offrent aujourd'hui pour optimiser la distribution de chaleur en réseau, et que cette optimisation passera de manière générale par la baisse des températures utilisées, qui implique de repenser les façons de travailler pour les exploitants des réseaux mais aussi – et surtout – pour les professionnels du bâtiment qui doivent aussi généraliser la basse température pour le chauffage des locaux.

La baisse des températures, en plus de diminuer sensiblement les pertes de chaleur dans les canalisations, permet de plus de mieux s'adapter à certaines énergies renouvelables et de récupération encore peu valorisées sur les réseaux de chaleur comme le solaire thermique par exemple.

---

<sup>1</sup> Référence RCE12 – réseaux de chaleur et bâtiments basse consommation : l'équation impossible ? – mai 2011

## HYPOTHESES ECONOMIQUES : PRIX DE L'ENERGIE

Les calculs économiques sont établis sur la base d'un prix moyen de l'énergie fournie de 60 €/HT/MWh. Ce prix comprend la part abonnement (R2) et la part consommation (R1). La répartition entre ces deux termes est estimée à :

- \* R1 = 65% (soit un coût brut de l'énergie de 39 €/HT/MWh)
- \* R2 = 35% (soit un coût d'abonnement de 21 €/HT ramené au MWh)

Ces valeurs sont issues de l'enquête « prix de vente de la chaleur en 2009 » menée par AMORCE.

Certaines des actions présentées ont une incidence (totale ou partielle) sur le dimensionnement de l'installation, donc sur tout ou partie du R2 (investissement moindre, diminution du gros entretien renouvellement, baisse partielle de postes entretien / maintenance).

Cependant nous prendrons dans nos calculs un coût d'énergie uniquement lié à l'achat de combustible (P1), soit R1 = 39 €/HT/mWh.

Autres hypothèses ? (densité, longueurs...)

## ABREVIATIONS UTILISEES

|            |   |
|------------|---|
| CEE        | Certificat d'Economie d'Energie   |
| DJU        | Degré Jour Unifié   |
| ECS        | Eau Chaude Sanitaire  |
| EnR        | Energie(s) Renouvelable(s)  |
| EnRR       | Energies renouvelables et de récupération   |
| KWh EF     | KWh d'énergie finale  |
| kWh EP     | kWh d'énergie primaire  |
| P1, P2, P3 | Options des contrats d'exploitation des équipements de chauffage ; P1 : fourniture du combustible, P2 : entretien courant (type de contrat le plus répandu), P3 : gros entretien comprenant le remplacement des équipements |
| PCI        | Pouvoir Calorifique Inférieur   |
| PCS        | Pouvoir Calorifique Supérieur   |
| PUR        | Mousse de Polyuréthane (constituant généralement l'isolation des canalisations préisolées)  |
| RSI        | Retour Sur Investissement   |
| VEV        | Variation électronique de vitesse   |
| VS         | Vide Sanitaire  |

# 1 DIMINUTION DE LA TEMPERATURE DE RETOUR DU RESEAU DE CHALEUR

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

Remarques / limites d'application : nécessite des réseaux secondaires compatibles (maîtrise des choix techniques de production d'ECS et de distribution de chauffage dans les bâtiments raccordés)

| Action n°1   |  | Diminution de la température de retour du réseau de chaleur  |
|--|--|--|
| <b>Principaux avantages</b>  |  | <b>Inconvénient</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution de la taille du réseau de chaleur</li> <li>• Diminution des pertes thermiques</li> <li>• Economie financière importante</li> </ul> <p>Autres avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diminution du coût des pompes et autres auxiliaires (investissement, entretien et consommations d'électricité)</li> </ul>  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite de mettre en place des actions complémentaires qui garantiront un retour de température bas.</li> <li>• Implique que les bâtiments reliés disposent d'émetteurs basse température (radiateurs basse température ou plancher chauffant) ou puissent être chauffés en basse température (rénovation thermique performante sans modifier les émetteurs)</li> </ul> |
| <b>Description</b>   |  |  |
| <p>L'enjeu est de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour obtenir une baisse effective de température. Pour ce faire, se reporter aux fiches 3, 6 et 8 qui présentent les actions à développer pour tenir au plus bas la température de retour du réseau.</p>  |  |  |
| <p><b>Hypothèses - Choix des régimes de température</b></p> <p><b>En référence</b>, nous considérons un régime primaire de température de réseau de 90°C / 70°C.</p> <p><b>Régime optimisé :</b></p> <p>Le choix d'un régime de température optimisé dépend de plusieurs critères :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>× Le critère le plus important est l'écart de température entre l'aller et le retour (<math>\Delta T</math>) ; le dimensionnement de la canalisation en dépend directement. En d'autres termes un réseau de chaleur en <math>\Delta T=40^\circ\text{C}</math> véhiculera autant de quantité d'énergie qu'un réseau en <math>\Delta T=20^\circ\text{C}</math> tout en ayant des sections de canalisations deux fois moindre.</li> <li>× Un deuxième critère est la température moyenne du réseau de chaleur. Plus cette température est basse, plus les pertes thermiques des canalisations sont faibles.</li> <li>× S'ajoute à cela des critères de compatibilité techniques : la température aller ne doit pas être trop élevée pour être compatible avec les limites de température du réseau et avec la température maximale générée par la chaudière.</li> <li>× Autre compatibilité technique nécessaire et essentielle : le régime de température primaire (réseau de chaleur) doit être cohérent avec tous les régimes de température secondaire (dans les bâtiments raccordés).</li> </ul> <p>Dans cette fiche, la comparaison s'effectuera avec un réseau dont le régime de température primaire est <b>75°C / 33°C</b>. Ceci implique donc en premier lieu que le régime de chauffage au secondaire soit de type « basse température » (40°C / 30°C). Le départ primaire est cependant maintenu en moyenne à 75°C (variable de 80 à 65°C ; voir action 3) pour permettre la production d'eau chaude sanitaire à 60°C.</p> <p><b>Coût de l'énergie :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>× Coût de l'énergie issue du réseau : 39 €/HT/MWh utile (poste R1 uniquement)</li> </ul> <p><b>caractéristiques du réseau de référence :</b> réseau acier calorifugé</p> |  |  |

## Détail des résultats

**Côté performance : 50% de pertes thermiques évitées.** L'optimisation du régime de température a un double effet sur les pertes thermiques :

- grâce à la diminution possible du diamètre du réseau les déperditions baissent de 17% en moyenne.
- la diminution de la température du réseau permet de faire baisser d'environ 33% les pertes thermiques.

La conjugaison de ces deux effets permet d'obtenir un réseau deux fois plus performant.

### **D'un point de vue économique**

**Diminution de la taille du réseau = 15% d'investissement évité.** L'optimisation du régime de température permet de transporter autant d'énergie dans un réseau de moindre diamètre. Le gain à l'investissement est de l'ordre de 15%.

**Forte incidence économique due à la performance thermique.** Sur la base d'un coût de l'énergie de 39€HT/MWh, l'économie annuelle dégagée est de 5 à 11 €HT par mètre de réseau (=1 mètre de tranchée + 2 tubes) :

| DN             | économie annuelle |
|----------------|-------------------|
| mm             | €HT/ml            |
| 25             | 5                 |
| 32             | 7                 |
| 50             | 6                 |
| 65             | 5                 |
| 80             | 7                 |
| 100            | 9                 |
| 125            | 9                 |
| 150            | 10                |
| 200            | 11                |
| <b>moyenne</b> | <b>8</b>          |

Cumulé sur la durée de vie conventionnelle du réseau (35 ans), **l'économie engendrée atteint en moyenne 70% du montant d'investissement du réseau** (hors subventions et à coût d'énergie constant).

**Conclusion** : cette action est primordiale.

Le réseau est deux fois plus performant thermiquement si cette action est mise en place.

L'économie financière engendrée est importante et pourra être utilisée dans les actions qu'il faudra nécessairement mettre en place pour garantir un régime de température (75-33°C) performant.

## 2 SUR ISOLATION DU RESEAU DE CHALEUR

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

Nota : avant toutes choses, l'isolation des échangeurs en sous station est à privilégier.

Dans le cas de température de retour réseau faible (33°C – voir fiche 1) il serait préférable de ne sur-isoler que l'aller

| Action n°2   |       | Sur isolation du réseau de chaleur |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
|--|-------|------------------------------------|---|------|--------|------------|--|--|--|--|--|----------|----|----|-------------------|---|---|-----------|----|----|----------------------|------|---|---------------|----|----|----------------------|-----|--------|-------------------|-------|--------|--|--|--|---------------------|------|--------------------|--|--|--|
| Principaux avantages   |       |                                    | Inconvénient  |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution des pertes thermiques (-18%)</li> <li>• Bonne rentabilité économique : le temps de retour moyen est de 8,2 ans (sans subvention)</li> </ul>  |       |                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Surcoût d'investissement (limité en cas de subvention du réseau)</li> <li>• implique une consommation d'énergie grise importante</li> <li>• Délai d'approvisionnement de chantier plus long</li> </ul> |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| Description  |       |                                    |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| <b>Cas d'un réseau de chaleur pré-isolé enterré</b>  |       |                                    |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| Le principe de la sur isolation est d'augmenter l'épaisseur d'isolant de telle sorte que le diamètre extérieur de la canalisation corresponde au diamètre directement supérieur dans la gamme.   |       |                                    |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| <b>hypothèses</b>  |       |                                    |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>× La simulation été réalisée sur des canalisations préisolées en acier rigide.</li> </ul>   |       |                                    |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| Le régime de température primaire considéré est 75 – 33°C  |       |                                    |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">hypothèses</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T° aller</td> <td>75</td> <td>°C</td> <td>profondeur réseau</td> <td>1</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>T° retour</td> <td>33</td> <td>°C</td> <td>écartement des tubes</td> <td>0,15</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>T° moy du sol</td> <td>10</td> <td>°C</td> <td><math>\lambda</math> sol humide</td> <td>1,5</td> <td>W/(mK)</td> </tr> <tr> <td><math>\lambda</math> isolant</td> <td>0,027</td> <td>W/(mK)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>énergie grise PUR :</td> <td>1000</td> <td>kWh/m<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |       |                                    |   |      |        | hypothèses |  |  |  |  |  | T° aller | 75 | °C | profondeur réseau | 1 | m | T° retour | 33 | °C | écartement des tubes | 0,15 | m | T° moy du sol | 10 | °C | $\lambda$ sol humide | 1,5 | W/(mK) | $\lambda$ isolant | 0,027 | W/(mK) |  |  |  | énergie grise PUR : | 1000 | kWh/m <sup>3</sup> |  |  |  |
| hypothèses   |       |                                    |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| T° aller   | 75    | °C                                 | profondeur réseau   | 1    | m      |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| T° retour  | 33    | °C                                 | écartement des tubes  | 0,15 | m      |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| T° moy du sol  | 10    | °C                                 | $\lambda$ sol humide  | 1,5  | W/(mK) |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| $\lambda$ isolant  | 0,027 | W/(mK)                             |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| énergie grise PUR :  | 1000  | kWh/m <sup>3</sup>                 |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>× Coût de l'énergie véhiculée par le réseau : 39 €HT/MWh utile sortie chaufferie</li> <li>× Energie grise de l'isolant polyuréthane (PUR) : 1000 kWh/m<sup>3</sup></li> <li>× Débit considéré moyen dans chaque gamme de diamètre</li> </ul>  |       |                                    |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |
|    |       |                                    |   |      |        |            |  |  |  |  |  |          |    |    |                   |   |   |           |    |    |                      |      |   |               |    |    |                      |     |        |                   |       |        |  |  |  |                     |      |                    |  |  |  |

