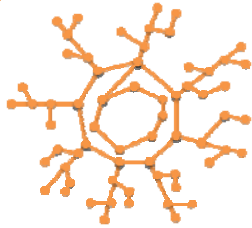


**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie



## **Smart Grid Solaire Thermique**

# **GUIDE DE CONCEPTION DES RESEAUX DE CHALEUR SOLAIRE ADAPTES AUX ECO-QUARTIERS**

Ce guide de conception des réseaux de chaleur solaire adaptés aux éco-quartiers a été réalisé de la cadre du projet « Smart Grid Solaire Thermique » accompagné par l'ADEME dans le cadre du Programme Energies Renouvelables des Investissements d'Avenir.



Version 1 : septembre 2015

## Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Les grands principes des réseaux de chaleur et du solaire .....</b>	<b>6</b>
1.1 Principe du réseau de chaleur .....	6
1.1.1 Principe technique .....	7
1.1.2 Les régimes de températures .....	7
1.1.3 Densité énergétique.....	8
1.2 Principe du solaire thermique .....	9
1.3 Principe de stockage .....	11
1.4 Principes du solaire sur réseau de chaleur.....	12
1.4.1 Système solaire centralisé.....	12
1.4.2 Système solaire décentralisé.....	12
<b>2 Mon Quartier est-il Heliocompatible.....</b>	<b>14</b>
2.1 Définition des termes.....	14
2.2 Les données à collecter.....	14
2.3 Méthodologie à suivre.....	15
2.4 Logigramme de décision.....	15
2.5 Méthodologie pour détermination des données non disponible .....	16
2.5.1 Estimation des besoins de chaleur [B] et des besoins ECS [B <sub>ECS</sub> ].....	16
2.5.2 Estimation des besoins de chaleur en été .....	17
2.5.3 Estimation de la longueur du réseau de chaleur .....	18
2.5.4 Estimation des surfaces solarisables.....	19
2.6 Points sur les contraintes réglementaires et urbanistiques .....	20
2.6.1 Pour les panneaux solaires .....	20
2.6.2 Pour les stockages .....	21
<b>3 Pré-dimensionnement technique et économique .....</b>	<b>22</b>
3.1 Logigrammes de pré-dimensionnement .....	22
3.2 Choix du principe .....	26
3.2.1 Principe de raccordement solaire / réseau de chaleur .....	26
3.2.2 Contraintes du réseau de chaleur sur les différents principes de raccordement des systèmes solaires.....	26
3.3 Pré-chiffrage .....	27
3.4 Pré-bilan environnemental.....	28
<b>4 Les bonnes pratiques .....</b>	<b>29</b>
4.1 Au niveau des bâtiments .....	29
4.1.1 Diminution et maîtrise des besoins de chaleur .....	29
4.1.2 Régulation des secondaires .....	29
4.1.3 Emetteurs à basse température .....	30
4.1.4 Schémas type de raccordement.....	30
4.1.5 Production d'ECS avec stockage .....	34
4.1.6 Les autres usages de la chaleur.....	34



4.2	Au niveau du réseau de chaleur : .....	34
4.2.1	Optimisation du tracé.....	34
4.2.2	Sur-isolation des conduites.....	36
4.2.3	Régulation de la température de départ du réseau .....	37
4.2.4	Régulation du débit.....	38
4.3	Au niveau de la production de chaleur .....	40
4.3.1	Optimisation de la production solaire.....	40
4.3.2	Valorisation des autres énergies ENR&R.....	42
<b>5</b>	<b>La suite du projet ? .....</b>	<b>43</b>
5.1	Les prescriptions aux promoteurs et bailleurs .....	43
5.2	Le classement du réseau.....	44
5.3	L'initiative et le mode de gestion du projet.....	45
5.3.1	Initiative publique .....	45
5.3.2	Initiative privée.....	46
	<b>Annexe A : Technologies de capteurs solaires.....</b>	<b>47</b>
	<b>Annexe B : Technologies de stockage.....</b>	<b>51</b>
	<b>Annexe C : Références bibliographiques .....</b>	<b>55</b>
	<b>Annexe D : Sommaire des figures, graphiques et tableaux.....</b>	<b>56</b>
	<b>Lexique.....</b>	<b>58</b>

## Introduction

Dans le contexte de création d'un nouveau quartier, l'approvisionnement énergétique en chaleur et électricité doit être réfléchi dès les prémices du projet. Depuis 2009, **une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables** doit être obligatoirement réalisée pour tout projet d'aménagement, conjointement à l'étude d'impact. Cette démarche a vocation à insuffler une véritable stratégie énergétique à l'échelle du territoire, en mettant en lumière les possibilités de raccordement à un réseau de chaleur ou de froid, ou en mesurant l'opportunité d'intégrer les énergies renouvelables ou de récupération (EnRR).

Le présent guide permettra aux acteurs d'un projet (maitre d'ouvrage, aménageur, concepteur) de vérifier la pertinence de ce choix d'approvisionnement au regard de la performance énergétique de l'éco quartier, de sa densité, de ces besoins estivaux de chaleur et des surfaces de toitures disponibles.

Les avantages de l'énergie **solaire sur les réseaux de chaleur d'éco-quartier** sont listés ci-dessous :

<b>Environnemental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le solaire thermique est une énergie renouvelable et durable</li> <li>• Sans émission directe de gaz à effet de serre</li> <li>• Disponible sur l'ensemble du territoire</li> </ul>
<b>Social</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les kWh solaires profitent à l'ensemble des abonnés même à ceux dont le bâtiment ne permet pas l'installation d'une centrale solaire</li> <li>• A l'opposé des autres énergies renouvelables, le solaire est plus visible et peut contribuer à une meilleure image du réseau de chaleur</li> </ul>
<b>Economique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grâce à un facteur d'échelle, le coût des installations solaires sera plus avantageux que pour des systèmes collectifs par bâtiment</li> <li>• Un réseau de chaleur intégrant du solaire thermique dans son mix énergétique : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ permet d'atteindre plus facilement la bonification maximale de 30% sur les consommations dans le cadre de la RT 2012 et donc de réduire les coûts de construction</li> <li>○ peut bénéficier des aides du fonds chaleur ou du fond chaleur nouvelle technologie et de la T.V.A à 5,5% pour un réseau à plus de 50% d'EnR</li> </ul> </li> <li>• L'énergie solaire a un coût fixe dans le temps (dépend uniquement de l'investissement initial) et permet donc de stabiliser une partie de la facture énergétique</li> </ul>
<b>Technique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A l'inverse du solaire thermique utilisé à l'échelle du bâtiment pour produire l'eau chaude, le solaire thermique sur réseau permet aussi de couvrir les consommations d'énergies pour le bouclage de l'eau chaude sanitaire, voir le chauffage pour les installations avec un taux de couverture solaire plus important</li> <li>• Dans le cas d'une installation solaire décentralisée sur un bâtiment avec injection sur le réseau, le solaire peut contribuer à l'obtention du label BEPOS</li> <li>• En association avec d'autres EnR (bois, géothermie) le solaire peut permettre en été de limiter l'utilisation des énergies fossiles</li> <li>• Sans stockage important, le solaire peut couvrir jusqu'à 20% des besoins du réseau.</li> </ul>

**Tableau 1 : Argumentaire en faveur du solaire sur réseau de chaleur**

# 1 Les grands principes des réseaux de chaleur et du solaire

L'objet de cette partie est de présenter les principes de fonctionnement des réseaux de chaleur et du solaire thermique

Le détail des technologies associées est présenté en annexe.

## 1.1 Principe du réseau de chaleur

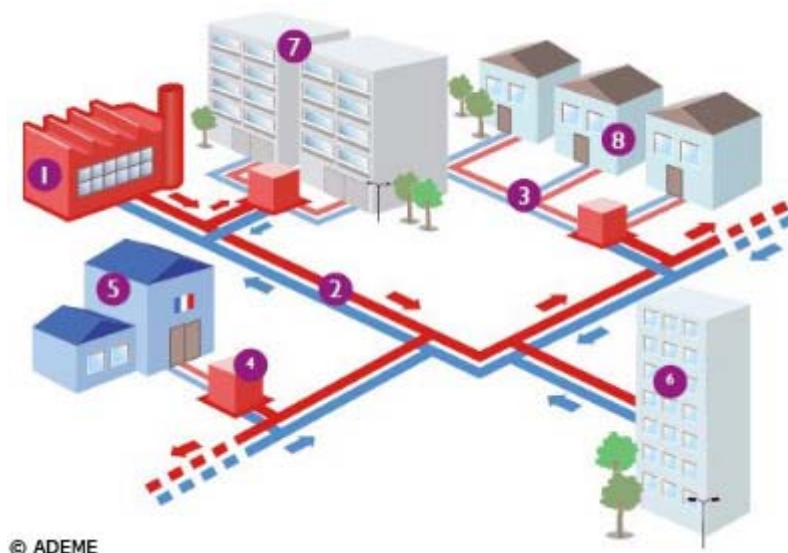
### A retenir

- *Les nouveaux quartiers présentent des réseaux en eau chaude généralement à plus basse température que les réseaux existants.*
- *Certains projets se développent autour de boucle d'eau tempérée.*
- *Les densités énergétiques sont généralement plus faibles que pour les grands réseaux urbains existants mais ne sont pas un frein au développement d'un réseau de chaleur.*
- *Si un projet d'écoquartier présente une forte densité de consommation, le choix d'un niveau de performance Effinergie+ ou passif n'est pas un frein au développement du réseau de chaleur.*

*D'ailleurs, les éco-quartiers ne sont généralement pas constitués uniquement de logements neufs. Le réseau de chaleur doit aussi prendre en compte les consommations liées au renouvellement urbain ou aux bâtiments existants sur les franges du projet.*

### 1.1.1 Principe technique

Un réseau de chaleur est caractérisé par une ou des unités de production de chaleur centralisées (production) qui assurent la fourniture de chaleur à des sous-stations (consommateurs) via un réseau de distribution (distribution).



1. **Unité de production de chaleur** : usine d'incinération des ordures ménagères, chaufferie alimentée par un combustible (gaz, bois, fuel...), centrale géothermique...
2. **Réseau de distribution primaire** : composé des canalisations dans lesquelles circule la chaleur. Un circuit transporte le fluide caloporteur (vapeur, eau chaude...) au pied des bâtiments raccordés, un autre ramène le fluide refroidi à l'unité de production pour qu'il soit à nouveau chauffé.
3. **Réseau de distribution secondaire** : géré par le responsable de l'immeuble (le syndic en copropriété ou le bailleur social par exemple), assure la répartition de la chaleur du réseau de chaleur entre les différents logements.
4. **Sous-station** : située au pied de l'immeuble, permet de transférer la chaleur du réseau primaire au réseau secondaire.
5. **Bâtiment public**
6. **Immeuble de bureaux**
7. **Logements collectifs**
8. **Logements individuels**

### 1.1.2 Les régimes de températures

Ils peuvent être séparés en trois catégories en fonction de la nature de la chaleur qu'ils distribuent :

- eau surchauffée > 110°C
- eau chaude < 110°C
- boucle d'eau < 30°C

La boucle d'eau est un réseau bitube, qui véhicule un fluide à une température inférieure à 30°C. Il s'agit généralement d'une eau préchauffée par géothermie, une eau de mer ou de lac. La température est ensuite relevée ou abaissée pour faire du chaud ou du froid à l'échelle de chaque bâtiment grâce à des pompes à chaleur.