## Détail des résultats

### Données économiques

| DN                           | diam ext tube acier | coût réseau par paire de tuyau |               |        | gain énergie due à la sur isolation | gain économique due à la sur isolation | temps de retour sur investissement (années) |                         |  |
|------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------|--------|-------------------------------------|--|---|-------------------------|--|
|                              |                     | isolation standard             | sur isolation | surcôt |                                     |  | sans subvention                             | avec 60% de subventions |  |
| mm                           | mm                  | €HT/ml                         | €HT/ml        | €HT/ml | kWh/ml/an                           | €HT/ml/an                              |   |                         |  |
| 25                           | 33,7                | 80                             | 94            | 14     | 21                                  | 0,83 €                                 | 16,8  | 6,7                     |  |
| 32                           | 42,4                | 86                             | 96            | 10     | 15                                  | 0,57 €                                 | 17,4  | 7,0                     |  |
| 50                           | 60,3                | 88                             | 95            | 7      | 21                                  | 0,82 €                                 | 8,5   | 3,4                     |  |
| 65                           | 76,1                | 98                             | 110           | 12     | 32                                  | 1,26 €                                 | 9,5   | 3,8                     |  |
| 80                           | 88,9                | 110                            | 123           | 13     | 31                                  | 1,19 €                                 | 10,9  | 4,4                     |  |
| 100                          | 114,3               | 130                            | 148           | 18     | 32                                  | 1,27 €                                 | 14,2  | 5,7                     |  |
| 125                          | 133                 | 155                            | 177           | 22     | 87                                  | 3,38 €                                 | 6,5   | 2,6                     |  |
| 125                          | 139,7               | 155                            | 177           | 22     | 39                                  | 1,50 €                                 | 14,6  | 5,9                     |  |
| 150                          | 168                 | 185                            | 212           | 27     | 52                                  | 2,01 €                                 | 13,4  | 5,4                     |  |
| 200                          | 219,1               | 210                            | 244           | 34     | 64                                  | 2,49 €                                 | 13,6  | 5,5                     |  |
| <b>temps de retour moyen</b> |                     |                                |               |        |                                     |  | <b>12,6</b>                                 | <b>5,0</b>              |  |

Remarque : les coûts des réseaux sur isolés restent compatibles avec les plafonds d'aide au tuyau du fonds chaleur (le surcoût est donc aidé).

### Données techniques

| Débit considéré pour une vitesse moyenne de 1m/s | DN  | valeur par paire de tuyau      |                                |                                     |            | énergie grise PUR nécessaire | temps de retour énergie grise | % de perte réseau classique pour 1 branche de 200 ml | % de perte réseau surisolé pour 1 branche de 200 ml |
|--|-----|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------|------------------------------|-------------------------------|--|---|
|  |     | perte énergie réseau classique | perte énergie réseau sur isolé | gain énergie due à la sur isolation |            |                              |                               |  |   |
| m3/h   | mm  | kWh/ml/an                      | kWh/ml/an                      | kWh/ml/an                           | %          | kWh/ml                       | années                        | %  | %   |
| 2,39   | 25  | 127                            | 105                            | 21                                  | 17%        | 5,9                          | 0,3                           | 21,7%  | 18,0%   |
| 3,91   | 32  | 129                            | 114                            | 15                                  | 11%        | 5,3                          | 0,4                           | 13,5%  | 12,0%   |
| 8,40   | 50  | 165                            | 144                            | 21                                  | 13%        | 6,0                          | 0,3                           | 8,0%   | 7,0%  |
| 13,97  | 65  | 193                            | 160                            | 32                                  | 17%        | 9,0                          | 0,3                           | 5,6%   | 4,7%  |
| 19,24  | 80  | 198                            | 168                            | 31                                  | 15%        | 10,3                         | 0,3                           | 4,2%   | 3,6%  |
| 29,42  | 100 | 206                            | 174                            | 32                                  | 16%        | 15,8                         | 0,5                           | 2,9%   | 2,4%  |
| 44,18  | 125 | 271                            | 185                            | 87                                  | 32%        | 33,7                         | 0,4                           | 2,5%   | 1,7%  |
| 49,04  | 130 | 237                            | 199                            | 39                                  | 16%        | 18,0                         | 0,5                           | 2,0%   | 1,7%  |
| 63,62  | 150 | 276                            | 225                            | 52                                  | 19%        | 22,8                         | 0,4                           | 1,8%   | 1,4%  |
| 121,50   | 200 | 301                            | 237                            | 64                                  | 21%        | 39,7                         | 0,6                           | 1,0%   | 0,8%  |
| <b>moyenne :</b>                                 |     |                                |                                |                                     | <b>18%</b> |                              | <b>0,4</b>                    |  |   |

Malgré un isolant présentant un mauvais bilan en énergie grise, la sur-isolation présente une pertinence énergétique très importante puisque l'économie engendrée est supérieure à l'énergie nécessaire à la fabrication de l'isolant en moins de 4 à 6 mois selon les diamètres. Ce résultat traduit la forte densité énergétique qui transite dans les tuyaux. Les 2 colonnes de droite mettent en évidence les niveaux de pertes sur une longueur de 200 mètres avec ou sans sur-isolation (les 2 premières lignes sont théoriques car elles correspondent à des puissances thermiques véhiculées de seulement 10 à 30 kW, ce qui est peu pertinent sur un telle longueur).

**Cas d'un réseau à régime de température « classique » :** pour un réseau avec régime primaire 90 / 70°C, la sur isolation est encore plus efficace avec un temps de retour de l'ordre de 5 ans (hors subventions).

**Cas d'un réseau en eau surchauffée ou vapeur :** la sur isolation du réseau sera encore plus pertinente puisque les pertes thermiques sont plus élevées. Ce type de réseau étant souvent installé en caniveau technique, l'isolant peut de plus être de type laine minérale (photo page précédente), moins cher (et moins énergivore lors de sa fabrication) ou mis en place par injection (voir point suivant).

**Cas d'un réseau de chaleur existant en caniveau :** à étudier au cas par cas. A noter que cette action est éligible à CEE sur la base de l'opération standardisée RES-CH-02 « Injection de mousse isolante dans un caniveau de réseau de chaleur » qui devrait être élargie à d'autres modes d'isolation.

### 3 VARIATION DE TEMPERATURE SUR LE RESEAU DE CHALEUR

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

Remarques sur le domaine / les limites d'application

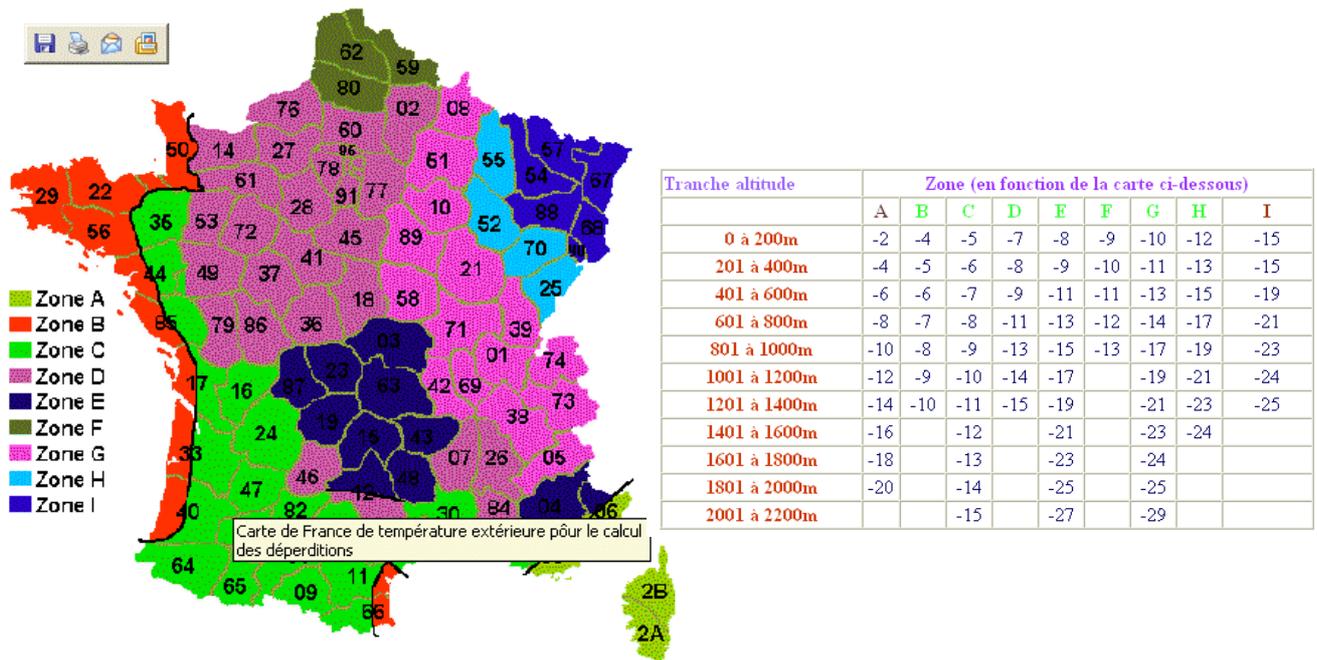
Adaptations nécessaires chez les abonnés ayant besoin d'une température constante

Le réseau de chaleur doit être équipé d'un bus de communication

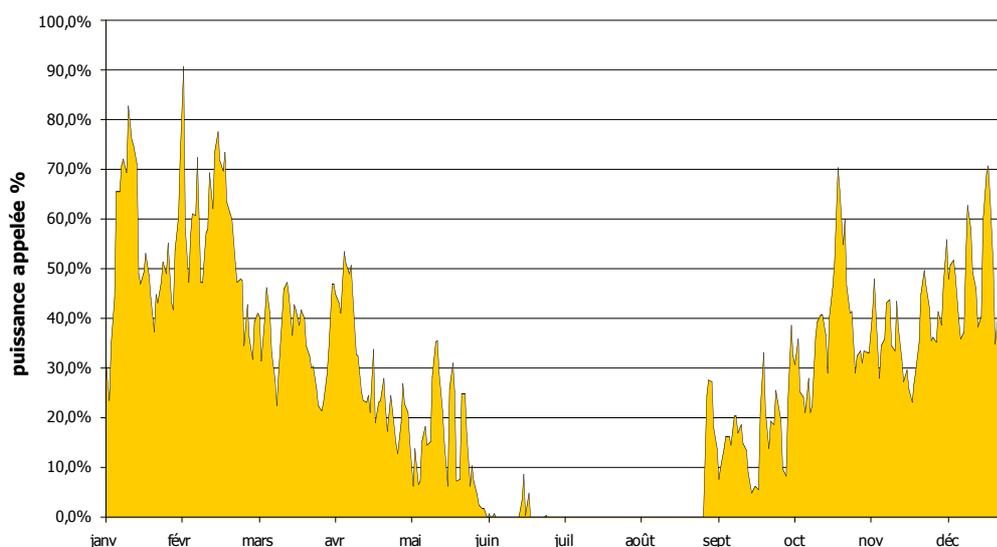
| Action n°3   |  | Variation de température sur le réseau de chaleur   |  |
|--|--|---|--|
| Principaux avantages   |  | Inconvénient  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution des pertes thermiques du réseau</li> <li>• Temps de retour sur investissement très faible</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans le cas d'un abonné disposant d'un circuit à température constante, il est nécessaire de lui prévoir un système de relèvement de température spécifique (voir action 8)</li> </ul> |  |

#### Description

Un réseau de chaleur est dimensionné de telle sorte qu'il fournisse la quantité d'énergie suffisante aux bâtiments raccordés pour une « température extérieure de base » donnée. Celle-ci est fixée par la réglementation thermique et dépend de la zone climatique et de l'altitude du lieu.