### 1.1.3 Densité énergétique

La densité énergétique d'un réseau de chaleur est un indicateur exprimé en MWh de chaleur vendue par mètre linéaire de réseau et par an. Plus la densité énergétique est faible est faible, plus les pertes thermiques du réseau de chaleur (chaleur produite mais non vendue) deviennent prépondérantes. Des densités faibles imposent des sur-isolations des tubes ou une limitation des périodes de fonctionnement (arrêt du réseau en été et production d'ECS autonome).

Au niveau national, la densité énergétique des réseaux se situe en moyenne autour de 8 MWh/mètre/an. Cette valeur élevée est portée par les grands réseaux très denses des années 60-70, développés sur de grands secteurs urbains. La densité énergétique atteint sur certains réseaux 15 ou 20 MWh/mètre/an.

Pour des réseaux nouvellement créés (les réseaux de chaleur bois par exemple), cet indicateur est généralement plus faible de 3 à 6 MWh/mètre/an, mais certains réseaux notamment en zone rurale, descendent à des niveaux de densité énergétique nettement plus faibles. Des valeurs inférieures à 1,5, voire à 1 MWh/mètre/an sont constatées sur des réseaux créés ces dix dernières années. (Source AMORCE).

Les règles d'attribution des subventions du fond chaleur ADEME pour l'année 2014 imposent une densité supérieure à 1,5 MWh/mètre/an mais tolèrent une densité inférieure pour des cas particuliers.



## 1.2 Principe du solaire thermique

### A retenir :

- Dans le cadre d'un réseau de chaleur solaire, il est nécessaire d'utiliser des capteurs adaptés : capteur plan haute performance ou capteur à tubes sous vide.
- La température de fonctionnement du réseau de chaleur est un critère pour le choix et le bon fonctionnement du capteur solaire
- La performance d'un capteur décroît avec l'augmentation de la température d'usage de la chaleur
- Le critère final de choix du capteur solaire et de sa technologie sera le coût du kWh solaire produit. Bien qu'un peu moins performant énergétiquement, un capteur plan peut s'avérer moins cher et donc avoir un coût du kWh plus compétitif.

L'énergie solaire thermique est la valorisation du rayonnement solaire sous forme de chaleur. Ce mode de transformation d'énergie solaire se distingue des cellules photovoltaïques qui permettent de produire de l'électricité.

Les installations solaires thermiques usuellement installées pour la production d'eau chaude sanitaire sont performantes sur des régimes de températures de l'eau à chauffer entre 5 et 60°C et fonctionnent généralement avec des capteurs plans.

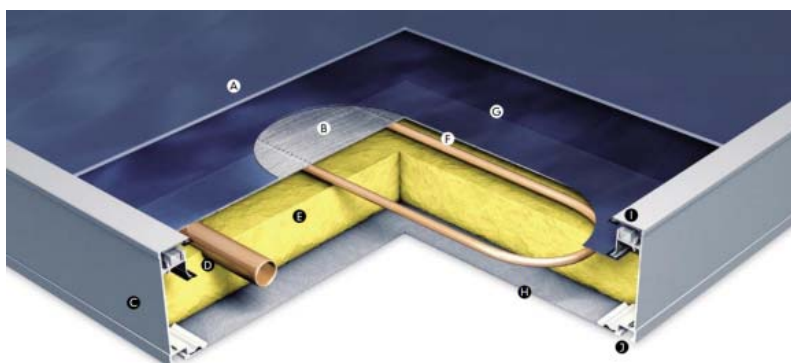
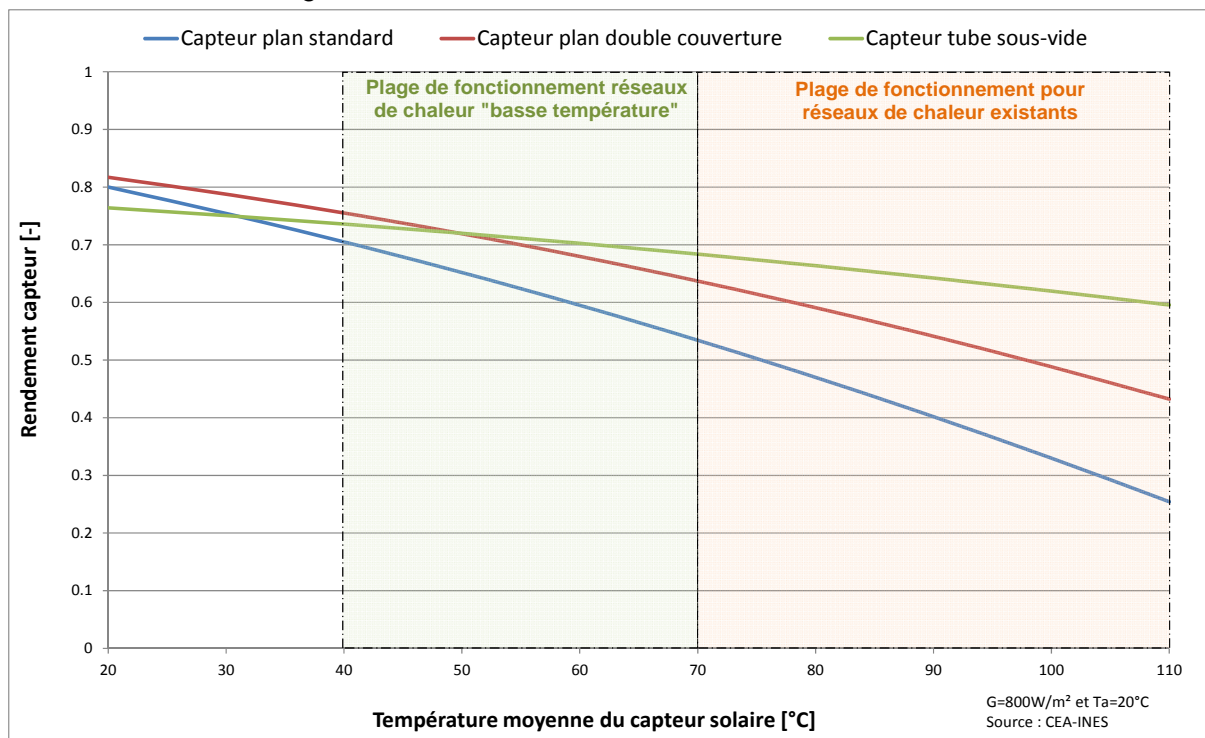


Figure 1 : Coupe d'un capteur solaire plan (capteur CLIPSOL modèle KGS)

Le graphique ci-dessous présente l'évolution du rendement de différentes technologies capteurs solaires en fonction de la température moyenne du capteur. Il montre que :

- le capteur plan standard n'est plus assez performant au-dessus de 40°C,
- qu'entre 40 et 70°C, le capteur plan double couverture et capteur sous-vide ont des performances similaires,
- qu'au-dessus de 70°C, les performances du capteur sous-vide surpassent les 2 autres technologies.



Graphique 1 : Evolution du rendement des capteurs solaires (source INES)

### 1.3 Principe de stockage

#### **A retenir :**

- *Le stockage court terme est réalisé soit par le réseau lui-même, soit par des ballons tampons en eau technique de grand volume et qui reste dans des technologies classiques de stockage.*
- *Le stockage inter saisonnier n'est pas nécessaire pour installer du solaire thermique sur un réseau de chaleur, mais le stockage d'une partie de la chaleur en été pour l'utiliser lors de la saison de chauffe permet d'augmenter très fortement le taux de couverture des besoins annuelles de chaleur par le solaire.*

Le stockage d'énergie thermique solaire pour le réseau de chaleur peut donc se distinguer en deux catégories :

- stockage court-terme (journalier) pour gérer l'intermittence de la ressource solaire et le déphasage jour/nuit (entre 30 et 200 l/m<sup>2</sup> de capteurs),
- stockage moyen/long terme (inter-saisonnier) pour gérer le déphasage entre l'été et l'hiver (de 1 et 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de capteurs).

Le stockage court terme est réalisé soit par le réseau lui-même, soit par des ballons tampons en eau technique de grand volume et qui reste dans des technologies classiques de stockage.

Le stockage inter saisonnier n'est pas nécessaire pour installer du solaire thermique sur un réseau de chaleur, mais le stockage d'une partie de la chaleur en été pour l'utiliser lors de la saison de chauffe permet d'augmenter très fortement le taux de couverture des besoins annuels de chaleur par le solaire.

Dans le cadre d'une utilisation de stockage longue durée pour un réseau de chaleur avec apport solaire, et dans les niveaux de température présentés, **la solution de stockage par voie sensible avec de l'eau est à l'heure actuelle la solution présentant le meilleur compromis entre densité de stockage / prix / maturité technologique.**

## 1.4 Principes du solaire sur réseau de chaleur

Les installations solaires sur réseau de chaleur peuvent être classées en deux grandes catégories :

- les systèmes solaires centralisés,
- les systèmes solaires décentralisés.

### 1.4.1 Système solaire centralisé

Dans les installations solaires centralisées, **les capteurs solaires thermiques sont connectés au niveau de la chaufferie centrale** du réseau de chaleur.

Les capteurs solaires peuvent être installés en toiture de la chaufferie et/ou au sol à proximité de celle-ci. Une autre solution consiste à installer les capteurs solaires sur les toits des bâtiments environnants, et à raccorder l'ensemble de ces champs à la chaufferie centrale par un réseau spécifique. Il s'agit d'une installation centralisée distribuée.

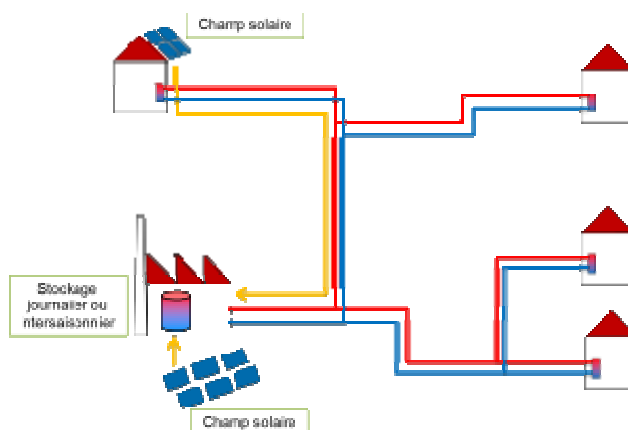


Figure 2 : Système solaire centralisé (source : INES)

Le rayonnement solaire est intermittent et variable tout au long de l'année et la journée. Lorsque la production solaire n'est pas en phase avec les besoins il est nécessaire d'avoir recours à un stockage d'énergie thermique.

Ce stockage pourra être à court terme (échelle de la journée) ou à moyen-long terme (échelle de plusieurs jours, voire mois).

### 1.4.2 Système solaire décentralisé

Les installations solaires décentralisées sont installées à différents endroits sur le réseau de chaleur et connectées directement sur le circuit primaire du réseau de chaleur.