Or, pendant la grande majorité de la saison de chauffe, la température extérieure n'atteint pas la Text de base. La température de départ du réseau peut alors être abaissée. L'exemple ci-après de courbe d'appel de puissance (directement issue des températures extérieures moyennes journalières du site) illustre parfaitement le constat suivant : le départ du réseau de chaleur n'a quasiment jamais besoin d'être à la température nominale fixée par la Text de base.



**Précaution** : la température de départ du réseau doit être suffisante (65°C) pour pouvoir produire l'eau chaude sanitaire (à 60°C) dans les sous stations. La baisse de température du départ réseau doit donc être limitée.

#### Hypothèses de calcul

- × Régime de température du réseau de chaleur : 80 / 33°C.
- × Limitation basse de la variation de température de départ : 65°C.

#### Détail des résultats

##### Données techniques

|         | régime<br>80/33 | régime<br>65/33 |                |
|---------|-----------------|-----------------|----------------|
|         | déperdition     |                 | gain théorique |
| DN (mm) | W/m             | W/m             | %              |
| 25      | 15,45           | 12,96           | <b>16,1%</b>   |
| 32      | 15,81           | 13,26           | <b>16,1%</b>   |
| 50      | 20,33           | 17,05           | <b>16,1%</b>   |
| 65      | 23,97           | 20,11           | <b>16,1%</b>   |
| 80      | 24,75           | 20,76           | <b>16,1%</b>   |
| 100     | 25,93           | 21,75           | <b>16,1%</b>   |
| 125     | 34,53           | 28,96           | <b>16,1%</b>   |
| 125     | 30,15           | 25,29           | <b>16,1%</b>   |
| 150     | 35,56           | 29,82           | <b>16,1%</b>   |
| 200     | 39,07           | 32,77           | <b>16,1%</b>   |

**Quel que soit le diamètre, la baisse de température départ réseau de 80 à 65°C apporte une diminution de 16 % des pertes thermiques du réseau.**

En analysant les températures moyennes journalières, on constate que la température du réseau peut être abaissée à 65°C la majorité du temps.

|                           | janvier      | fevrier | mars  | avril | mai   | juin  | juillet | août  | sept  | oct   | nov   | déc   |
|---------------------------|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| gain théorique maxi       | 16,1%        | 16,1%   | 16,1% | 16,1% | 16,1% | 16,1% | 16,1%   | 16,1% | 16,1% | 16,1% | 16,1% | 16,1% |
| %temps ou T° départ =65°C | 74%          | 75%     | 100%  | 97%   | 100%  | 100%  | 100%    | 100%  | 100%  | 100%  | 100%  | 90%   |
| gain pondéré              | 12%          | 12%     | 16%   | 16%   | 16%   | 16%   | 16%     | 16%   | 16%   | 16%   | 16%   | 15%   |
| <b>gain moyen :</b>       | <b>15,3%</b> |         |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |

Pour exemple, à Grenoble sur l'année 2008, la mise en place d'une variation de température aurait apporté un gain moyen sur les pertes de 15,3%.

Dans le cas d'un réseau de chaleur dont le départ est à 100°C (contre 80°C dans le cas précédent), la variation de température permettrait de diminuer les pertes thermiques réseau de 25-30%.

### **Données économiques**

Le temps de retour sur investissement de cette action est très faible (de 3 ans à moins de 1 an selon la taille du réseau)

## 4 OPTIMISATION DU POINT DE FONCTIONNEMENT D'UNE POMPE A REGIME FIXE

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

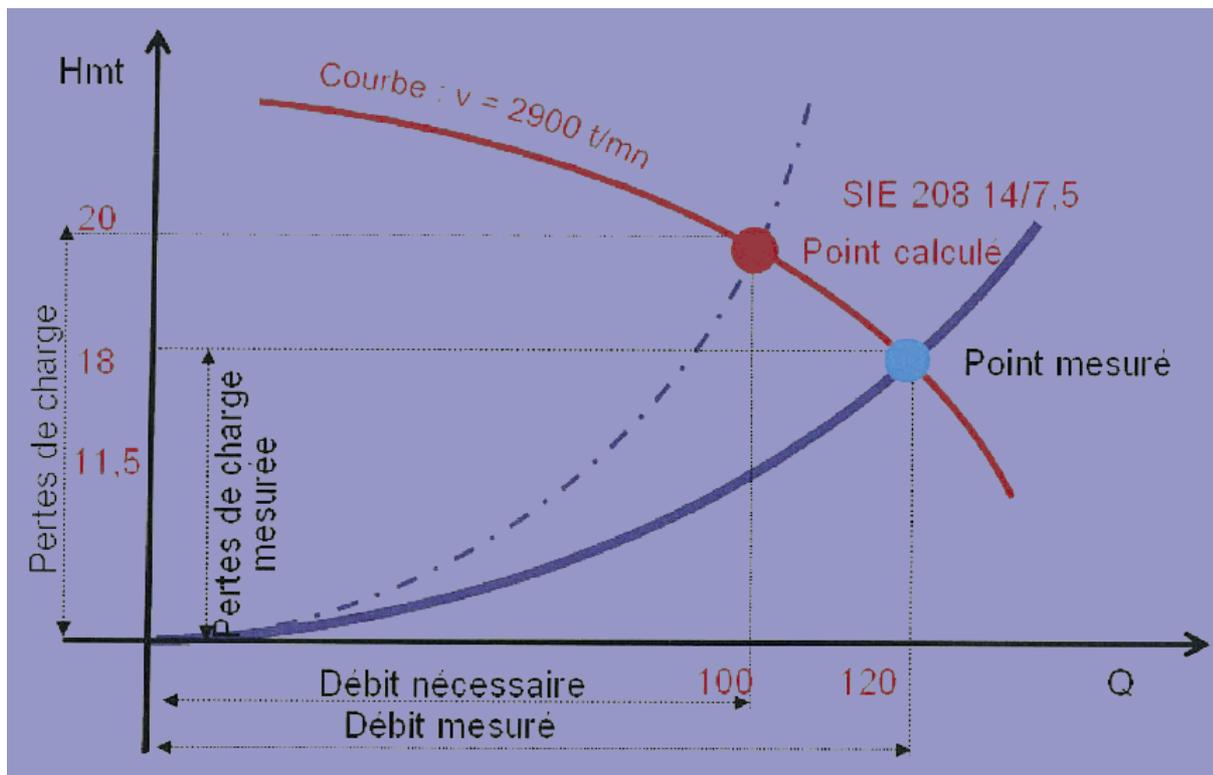
Remarques sur le domaine / les limites d'application

| Action n°4   | Optimisation du point de fonctionnement d'une pompe à régime fixe   |  |
|--|---|--|
| Avantages  | Inconvénient/ précautions   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution des consommations électriques</li> <li>• Temps de retour immédiat</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite un redimensionnement précis en phase EXE</li> <li>• Va à l'encontre des habitudes</li> </ul> |  |

### Description

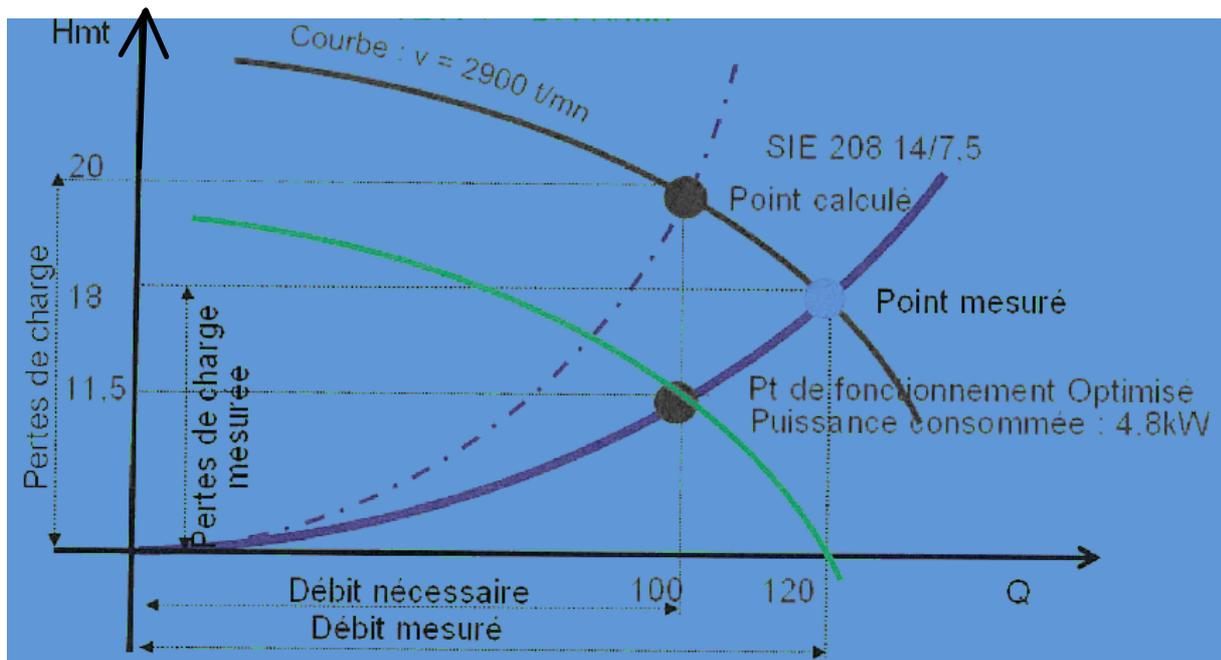
#### Principe de dimensionnement

Le choix d'une pompe de chauffage, conduit souvent à un surdimensionnement de l'installation, par rapport aux besoins réels du réseau. En effet, par mesure de sécurité ou par la méthode de dimensionnement même, les pertes de charge calculées sont couramment surévaluées par rapport aux pertes de charge réelles de ce réseau. La figure suivante présente, dans le plan Q : débit en m<sup>3</sup>/h, H : hauteur manométrique (en mètres de colonne d'eau), le point de fonctionnement calculé et le point de fonctionnement réel mesuré.



*Exemple de surdimensionnement d'une pompe*

La courbe du réseau est la courbe bleue, la courbe de la pompe est la courbe rouge. Le point de fonctionnement se trouve à l'intersection des deux courbes. La solution couramment utilisée pour se ramener au débit nécessaire au bon fonctionnement de l'installation, est de fermer une vanne afin de créer des pertes de charge supplémentaires sur le réseau et ainsi de ramener le « point mesuré » au même endroit que le « point calculé ». Graphiquement, la courbe bleue est redressée, jusqu'à se confondre avec la courbe en pointillés.



*Optimisation du point de fonctionnement et réduction de la consommation électrique*

Un dimensionnement correct doit amener à sélectionner une pompe dont la courbe de fonctionnement est représentée en vert

**Gains**

La puissance absorbée par une pompe variant comme le cube de la vitesse, l'optimisation du dimensionnement va donc dégager des économies sensibles d'électricité :

| Réduction de vitesse | Réduction de puissance |
|----------------------|------------------------|
| <b>10%</b>           | <b>27%</b>             |
| <b>25%</b>           | <b>58%</b>             |
| <b>50%</b>           | <b>88%</b>             |

Une solution alternative est de mettre en place une pompe avec Variateur électronique de vitesse (VEV) (voir fiche action n°5). En effet, cela permet d'optimiser automatiquement le point de fonctionnement de la pompe (même à débit fixe la VEV permet de réduire la consommation électrique).