Le plus souvent, ces installations utilisent le réseau de chaleur comme moyen de stockage.

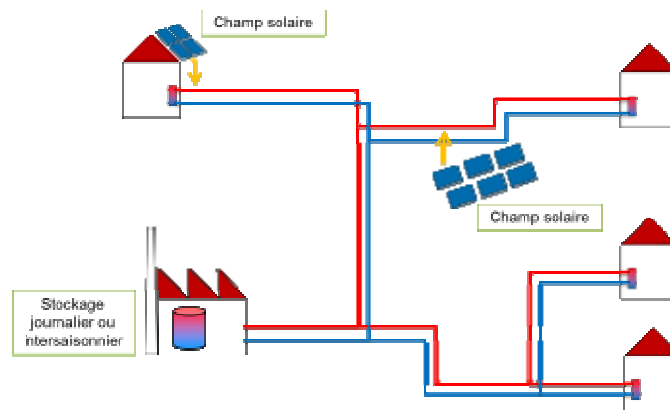


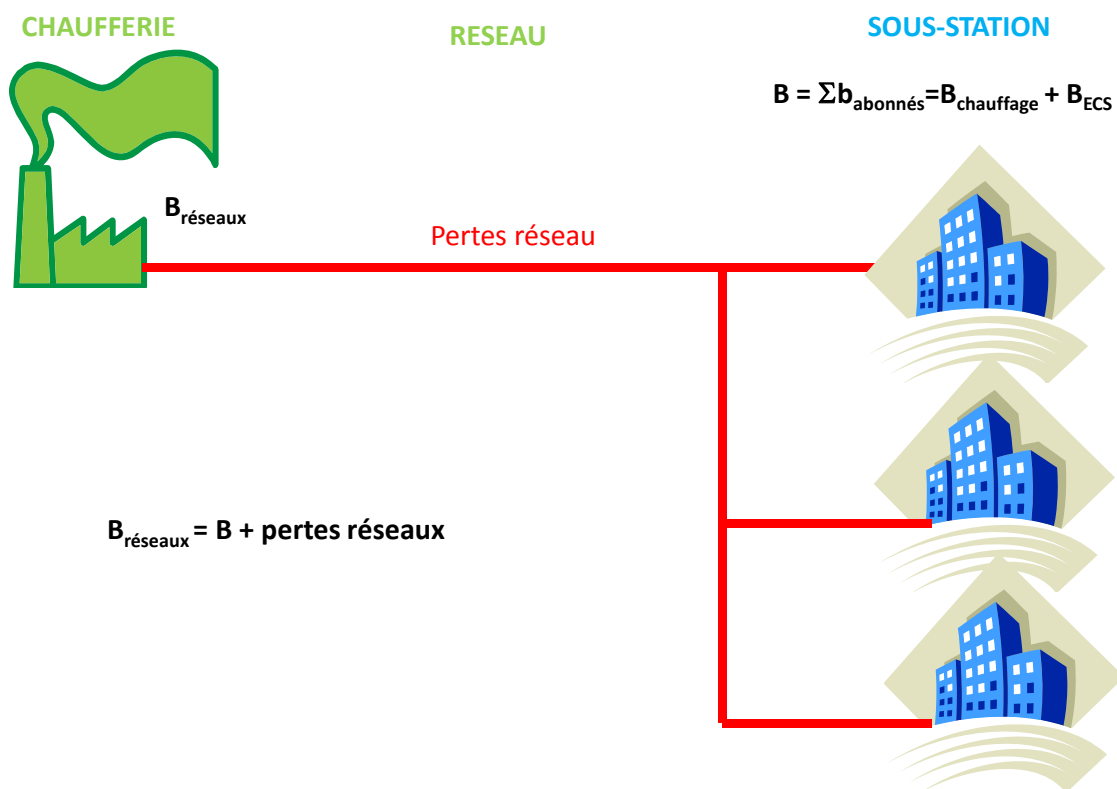
Figure 3 : Système solaire décentralisé (source : INES)

Cette configuration offre plusieurs configurations techniques :

- Pour le choix sur la valorisation de la chaleur produite :
  - la réinjection totale de la production solaire au réseau de chaleur,
  - la réinjection partielle de la production solaire avec autoconsommation à l'échelle du bâtiment ;
- Pour le positionnement et le dimensionnement du stockage
  - stockage à court-terme (échelle de la journée) dans le réseau ou dans des ballons à l'échelle des bâtiments,
  - stockage à moyen et long terme : l'énergie solaire réinjectée au niveau de chaque bâtiment est ainsi transportée par le réseau de chaleur pour être stockée dans un ballon centralisé situé par exemple en chaufferie.

## 2 Mon Quartier est-il Heliocompatible

### 2.1 Définition des termes



$B_{\text{réseau}} = \text{Besoin du réseau de chaleur en sortie chaufferie} = B + \text{Pertés Réseau}$

$B = \text{Besoin de chaleur du réseau} = B_{\text{chauffage}} + B_{\text{ECS}}$  de l'ensemble des abonnés

$B_{\text{ECS}} = \text{Besoin ECS}$

$B_{\text{é}} = \text{Besoin de chaleur en été}$

### 2.2 Les données à collecter

La méthodologie présentée dans ce chapitre permet de valider la pertinence de l'étude d'un réseau de chaleur solaire à partir de données d'entrée de base caractérisant un écoquartier :

- Zone climatique : H1, H2 ou H3
- Surface totale du projet (ensemble des parcelles  $S_T$ )  $m^2$
- Surface de plancher estimé ( $S_P$ )  $m^2$
- Emprise au sol des constructions ( $S_e$ )  $m^2$
- Répartition des usages
  - % de logements, % de bureaux et bâtiments tertiaires à faible consommation d'eau chaude
  - % de bâtiments tertiaires à forte consommation d'eau chaude (Maison de retraite, hôpital, hôtel, piscine...)
- Surface de toiture et de terrain disponible au sol

## 2.3 Méthodologie à suivre

Le logigramme suivant (Figure 4 : Mon quartier est-il hélio-compatible) permet de valider la compatibilité d'un projet d'écoquartier avec la réalisation d'un réseau de chaleur solaire. Pour les calculs simplifiés nécessaires, le logigramme renvoie au paragraphe du rapport correspondant.

Si les pré-requis de ce logigramme sont validés, un pré-dimensionnement peut être réalisé grâce aux logigrammes déclinés par zone climatique (Partie 3 : Pré-dimensionnement technique et économique).

## 2.4 Logigramme de décision

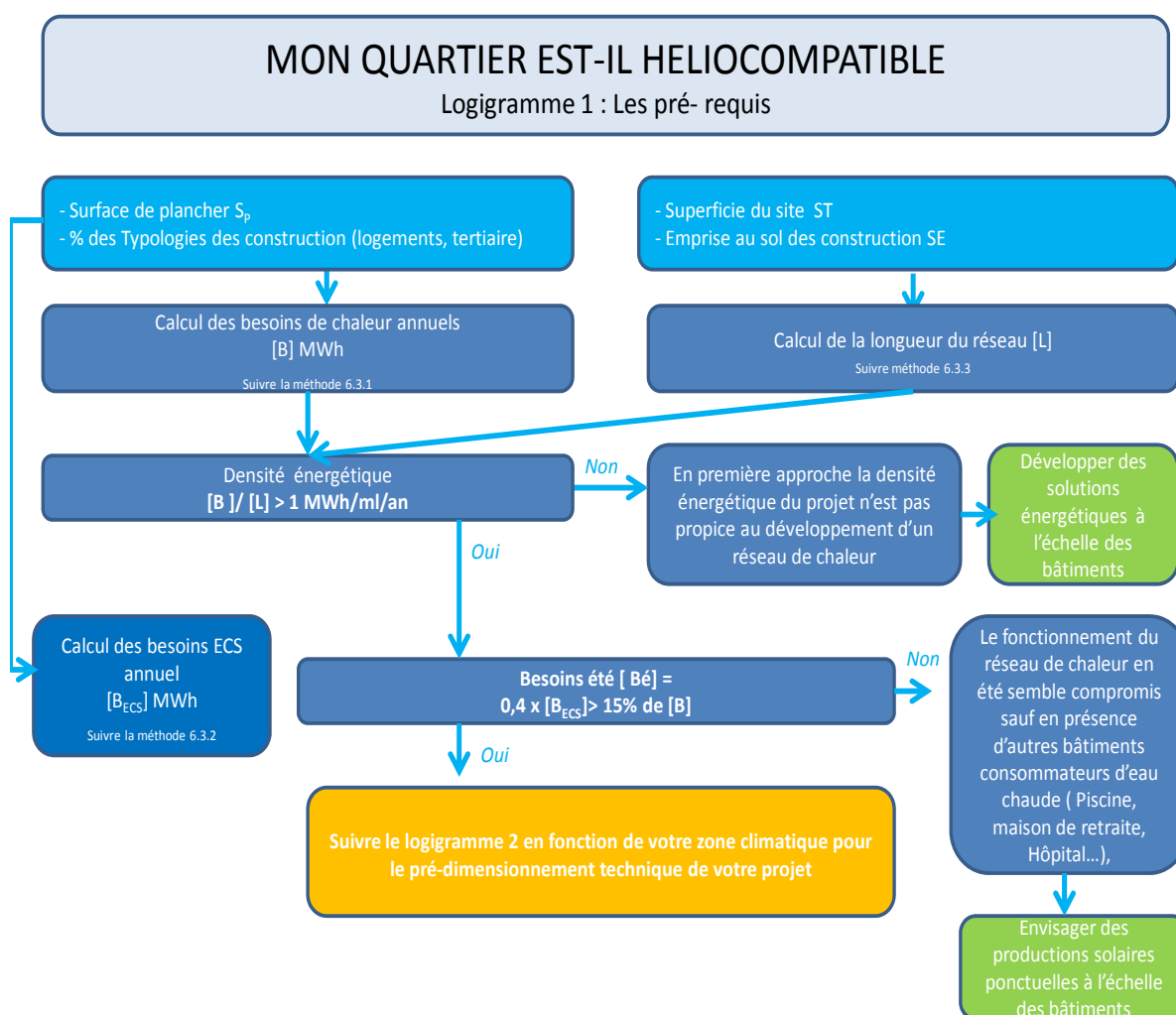


Figure 4 : Mon quartier est-il hélio-compatible

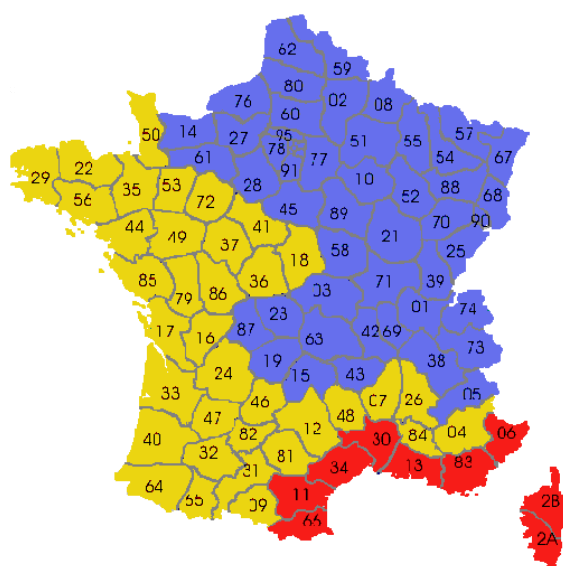
## 2.5 Méthodologie pour détermination des données non disponible

Cette partie permet de faire une estimation des données fondamentales du projet de réseau de chaleur si celles-ci ne sont pas disponibles.