**La crainte de l'encrassement du réseau n'est plus justifiée :** L'habitude du surdimensionnement des pompes peut provenir en partie de la prise en compte du risque d'encrassement des canalisations dans le temps. Or aujourd'hui, les systèmes existent pour éviter l'encrassement et le vieillissement prématuré du réseau (traitement d'eau et pot à boue magnétique).

## 5 VARIATION ELECTRONIQUE DE VITESSE (VEV) SUR LES POMPES PRIMAIRE RESEAU

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

Remarques sur le domaine / les limites d'application

Les sous stations doivent être équipées de vannes deux voies motorisées

| Action n°5  | Variation électronique de vitesse (VEV) sur les pompes primaire réseau   |  |
|---|--|--|
| Avantages   | Inconvénient   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forte diminution des consommations électriques</li> <li>• Temps de retour très faible</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• limite d'application mentionnée ci-dessus</li> <li>• mesure de pression à la sous station en bout de réseau à installer, avec retour d'information à la chaufferie (donc système de communication obligatoire)</li> </ul> |  |

### Description

#### Préambule

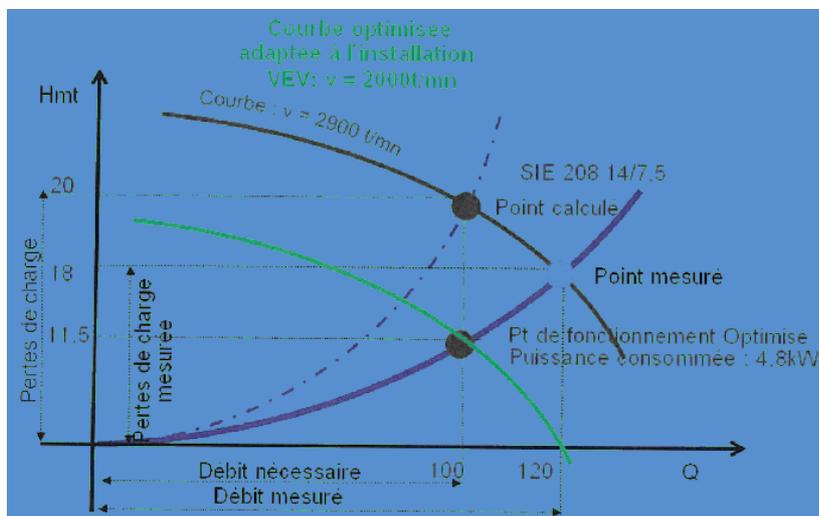
Un réseau de chaleur peut fonctionner la majorité du temps à débit variable (en fonction des appels de puissance de chaque sous stations) alors que les pompes qui l'alimentent sont généralement entraînées par des moteurs électriques qui tournent à vitesse constante. La régulation du débit est assurée par des systèmes mécaniques (vannes) qui dissipent une grande partie de l'énergie mécanique excédentaire fournie par le moteur.

Ce gaspillage peut être évité en couplant le moteur de la pompe à un variateur électronique (VEV) qui ajustera sa vitesse de rotation en fonction du débit souhaité.

Les pompes de réseau de chaleur ont une durée de fonctionnement largement supérieure à 4000 heures/an et un potentiel de variation de charge important (supérieur à 10%) ; par conséquent elles sont des cibles privilégiées pour la mise en place de VEV.

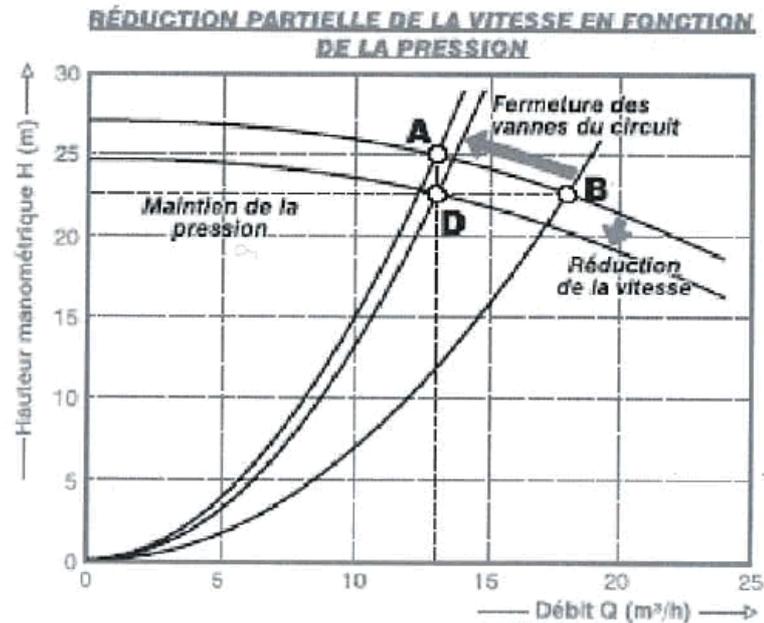
#### Principe technique

Le premier avantage de la mise en place d'un variateur électronique de vitesse est l'optimisation automatique du point de fonctionnement de la pompe. En effet, le dispositif de variation de vitesse permet d'abaisser la vitesse de la pompe, de manière à ce que la courbe caractéristique de la pompe et la courbe du réseau, dont on n'a pas augmenté les pertes de charge, se coupent en un point de fonctionnement dont le débit est égal au débit nécessaire calculé. La courbe suivante présente graphiquement l'optimisation du point de fonctionnement, due à la variation de vitesse.



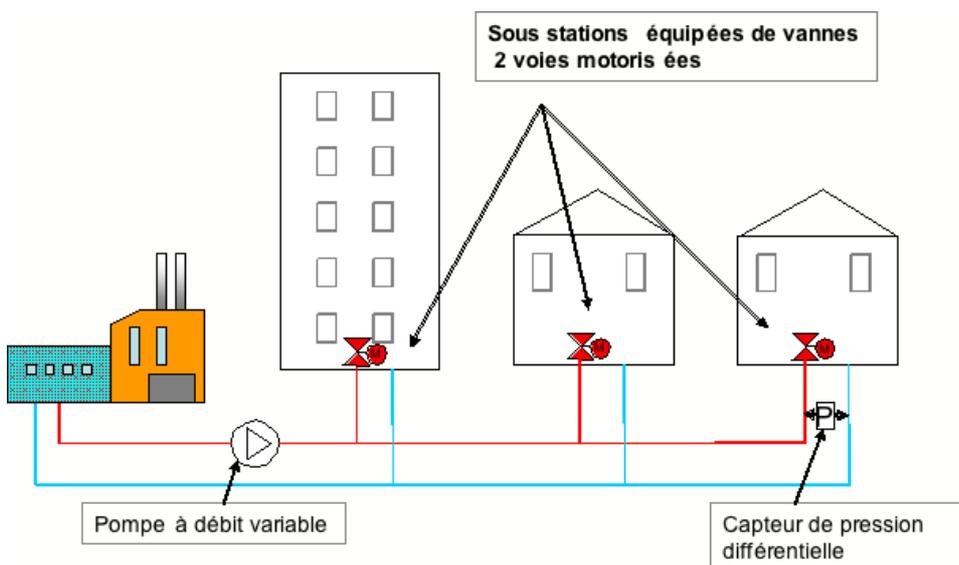
### Réduction de vitesse à pression constante

La pompe diminue sa vitesse de rotation afin de maintenir une pression constante en un point déterminé du réseau. Cette solution est efficace et doit s'envisager avec des sous stations équipées de vannes 2 voies motorisés. **Un capteur de pression différentielle** est nécessaire (au niveau de la sous station la plus défavorisée hydrauliquement). Il est relié à la chaufferie par un **bus de communication**. Le variateur électronique reçoit cette donnée et adapte la vitesse de la pompe pour maintenir une pression différentielle fixe (généralement comprise entre 1 et 1.5 bar). La pompe passe du point de fonctionnement B au point D.



Régulation de la pompe VEV en mode pression différentielle constante

Le principe de réduction de vitesse à pression constante est très bien adapté aux réseaux de chaleur car compatibles avec la logique déterminante d'avoir des retours les plus froids possibles (grâce à la mise en place de vannes deux voies plutôt que des vannes trois voies). Autre avantage de ce système : l'auto équilibrage du réseau (pas de combinaison de vannes trois voies avec des vannes d'équilibrage)



### **option : Ralenti automatique**

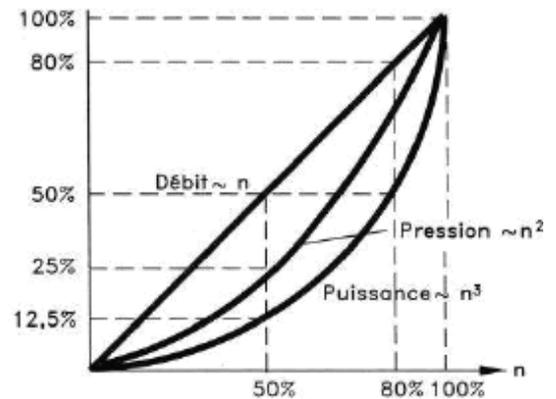
Cette fonction permettrait de réaliser jusqu'à 25% d'économies supplémentaires par rapport à un fonctionnement à pression différentielle constante. Lorsque le réseau atteint une certaine température basse (la nuit par exemple), le circulateur tourne à une vitesse réduite, jusqu'à une nouvelle élévation de température. Cette fonction est disponible de base sur les pompes VEV.

#### **Gains**

La puissance absorbée par une pompe variant comme le cube de la vitesse, le VEV va donc dégager des économies sensibles d'électricité :

Si la vitesse double, le débit double. La perte de charge est quadruple car la pression est une fonction quadratique du débit : Pour véhiculer le fluide dans le réseau, il faut 4 fois plus de couple.

La puissance est le résultat du produit du couple et de la vitesse. La variation de puissance est au cube de la vitesse.



| Réduction de vitesse | Réduction de puissance |
|----------------------|------------------------|
| 10%                  | 27%                    |
| 25%                  | 58%                    |
| 50%                  | 88%                    |

La mise en place d'un VEV permet souvent de remplacer un entraînement par poulie et courroie ou par chaîne et engrenage, dont le rendement de transmission se situe entre 95 et 99% tant que la charge est supérieure à 80% et qui baisse quand la vitesse diminue, par un entraînement direct dont le rendement de transmission est de 100%. Cette amélioration amplifie les gains obtenus par le VEV.

#### **Précautions**

Il est important de s'assurer (dans le cas d'une installation existante) que la pompe va pouvoir fonctionner dans toute la plage de variation de vitesse prévue sans subir d'échauffement excessif qui réduirait sa durée de vie.

Le risque de sur-échauffement conduit dans certains cas à envisager l'installation d'une ventilation supplémentaire du moteur.

Le VEV est un générateur structurel d'harmoniques qui vont se propager sur le réseau interne de la chaufferie et sur le réseau de distribution publique d'électricité. Une première solution consiste à modifier la conception du réseau en chaufferie et la répartition des charges. En veillant, d'une part, à alimenter les VEV à partir d'un point où la tension est la plus élevée ; d'autre part, à alimenter les VEV à partir de départs spécifiques, séparés de ceux qui alimentent les charges susceptibles d'être polluées.

Une deuxième solution est le filtrage des harmoniques produites. Les dispositifs les plus courants et les moins chers sont les filtres passifs.

## RETOUR D'EXPERIENCE SUR UN RESEAU EXISTANT :

### Descriptif succinct du réseau de chaleur :

La chaufferie, mise en service dans les années 90, est équipée de 2 chaudières biomasse de puissance unitaire de 2.5 MW, et d'une chaudière gaz de 4 MW. Le réseau de chaleur est basse pression avec une température max de 105°C, d'une longueur de 4 km, fourni 15 000 MWh/an aux usagers du réseau représentant une puissance souscrite de 12 000 kW environ, soit 1400 équivalent logement.

### Les Pompes primaires

| Repère | Marque<br>Année | Type | Débit<br>(m³/h) | H.M.T.<br>(mCE) | Vitesse de<br>rotation<br>(t/mn) | Marque<br>Puissance<br>(kW) | Variateur<br>Année |
|--------|-----------------|------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| I      | SALMSON<br>2001 | -    | 330             | 51              | 1500                             | 75                          | Aucun              |
| II     | SALMSON<br>2001 | -    | 330             | 51              | 1500                             | 75                          | oui                |



**Pompes primaires 1 et 2**

### Commentaires :

Les pompes sont en parallèles sur un collecteur commun de départ réseau. La pompe n°2, couplée à un variateur de vitesse (mis en service en 2004) est la pompe par défaut, la pompe n°1 fonctionne en secours.

### Installation d'un variateur électronique de vitesse

Investissement (2004) : 7500 €HT

Les consommations électriques annuelles sont passées de 640 MWh à 350 MWh soit **une baisse de 45%**.

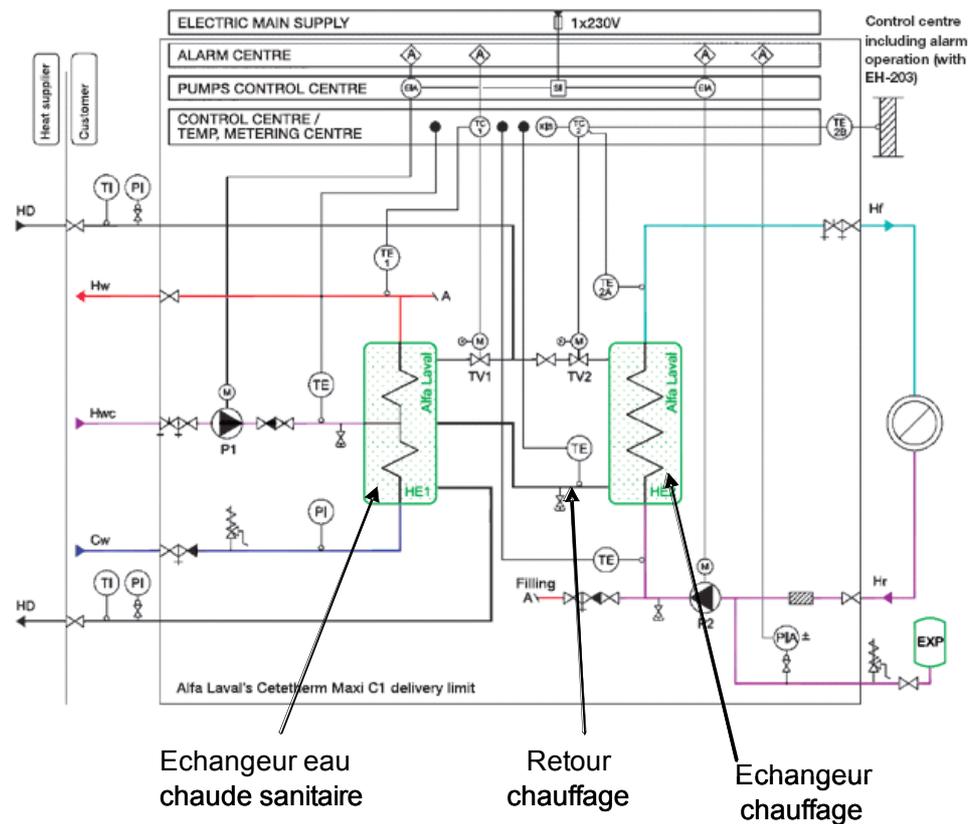
Le gain sur la facture annuelle électrique a été de 7800 €HT. **Temps de retour inférieur à 1 an.**

## 6 MISE EN PLACE D'UNE SOUS STATION COLLECTIVE PERFORMANTE

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

Remarques sur le domaine / les limites d'application  
Réseau eau chaude Basse Température

| Action n°6  | Mise en place d'une sous-station collective performante   |  |
|---|---|--|
| Avantages   | Inconvénients   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• abaisser au maximum la température de retour du réseau et ainsi limiter les déperditions</li> <li>• augmentation du <math>\Delta T</math> primaire donc diminution de la taille du réseau</li> <li>• pas de surcoût important</li> <li>• action compatible pour un bâtiment existant</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu adapté pour les bâtiments tertiaires ou autres bâtiments à faibles besoins en ECS.</li> <li>• Elargi le rôle de l'exploitant en le rendant responsable de la production d'ECS</li> </ul> |  |
| Description   |   |  |
| <p>L'optimisation des performances de la sous-station repose sur plusieurs principes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limiter l'écart de température entre le retour primaire et le retour secondaire en imposant <b>un pincement de 3°C</b> maximum. Cette exigence fait notamment partie de la norme suédoise (F101) qui décrit la conception et le dimensionnement des sous-stations de chauffage urbain.</li> </ul>   |   |  |
| <p style="text-align: center;"><math>\Delta T = 3K</math></p>   |   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en œuvre de préférence des <b>sous stations préfabriquées</b> garantissant un bon niveau de performance</li> <li>• En régime primaire basse température, opter pour des <b>échangeurs à plaques brasées</b> (plutôt que des échangeurs à plaques et joints) moins chers à l'investissement mais aussi en coût global.</li> <li>• En cas de besoins d'eau chaude sanitaire importants, mettre à minima un système de double échangeur (chauffage et eau chaude sanitaire)</li> </ul> |   |  |



Exemple de sous station collective à double échangeur - Source : Alfa Laval

- Cette configuration de double échangeur consiste à placer l'échangeur eau chaude sanitaire sur le retour du chauffage, ce qui permet de bénéficier d'un préchauffage de l'ECS par récupération d'énergie sur le retour chauffage et également d'abaisser la température de retour du réseau de chaleur.

#### Données économiques :

Dans le cas de mise en place de sous station préfabriquées en usine équipées d'échangeurs à plaques brasées, il n'y a pas de surcoût.

## 7 SOUS STATION PERFORMANTE DANS UN IMMEUBLE DE LOGEMENTS

- ☑ réseau neuf
- ☑ réseau existant
- ☑ extension à partir d'un réseau existant

Remarques sur le domaine / les limites d'application

Valable uniquement pour :

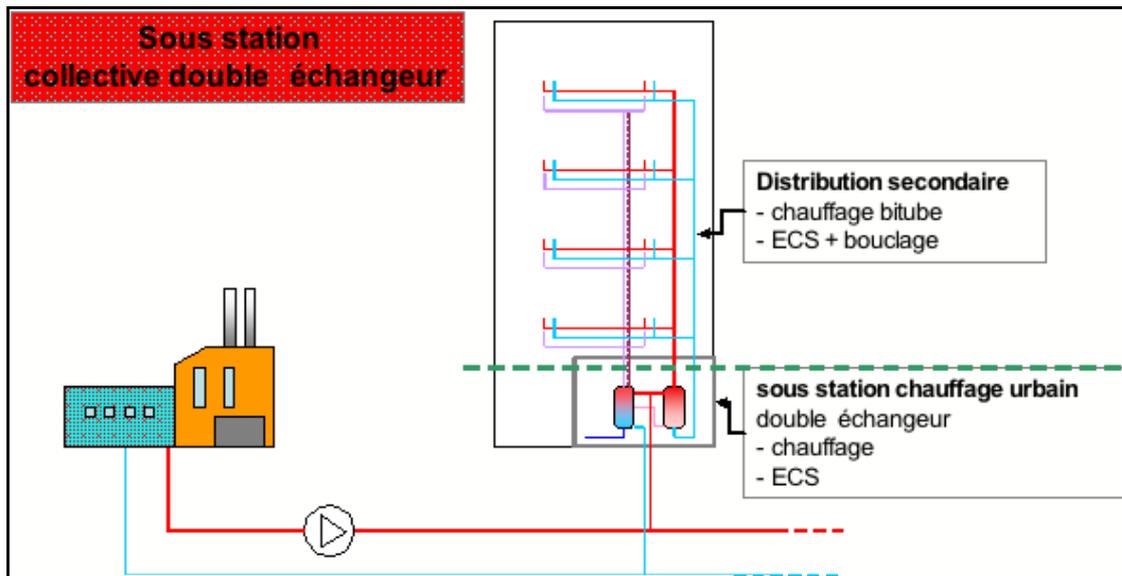
- un immeuble neuf
- une rénovation lourde d'un immeuble existant

| Action n°7   | Sous station performante dans un immeuble de logements   |               |
|--|--|---------------|
|  | Avantages  | Inconvénients |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recherche de la solution la plus performante globalement à l'échelle du bâtiment (vis-à-vis de la RT 2012)</li> <li>• Fort intérêt économique global</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Difficulté de planification / sensibilisation</b> : les bons choix de distribution dans les bâtiments doivent être pris en amont. Ceci implique donc de sensibiliser tous les acteurs (promoteurs, bailleurs,...) car la performance du réseau dépend en partie de leurs choix.</li> </ul> |               |
| Description  |  |               |
| <p>La performance globale d'un réseau de chaleur urbain ne dépend pas que des équipements collectifs mais aussi du mode de distribution dans les immeubles raccordés (au secondaire).</p> <p>Pour un immeuble de logements, plusieurs solutions de raccordement à un réseau de chaleur sont possibles.</p> <p>L'analyse comparative ci-dessous présente quatre types de sous stations possibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cas 1 : sous station collective classique avec un seul échangeur et un système de production d'ECS collectif indépendant.</b></li> </ul> <div data-bbox="242 1263 1401 1872" data-label="Diagram"> </div> <p>Dans cette configuration, la sous station de chauffage urbain est constituée d'un seul échangeur fournissant à l'utilisateur de l'énergie calorifique. Côté secondaire, l'énergie calorifique est utilisée pour alimenter les départs des circuits chauffage et le départ vers la production ECS.</p> <p>Le choix d'une production d'ECS collective de ce type engendre trois inconvénients majeurs :</p> |  |               |

- **Température de retour plus élevée** : la production d'ECS n'est pas optimisée pour assurer un retour le plus froid possible vers le réseau de chaleur,
- **Fort surcoût d'investissement indirect** (à cause de la mauvaise performance de distribution de l'ECS due à la mise en place d'un réseau de distribution et de bouclage de l'ECS). Pour respecter la réglementation thermique, il sera nécessaire de mettre en œuvre des solutions plus performantes sur le bâti (triple vitrage, sur-isolation des murs par exemple) ou sur les systèmes (ventilation double flux par exemple) qui nécessiteront des investissements élevés.
- **surcoût d'investissement direct** pour la distribution et le bouclage ECS

A noter que ces inconvénients sont caractéristiques de l'ECS collective et non spécifiques aux réseaux de chaleur : avec une chaudière gaz en pied d'immeuble produisant l'ECS, on retrouve les mêmes difficultés.