### 2.5.1 Estimation des besoins de chaleur [B] et des besoins ECS [B<sub>ECS</sub>]

Les éléments présentés ci-dessous permettent d'estimer les besoins d'un écoquartier à partir des surfaces de plancher par typologie de construction et zone climatique :

- Logements
- Bureaux ou bâtiments tertiaires à faible consommation d'ECS (écoles, commerces, supermarché...)
- Bâtiments tertiaires à forte consommation d'eau chaude (maison de retraite, hôpital, hôtel...)



Niveau de consommation type "RT 2012" en kWh/m <sup>2</sup>						
Zone climatique	H1		H2		H3	
	Bchg	Becs	Bchg	Becs	Bchg	Becs
Logement coll.	30	35	20	35	10	35
Bureaux	15	10	10	10	10	10
Commerces	35	0	30	0	20	0
Hôtels	30	40	20	40	10	40

Niveau de consommation type "PASSIF" en kWh/m <sup>2</sup>						
Zone climatique	H1		H2		H3	
	Bchg	Becs	Bchg	Becs	Bchg	Becs
Logement coll.	21	30	14	30	7	30
Bureaux	11	9	7	9	7	9
Commerces	25	0	21	0	14	0
Hôtels	21	34	14	34	7	34

Figure 5 : Zone climatique H1, H2 et H3 et Besoins de chaleur chauffage et eau chaude sanitaire pour les 3 typologies de bâtiments en RT 2012



**Exemple de calcul :**

Ecoquartier en zone H1

Surface de plancher total : 233 000 m<sup>2</sup>

- 60% de logements,
- 35% de bureaux,
- 5% de commerces.

**Estimations des besoins en MWh :**

Besoins de chauffage =  $233\,000 \times (0.6 \times 30 + 0.35 \times 15 + 0.05 \times 35) / 1000 = 5\,825$  MWh

**Besoins Eau chaude =  $233\,000 \times (0.6 \times 35 + 0.35 \times 10 + 0.5 \times 0) / 1000 = 5\,709$  MWh = [B<sub>ecs</sub>]**

**Besoins totaux = 11 534 MWh = [B]**

### 2.5.2 Estimation des besoins de chaleur en été

Les besoins de chaleur en été c'est-à-dire hors saison de chauffe (de mai à septembre en moyenne) représentent en moyenne 40% des besoins ECS annuels.

**Exemple de calcul :**

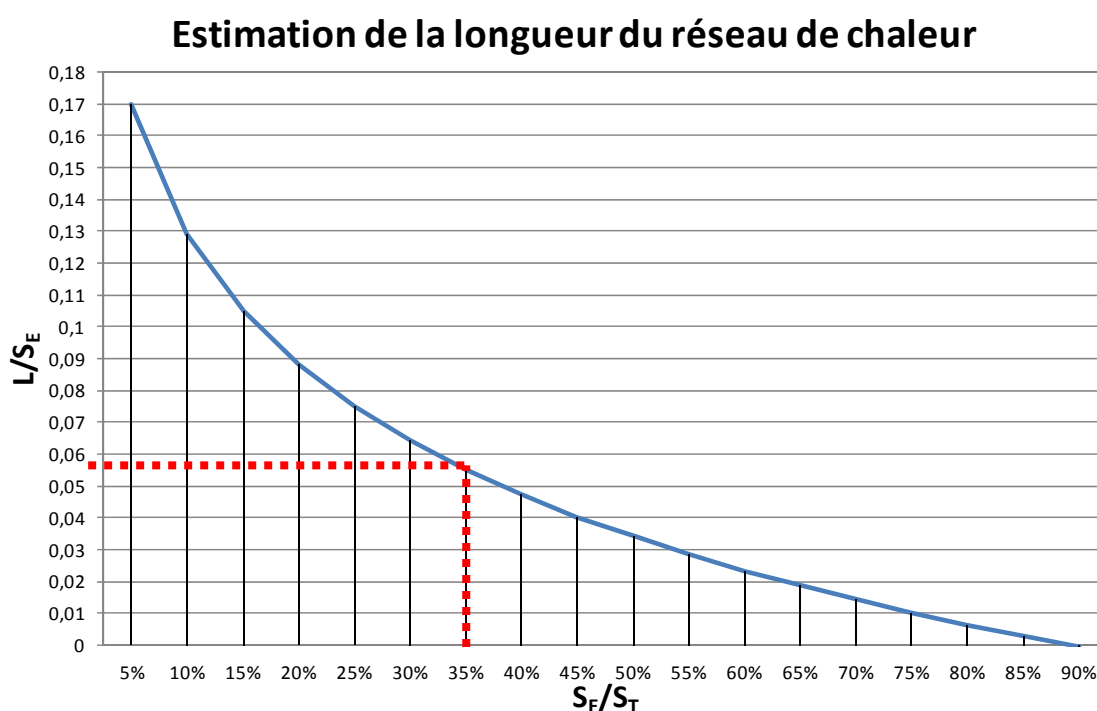
**Besoins été =  $0.4 \times$  Besoins Eau chaude =  $0.4 \times 5\,709 = 2\,284$  MWh = [Bé]**

### 2.5.3 Estimation de la longueur du réseau de chaleur

Il est nécessaire pour estimer la longueur du réseau de calculer une densité de construction au sol nommé [d] qui est le rapport entre l'emprise au sol des construction [ $S_E$ ] et la superficie totale du projet [ $S_T$ ].

$$d = S_E/S_T$$

Le graphique ci-dessous permet à partir du paramètre [d] situé en abscisse de lire la valeur  $L/S_E$  puis de calculer L (longueur du réseau).