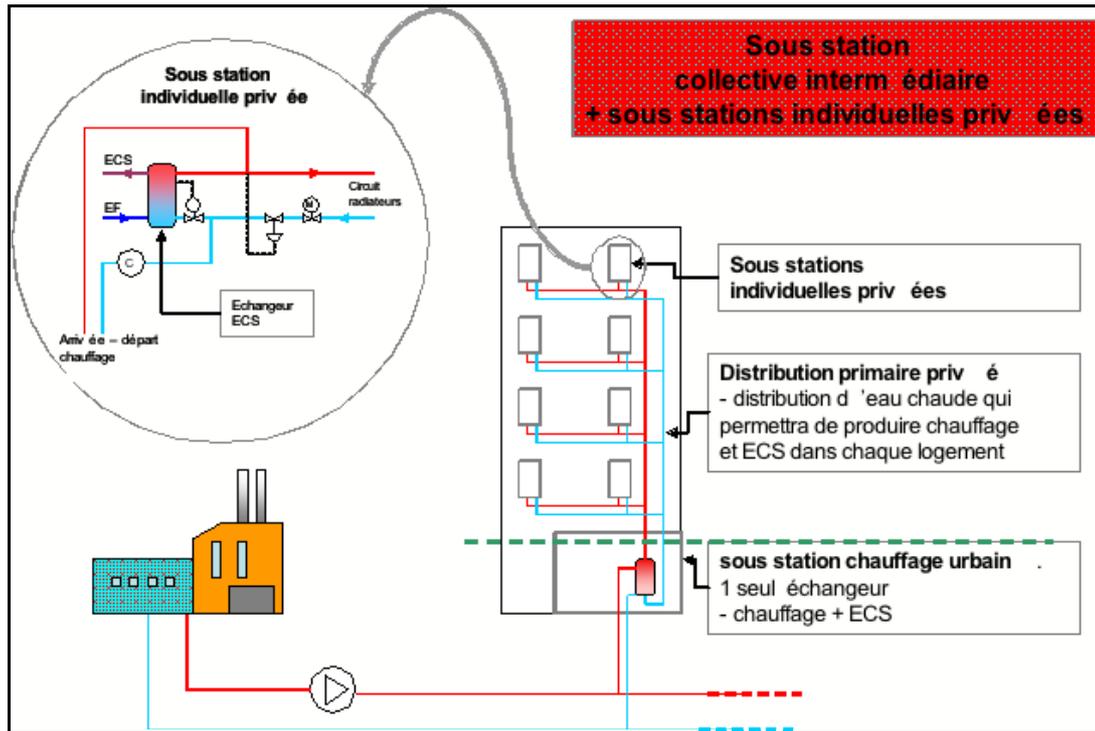
- **Cas 2 : sous station double échangeur (il s'agit de la configuration développée dans la fiche précédente)**



Dans ce cas, la production d'ECS est gérée par un échangeur à plaques indépendant faisant partie de l'installation de sous station de chauffage urbain. L'échangeur ECS est à double étage, c'est-à-dire que l'eau froide potable est en premier lieu réchauffée par le retour des circuits chauffage. Ce système permet de garantir une température de retour vers le réseau la plus basse possible.

Par contre, comme dans le cas 1, les deux inconvénients majeurs de surcoûts directs et indirects sont toujours présents.

• **Cas 3 : sous station collective intermédiaire et mini sous stations privées dans chaque logement**



Le principe de fonctionnement du cas 3 est le suivant :

La sous station de chauffage urbain est constituée d'un seul échangeur qui alimente les départs secondaires de chauffage.

On trouve dans chaque logement une sous station individuelle, raccordée au circuit de chauffage.

Cette sous station individuelle n'est composée que d'un seul échangeur pour produire l'eau chaude sanitaire. Le circuit radiateurs du logement est quand à lui branché en direct.

Malgré le coût d'investissement supplémentaire que cela engendre, les avantages de mise en place d'une sous station individuelle sont nombreux :

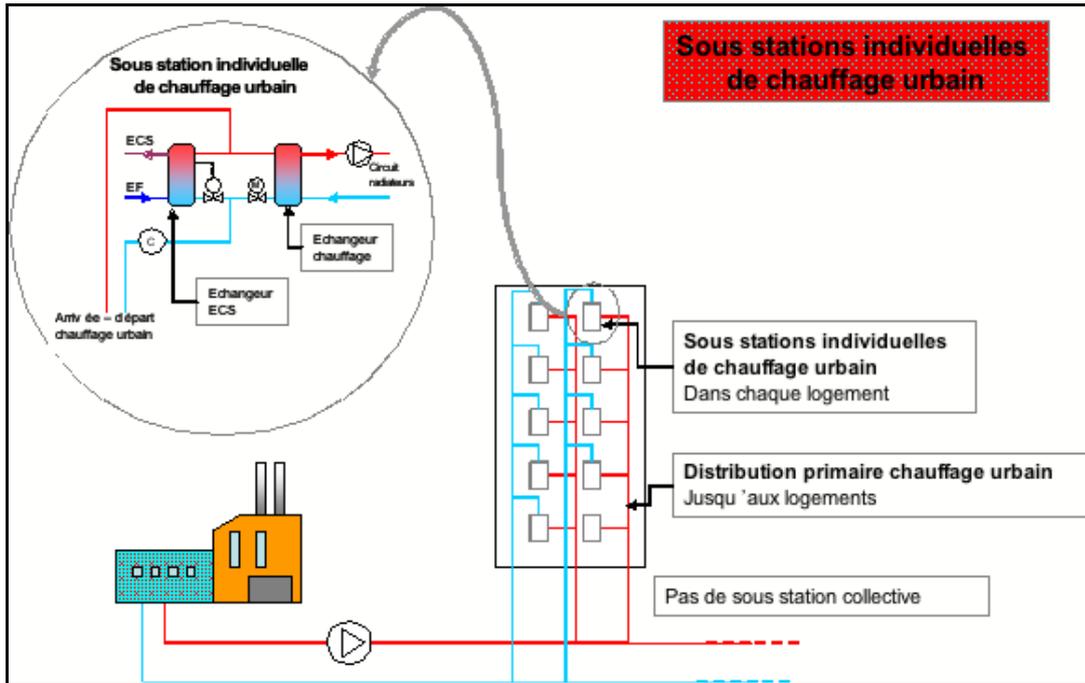
- la conception de la sous station permet un retour de température le plus bas possible
- la production ECS se fait dans chaque logement à proximité des utilisations finales ; le rendement de distribution est donc très bon ce qui permet de respecter plus facilement la future réglementation thermique sans mettre en œuvre des procédés aux coûts indirects importants (sur-isolation, double flux...). A l'échelle globale du bâtiment, la mise en place de sous stations individuelles de ce type a un effet économique positif.
- la possibilité de comptage est simplifiée : un seul compteur par logement permet de comptabiliser l'énergie calorifique du chauffage et de l'eau chaude sanitaire
- le coût d'entretien de chaque sous station est faible : pas de pompes, pas d'organe électronique de régulation

Par contre, il faut que le choix de mise en œuvre de sous stations individuelles soit pris par le maître d'ouvrage du bâtiment dès la phase de conception.

**Commentaire :** nous préconisons que les sous stations soient mises en place à l'intérieur des logements (sous la responsabilité des occupants) plutôt qu'en gaine palière et ceci pour deux raisons principales :

- meilleure efficacité (échangeur ECS à proximité des besoins finaux – pertes thermiques dans un volume chauffé)
- Coût de maintenance plus faible (moins de dégradations et meilleur fiabilité en cas de sous comptage)

• Cas 4 : sous stations individuelles de chauffage urbain.



Dans le cas présent, le réseau de chauffage urbain est distribué à l'intérieur de l'immeuble jusqu'à chaque logement. Globalement les avantages du cas 3 sont applicables au cas 4.

**Bilan comparatif des quatre solutions**

Hypothèse : les émetteurs de chaleur des logements sont de type basse température.

|   | 1                                 | 2  | 3  | 4  |
|---|-----------------------------------|--|--|--|
|   | sous station collective classique | sous station collective double échangeur | Sous station collective intermédiaire + sous stations individuelles privées                  | sous stations individuelles de chauffage urbain  |
| régime de température primaire                      | bon (75-33°C)                     | très bon (75-25°C)                       | très bon (75-25°C)   | très bon (75-25°C)   |
| efficacité énergétique globale du bâtiment          | moyenne                           | moyenne                                  | très bonne   | très bonne   |
| sous comptage d'énergie par logement                | non (difficile)                   | non (difficile)                          | oui (facilité)   | oui (obligatoire)  |
| incitation de l'usagé à maîtriser ses consommations | faible                            | faible                                   | potentiellement forte  | forte  |
| facturation réseau de chaleur                       | collectif                         | collectif                                | collectif  | par logement   |
| coûts d'investissements directs (sous stations)*    | faible (10000 €)                  | faible (13 000 €)                        | élevé (80 000 €)   | élevé (120 000 €)  |
| coûts d'investissements indirects évités            | aucun                             | faible (production ECS)                  | très important :<br>- production et distribution ECS<br>- sur isolation du bâtiment ou autre | très important :<br>- production et distribution ECS<br>- sur isolation du bâtiment ou autre |
| coûts directs+ indirects                            | important                         | important                                | moyen  | moyen  |
| coûts d'entretien / maintenance                     | faible                            | faible                                   | moyen - faible   | moyen  |
| coûts énergétique                                   | très important                    | important                                | faible   | faible à très faible   |
| coût global   | très élevé                        | élevé                                    | moyen - faible   | moyen - faible   |

\*coûts indiqués pour un immeuble BBC de 50 logements

**La mise en place de sous stations individuelles (cas 3 ou 4) est très intéressante pour la performance énergétique :**

- **du point de vue du réseau de chaleur : le régime basse température est garanti**
- **du point de vue du bâtiment : c'est une solution qui rend compatible la mise en place de système de production d'énergie centralisés avec le respect de la performance énergétique.**

Remarque pour les réseaux classés : les bâtiments neufs ou faisant l'objet d'une réhabilitation lourde ayant obligation de se raccorder, ces solutions pourront être présentées en amont aux maîtres d'ouvrages des bâtiments au travers de la communication sur les avantages pour les usagers et la collectivité du classement pour attirer leur attention sur les spécificités à prévoir dans le lot plomberie en cas de travaux.

## 8 SOLAIRE THERMIQUE CENTRALISE

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

Remarques sur le domaine / les limites d'application

Cette action n'est pertinente que sur les réseaux basse température fonctionnant toute l'année.

| Action n°8   | Association du solaire thermique et d'un réseau de chaleur en production centralisée  |               |
|--|---|---------------|
| Avantages  |   | Inconvénients |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efficacité maximale de l'équipement solaire thermique (donc meilleure rentabilité économique possible)</li> <li>• Meilleure efficacité énergétique d'une seule installation centralisée comparé à plusieurs installations</li> <li>• Investissement plus faible pour une seule installation centralisée comparé à plusieurs installations</li> <li>• Risques de surchauffe limités grâce au foisonnement des besoins d'eau chaude sanitaire en été</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite une surface de toiture importante ou de mobiliser une surface dans le quartier (ombrières de parking par exemple)</li> <li>• (Nécessite de sur dimensionner le bâtiment chaufferie pour le ballon de stockage)</li> <li>• coûts encore élevés</li> </ul> |               |
| Description  |   |               |
| <p><b>L'objectif</b> de cette fiche est de présenter l'intérêt de coupler le solaire thermique à un réseau de chaleur de manière centralisée plutôt que d'équiper les bâtiments raccordés au réseau par une multitude d'installations solaire thermique.</p> <p><b>Principes de base</b> : grâce aux nouveaux modes de construction, la part de chauffage, auparavant beaucoup plus conséquente que l'eau chaude sanitaire, est devenue quasiment égale à celle-ci, permettant ainsi de s'intéresser tout autant à la couverture des besoins en été qu'en hiver. Le solaire thermique, naturellement bien plus productif en période estivale devient alors intéressant.</p> <p>Le couplage du solaire thermique n'aura d'intérêt que pour un réseau de chaleur fonctionnant également en été et alimentant des bâtiments ayant des besoins d'eau chaude sanitaire toute l'année.</p> <p>L'installation solaire thermique pourra s'intégrer au bâtiment chaufferie avec mise en place des capteurs en toiture suivant une orientation et une inclinaison adéquate et la panoplie hydraulique prendra place idéalement en chaufferie. Ceci est loin d'être une obligation car nous allons voir que le principe de base est de raccorder l'installation solaire sur le retour du réseau de chaleur ; celle-ci peut donc être délocalisée (à proximité immédiate du réseau tout de même).</p> <p>La performance des capteurs thermiques est d'autant meilleure que la température du fluide caloporteur est basse. Le couplage d'une installation solaire thermique à un réseau de chaleur est donc d'autant plus pertinente que la température de retour du réseau est basse.</p> |   |               |

### **Principe de dimensionnement :**

Il est proposé de dimensionner le solaire thermique pour palier les pertes liées au transport de l'énergie dans le réseau de chaleur. Naturellement, cela s'inscrit dans le cadre d'un réseau de chaleur bien conçu dont les pertes sont déjà limitées par des choix techniques judicieux. L'utilisation du solaire thermique ne doit pas justifier de « laisser aller » dans la conception du réseau de chaleur, ce qui n'aurait d'ailleurs aucun sens économique compte tenu des coûts d'investissements respectifs des solutions d'optimisations (voir fiches précédentes) et du solaire.

En raison de son irrégularité, la production solaire thermique aura la priorité sur les autres générateurs d'énergie (chaudière bois, gaz, ou autre).

Le principe de régulation de l'installation solaire sera similaire à celle d'une installation de préchauffage d'ECS, un ballon solaire **connecté au retour du réseau de chaleur** se mettra en charge dès que la température dans les capteurs sera suffisamment élevée.

*Remarque : le bureau d'études Holisud et l'exploitant Cofely ont récemment monté un projet où la production du solaire est dimensionnée pour couvrir l'ensemble des pertes plus la moitié des besoins d'ECS. L'objectif est que le solaire soit pris en compte dans la réglementation thermique comme si il était sur le bâtiment et raccordé au bâtiment. Le dossier a été déposé auprès de la commission « titre 5 » qui statue sur le mode de prise en compte des systèmes non intégrés par défaut dans le moteur de calcul de la réglementation. La prise en compte d'une part de l'ECS permet en effet de justifier que le solaire soit pris en compte de manière équivalente à de la production d'ECS solaire sur bâtiment.*

### **Hypothèses :**

*Caractéristiques du réseau :*

- *régime 75/33 + sur isolation aller + variation de température,*
- *longueur 2250 mètres,*
- *production annuelle : 2250 MWh/an (densité thermique =1), pertes 255 MWh/an dont 21 MWh en juillet.*

### Détail des résultats

#### Deux dimensionnement sont possibles :

Dimensionnement 1 : l'installation solaire couvre 100% des pertes annuelles réseau

Dimensionnement 2 : l'installation solaire couvre 100% des pertes en juillet uniquement (=mois de production maximum du solaire), soit 64% des pertes annuelles réseau

|  | Janvier | Février | Mars    | Avril   | Mai    | Juin   | Juillet | Août   | Sept.  | Oct.    | Nov.    | Déc.    |                       |
|--|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|-----------------------|
| Profil production kWh/mois                   | 265 625 | 265 625 | 265 625 | 265 625 | 78 125 | 78 125 | 78 125  | 78 125 | 78 125 | 265 625 | 265 625 | 265 625 | <b>2 250 000</b>      |
| Pertes kWh/mois                              | 22 541  | 20 330  | 21 475  | 20 916  | 21 475 | 20 783 | 21 475  | 21 475 | 20 783 | 21 475  | 20 783  | 21 875  | <b>255 385</b>        |
| <b>Dimensionnement 1</b>                     |         |         |         |         |        |        |         |        |        |         |         |         |                       |
| Production capteurs                          | 10 132  | 13 866  | 23 190  | 27 672  | 30 674 | 30 400 | 31 684  | 30 200 | 27 360 | 21 103  | 11 250  | 7 616   | <b>265 147</b> kWh/an |
| Station météo Lyon<br>500 m_ - 25 000 litres |         |         |         |         |        |        |         |        |        |         |         |         | <b>530</b> kWh/m_     |
| Taux de couverture des<br>pertes réseaux     | 45%     | 68%     | 108%    | 132%    | 143%   | 146%   | 148%    | 141%   | 132%   | 98%     | 54%     | 35%     | <b>104%</b>           |
| <b>Dimensionnement 2</b>                     |         |         |         |         |        |        |         |        |        |         |         |         |                       |
| Production capteurs                          | 6 490   | 8 881   | 14 852  | 17 720  | 19 640 | 19 462 | 20 282  | 19 335 | 17 519 | 13 515  | 7 206   | 4 878   | <b>169 780</b> kWh/an |
| Station météo Lyon<br>320 m_ - 16 000 litres |         |         |         |         |        |        |         |        |        |         |         |         | <b>531</b> kWh/m_     |
| Taux de couverture des<br>pertes réseaux     | 29%     | 44%     | 69%     | 85%     | 91%    | 94%    | 94%     | 90%    | 84%    | 63%     | 35%     | 22%     | <b>64%</b>            |

#### Nous pouvons retenir les ratios de dimensionnement solaire suivants :

Dimensionnement 1 : l'installation solaire couvre 100% des pertes annuelles réseau ; alors il faut **1 m<sup>2</sup> de capteur pour 5 mètres de réseau** (1 mètre de tranchée + 2 m de tube) ou 2 m<sup>2</sup>/MWh de déperditions

Dimensionnement 2 : l'installation solaire couvre 100% des pertes en juillet, alors il faut **1 m<sup>2</sup> de capteur pour 7 mètres de réseau** ou 1.25 m<sup>2</sup>/MWh de déperditions. Dans le cas 2, plus besoins de ballon de stockage, c'est le réseau qui sert de stock (dans l'exemple ci-après, le volume en eau du réseau est de 9900 litres).

**Conséquences d'une localisation géographique différente :**

|  | Lyon        | Nancy     | Toulouse |
|--|-------------|-----------|----------|
| incidence <b>annuelle</b><br>(applicable au dimensionnement 1) | référence 0 | -8%       | 13%      |
| incidence <b>estivale</b><br>(applicable au dimensionnement 2) | référence 0 | -4% à -6% | 1 à 3%   |

**Contrairement aux idées reçues sur l'ensoleillement, l'impact de la localisation géographique est modeste. L'étude de la mise en œuvre de solaire thermique sur réseaux de chaleur est donc tout à fait envisageable quelle que soit la latitude.**

**Bilan économique pour un réseau type.**

Caractéristiques du réseau : régime 75/33 + sur isolation+ variation de température, longueur 2250 mètres, prod annuelle : 2250 MWh/an (densité thermique =1), pertes 255 MWh/an dont 21 MWh en juillet.

Dans le cas du dimensionnement 2 :

Les pertes évitées = 170 MWh, soit 6630 €HT/an (sur la base d'un P1=39€HT/MWh)

Le coût de l'installation : 320 m<sup>2</sup> de capteurs. Investissement : 256 000 €HT.

Temps de retour sans subventions : 38 ans.

Temps de retour avec subventions fonds chaleur (installation >50 m<sup>2</sup>) : à priori l'instruction d'un tel dossier se ferait au cas par cas. Pour les besoins de l'étude nous prendrons l'hypothèse d'une aide de 16 000 €HT/TEP solaire utile produite annuellement.

Montant de subventions 233 600 €HT (93%). TR<4 ans.

**Attention, même dans le cas d'une chaufferie bois, la toiture de la chaufferie est environ 3 fois trop petite pour accueillir les 320 m<sup>2</sup> d'installation (chaufferie en toiture 1 pan)**

**Autre dimensionnement possible : installation solaire permettant de couvrir l'équivalent des pertes réseau et 50 % des besoins en ECS des bâtiments.**

Le dimensionnement de l'installation solaire doit se faire au cas par cas et l'introduction du ratio « nombre de mètre de réseau par m<sup>2</sup> de panneau » peut servir juste à comparer des installations entre elles mais ne donne aucune indication sur le dimensionnement ni l'optimisation. Avec cette base de dimensionnement, les caractéristiques principales de l'installation seraient :

- production solaire : 614 MWh/an,
- surface de capteurs : 1390 m<sup>2</sup> soit 4,3 fois plus de capteurs (ce résultat permet par ailleurs de constater que les besoins d'ECS correspondent dans ce cas à plus de le volume de pertes au regard des consommations d'ECS).
- productivité : 441 kWh/m<sup>2</sup>
- 1.5 mètre de réseau /m<sup>2</sup> de capteur (à titre d'exemple)

## 9 RELEVÉ DE TEMPÉRATURE EN SOUS STATION

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

| Action n°9   | Relève de température en sous station  |  |
|--|--|--|
| Avantages  | Inconvénients  |  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Evite des pertes thermiques importantes pour le réseau de chaleur</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Le service rendu à l'abonné n'est que partiel. L'abonné doit supporter l'investissement de son propre système de production d'énergie « de relève », à moins de l'intégrer dans le périmètre du réseau de chaleur, ce qui complique alors la tâche pour l'exploitant</li></ul> |  |
| Description  |  |  |
| <p>Lorsqu'un usager a besoin d'un régime de température élevé qui imposerait d'augmenter la température aller du réseau de chaleur, il faut envisager le cas d'une fourniture partielle d'énergie par le réseau et laisser à la charge de l'abonné la relève finale du fluide caloporteur à la température souhaitée.</p>  |  |  |
| <b>Exemple :</b>   |  |  |
| <p>Lorsqu'un abonné a besoin, sur un de ses départs secondaire, d'une température constante de 80°C, il est important de maintenir le régime variable sur le réseau de chaleur (température aller réseau comprise entre 80°C et 65°C en fonction de la rigueur climatique). L'investissement (porté par l'abonné) est souvent très faible au regard des pertes thermiques évitées (15%) sur la totalité du réseau de chaleur.</p>  |  |  |
| <b>Commentaire :</b>   |  |  |
| <p>Généralement, l'usagé peut avoir des départs secondaires dont les températures sont compatibles avec le régime du réseau de chaleur (circuits radiateurs par exemple) et par contre un ou deux de ses départs qui nécessitent une température plus élevée (départ à température constante pour une centrale de traitement d'air par exemple). C'est uniquement sur ces départs que la chaudière complémentaire doit être installée. Faisant ainsi partie des installations secondaires, la « chaudière de relève » est à la charge de l'abonné (à moins de l'inclure dans le périmètre du réseau de chaleur).</p> |  |  |

## 10 OPTIMISATION DU TRACE DU RESEAU

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

Remarques sur le domaine / les limites d'application

Nécessité de travailler le plus en amont possible dans le projet d'aménagement

| Action n°10   |  | Optimisation du tracé du réseau  |
|---|--|--|
| Avantages   |  | Inconvénients  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduit les coûts de travaux</li> <li>• Facilité d'intervention pour l'entretien et la détection de fuites</li> <li>• Longévité du réseau</li> </ul>  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite la mise en place d'une <b>servitude</b> pour le passage du réseau dans le bâtiment</li> <li>• A prévoir dès la conception du bâtiment et nécessite de prévoir les réservations</li> </ul> |
| Description   |  |  |
| <p>Classiquement le réseau de chaleur, composé de tubes aller-retour et d'une isolation, est disposé en pleine terre à une profondeur variable (généralement entre 80 cm et 1,20 m).</p> <p>Le coût de la tranchée suivant la complexité du terrain et la nature du revêtement peut représenter entre 30% et 50% du coût total du réseau de chaleur. Ainsi, dans les configurations où cela s'avère possible, il peut être intéressant économiquement de privilégier le passage du réseau de chaleur dans les bâtiments (vide sanitaire, cave ou garage). Naturellement, de par sa technicité, la canalisation pré-isolée destinée à être enterrée est plus onéreuse qu'une canalisation de chauffage classique en local accessible.</p> <p>Cette solution est envisageable lorsque la création du réseau de chaleur et la construction des bâtiments se font de manière simultanée (création d'une ZAC, d'un écoquartier,...). La prise en compte par l'urbaniste de la dimension « réseau de distribution d'énergie » permet d'obtenir une forte optimisation de la densité thermique du réseau de chaleur. Les points importants à traiter sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* la position de la chaufferie centrale (accessibilité, réduction des nuisances)</li> <li>* la position des bâtiments les plus consommateurs par rapport à la chaufferie (exemple de la ZAC des Tissières à Chamonix où les immeubles de logements ont été placés à proximité de la chaufferie et les maisons individuelles ont été éloignées avec le choix de ne pas toutes les raccorder)</li> <li>* la position des bâtiments entre eux, avec la possibilité de circuler en vide sanitaire ou sous sol.</li> </ul> <p>Les concepteurs des bâtiments devront prévoir les réservations nécessaires pour le passage du réseau et une servitude de passage sera mise en place entre le propriétaire du bâtiment et le propriétaire du réseau. Les conditions d'intervention et d'accès au réseau devront également être définies entre les différents acteurs.</p> <p>Cela permet naturellement d'éviter la création d'une tranchée mais peut également permettre de réduire les longueurs de réseau en passant ainsi au plus court.</p> <p>Dans certains cas et suivant la température des locaux traversés, cela peut également permettre de réduire les déperditions thermiques en comparaison d'un réseau disposé en pleine terre. Cet avantage est délicat à estimer et aura sans doute un impact faible à l'échelle d'un réseau.</p> |  |  |
| Hypothèses :  |  |  |
| <p>Nous avons simulé le coût d'un réseau de chaleur pour plusieurs DN dans les situations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réseau enterré en acier pré-isolé en pleine terre comprenant le matériel, la pose, la tranchée et la réfection</li> <li>• Réseau pré-isolé en acier sous-sol de bâtiment (vide sanitaire, cave ou garage) comprenant le matériel, la pose et les pénétrations bâtiments</li> </ul>   |  |  |
| Synthèse des résultats  |  |  |
| <p><b>A diamètre équivalent, un réseau de chaleur enterré est 2 à 6 fois plus cher qu'un réseau apparent (en sous sol par exemple).</b></p>   |  |  |

## 11 BALLON D'HYDRO ACCUMULATION

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

limite d'application :

Solution adaptée uniquement en cas de présence d'une chaudière bois

### Action n°11 Ballon d'hydro accumulation

#### Avantages

- Optimise le taux de couverture de la chaudière bois
- Optimise le rendement moyen de la chaudière bois
- Augmente la durée de vie de la chaudière et diminue les coûts de maintenance
- Particulièrement intéressant si il manque quelques pourcents d'EnR pour bénéficier d'un « bonus » (TVA à 5,5%, modulation de la RT 2012<sup>2</sup>)

#### Inconvénients

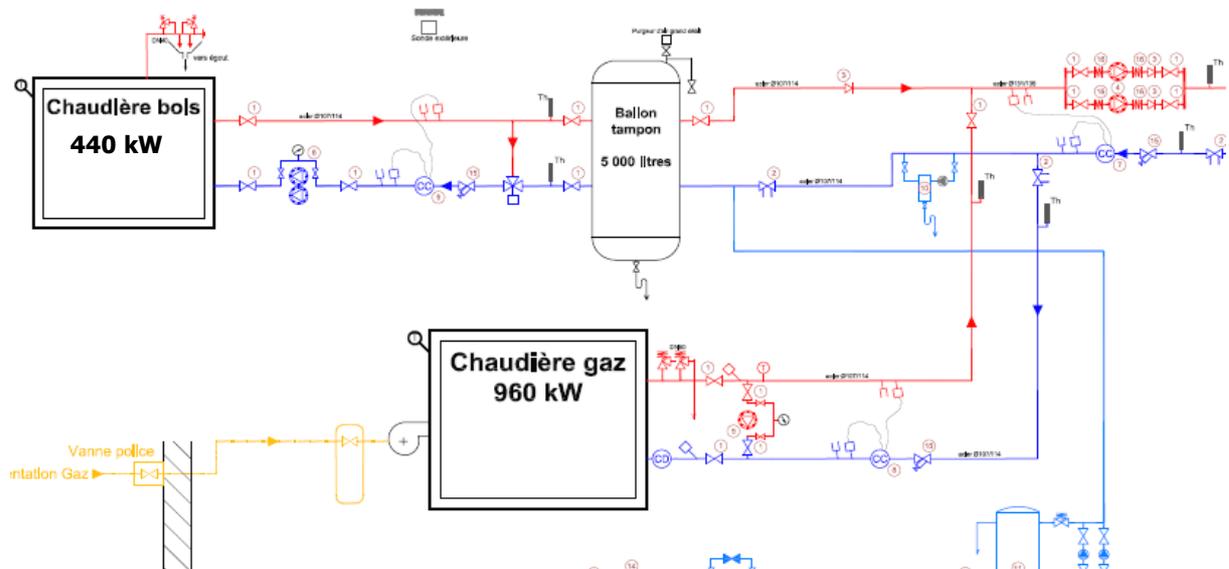
- Nécessite une place importante en chaufferie (surcôt bâtiment)
- N'est efficace que si la chaudière bois n'est pas surdimensionnée
- Déperdition thermique supplémentaire

#### Description

Une chaudière bois est généralement dimensionnée selon le principe de la bi-énergie, c'est à dire qu'elle couvre de l'ordre de 80% des besoins annuels en énergie, les 20% restants étant assurés par une chaudière classique gaz ou fioul.

Partant de ce principe, le couplage d'un ballon d'hydro accumulation à la chaudière bois permet à celle-ci de couvrir la majeure partie des pics d'appels de puissance matinaux qui sont dus à :

- la relève en température des bâtiments après une période de réduct de chauffage
- l'appel de puissance en eau chaude sanitaire (qui est généralement le plus important le matin)



<sup>2</sup> Voir l'étude AMORCE « Réseaux de chaleur & bâtiments basse consommation : l'équation impossible ? » ref RCE11-mai 2011

Exemple de dimensionnement :

L'ordre de grandeur de dimensionnement d'un ballon d'hydro accumulation est de 1 à 2 m<sup>3</sup> par tranche de 100 kW de puissance de chaudière bois.

Le stockage permet ainsi de subvenir à une demande de 25 à 50% de puissance supplémentaire pendant 2 heures (avec comme hypothèse à respecter un écart de température primaire de 40°C)

#### Détail des résultats

**Coût d'un ballon d'hydro accumulation : 1000 €HT/m<sup>3</sup>.**

**La part du bois peut être augmentée de 2 à 5 %.**

## 12 STOCKAGE TAMPON GRANDE CAPACITE

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

Remarques sur le domaine / les limites d'application

Pertinent en cas de surproduction de chaleur renouvelable ou fatale à certaines périodes de l'année

### Action n°12 Stockage tampon grande capacité

#### Description

Dans certains cas, il peut être intéressant d'envisager la mise en place de stockage d'énergie thermique de grande capacité sur le réseau de chaleur. Cette technologie est un nouvel axe de progrès à envisager pour les futurs réseaux de chaleur car elle peut permettre d'optimiser le profil particulier de consommation de certains réseaux et surtout dans le cas de production de chaleur avec de la biomasse ou solaire thermique.

#### Exemple 1 : installation de stockage d'énergie de BORAS (Suède)

- **Technologie (type de fluide caloporteur) :** Chaleur sensible en eau
- **Type de cuve :** cuve en acier sur isolée
- **Volume :** 37 000 m<sup>3</sup>
- **Hauteur :** 70 mètres
- **Diamètre :** 26 mètres
- **Capacité de stockage :** 1900 MWh
- **Température :**  $\Delta T$  40°C (Tdépart = 90°C, Tretour 50°C)
- **Autonomie :** 3 jours (72 heures)
- **Puissance d'appel maximale supportée :** 100 MW
- **Compacité énergétique :** 60 kWh/m<sup>3</sup>
- **Cycle de charge / décharge :** échelle de temps journalière
- **Outils d'aide à la conduite** de la centrale afin **d'arbitrer entre les moyens de production classiques et le stockage** en fonction du prix de l'électricité, de la demande du réseau, du tarif des différents combustibles, de la capacité de stockage, etc.

#### Exemple 2 : installation de stockage d'énergie de FRIEDRICHSHAFEN (Allemagne)

- **Technologie :** Chaleur sensible en eau
- **Type de cuve :** réservoir béton armé enterré isolé (20 à 30 cm de laine minérale pour les parois verticales ; jusqu'à 70 cm pour le « couvercle »)
- **Volume :** 12 000 m<sup>3</sup>
- **Hauteur :** 15 mètres
- **Diamètre :** 32 mètres
- **Capacité de stockage :** MWh
- **Température :**  $\Delta T$  50°C (Tdépart = 90°C, Tretour 40°C)
- **Source d'alimentation :** 4300 m<sup>2</sup> de panneaux solaires
- **Taux de couverture de besoins annuels :** 40 à 70%
- **Cycle de charge / décharge :** conçu pour un stockage intersaisonnier
- **Prix de l'énergie fournie :** 45€/MWh

## 13 FONCTIONNEMENT DU RESEAU TOUTE L'ANNEE

- réseau neuf
- réseau existant
- extension à partir d'un réseau existant

Cette action n'est valable que lorsque les besoins en eau chaude sanitaires sont importants (raccordement de nombreux logements par exemple)

le réseau et les sous stations doivent être performants (les actions 1, 5 et 6 sont appliquées)

| Action n°13  | Fonctionnement du réseau toute l'année            |
|--|---|
| <b>Avantages</b>   | <b>Inconvénients</b>                              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Meilleure rentabilité des équipements de production et de distribution de chaleur</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>•</li></ul> |
| <b>Description</b>   |   |
| <p>Au fur et à mesure de l'évolution de la réglementation thermique, les bâtiments sont de plus en plus performants au niveau de leur enveloppe. Dans ce contexte, la part d'énergie dédiée réchauffage de l'eau chaude sanitaire devient prépondérante. Dans le cas d'un réseau de chaleur alimentant des bâtiments BBC, il devient donc primordial de prévoir de faire fonctionner le réseau de chaleur toute l'année.</p> |   |

## 14 INCITATIONS TARIFAIRES

Mise en place d'une tarification dégressive en fonction de la température de retour secondaire de l'abonné.

Frais de raccordement (type forfait) faible pour un nouvel abonné.

Une telle disposition est souvent appliquée pour les réseaux de froid en facturant, en plus du R1 et du R2, un R1' directement proportionnel au débit qui traverse le primaire de la sous station. En effet, un faible écart de température côté secondaire entraîne, pour une puissance calorifique ou frigorifique donnée, un besoin de débit beaucoup plus important sur le primaire, ce qui engendre des surconsommations des auxiliaires et augmente les pertes thermiques.