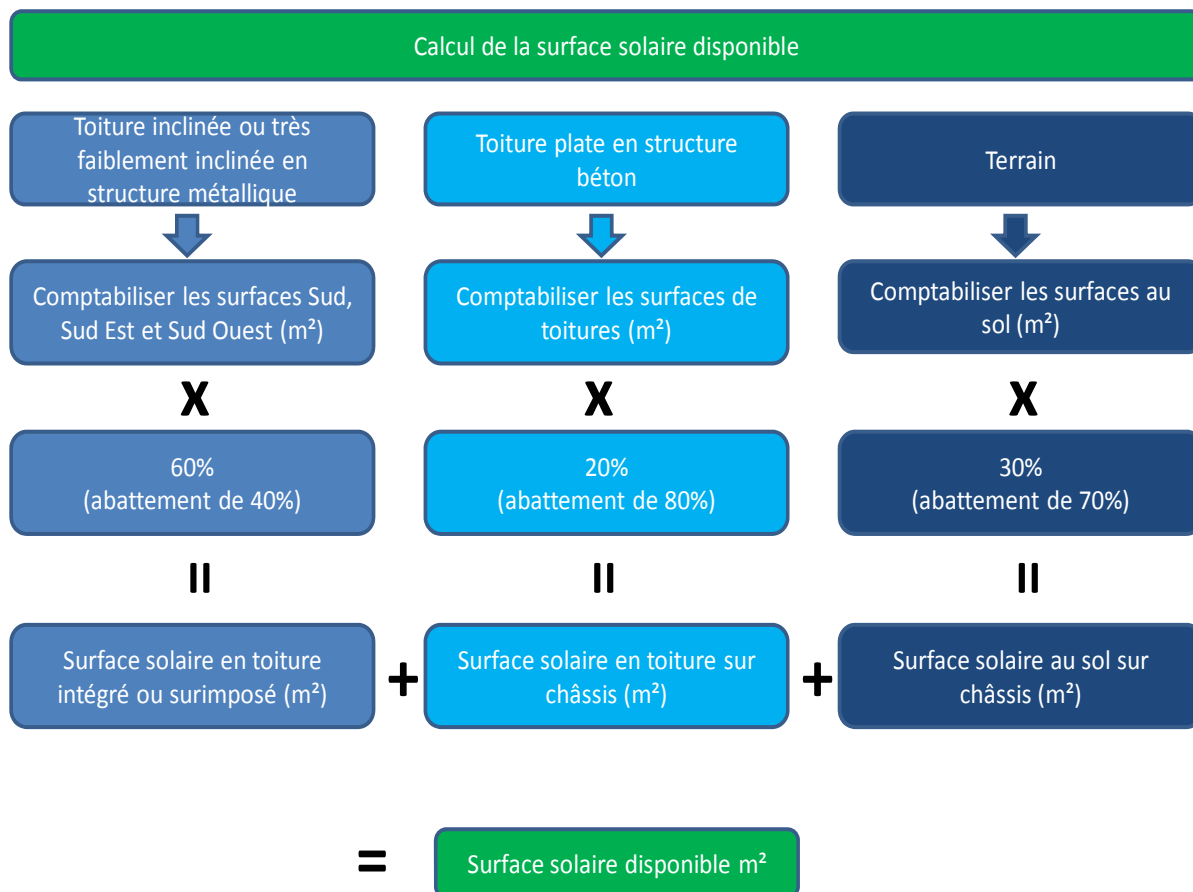


**Graphique 2 – Estimation de la longueur du réseau de chaleur**

**Exemple de calcul :** pour une densité de construction de 35% et une emprise de construction au sol de 40 000 m<sup>2</sup> [ $S_E$ ], le réseau de chaleur aura une longueur estimée de :  
 $[L] = 0,055 \cdot 40\ 000 = 2\ 200\ \text{m}$

## 2.5.4 Estimation des surfaces solarisables

Pour faire une estimation rapide des surfaces de capteurs solaires en fonction des surfaces de toitures et de terrain permettant leur implantation, la méthodologie suivante peut être utilisée :



**Figure 6 – Estimation des surfaces solarisables**

Pour les toitures inclinées, la surface projetée sur plan est suffisante pour une première approche.

Les abattements de surfaces prennent en compte les encombrements de toitures (équipements techniques, skydome..), les pertes sur les bords et la typologie du support (dans le plan de la toiture ou en châssis). Ils permettent d'estimer rapidement un ordre de grandeur des surfaces solaires en jeu mais ne se substituent pas à une étude détaillée.

### **Exemple de calcul**

Un quartier dispose de 10 000 m<sup>2</sup> de toiture terrasse et 5000 m<sup>2</sup> de toiture inclinée bien orientée (de sud Est à sud Ouest) :

Surface solaire disponible = 10 000 x 0.3 + 5000 x 0.6 = 3000 + 3000 = 6 000 m<sup>2</sup>

Le quartier dispose d'un potentiel d'environ 6 000 m<sup>2</sup> de capteurs solaires :

-3000 m<sup>2</sup> sur châssis en toiture terrasse,

-3000 m<sup>2</sup> en intégration ou en surimposition sur toiture inclinée.

## 2.6 Points sur les contraintes réglementaires et urbanistiques

### 2.6.1 Pour les panneaux solaires

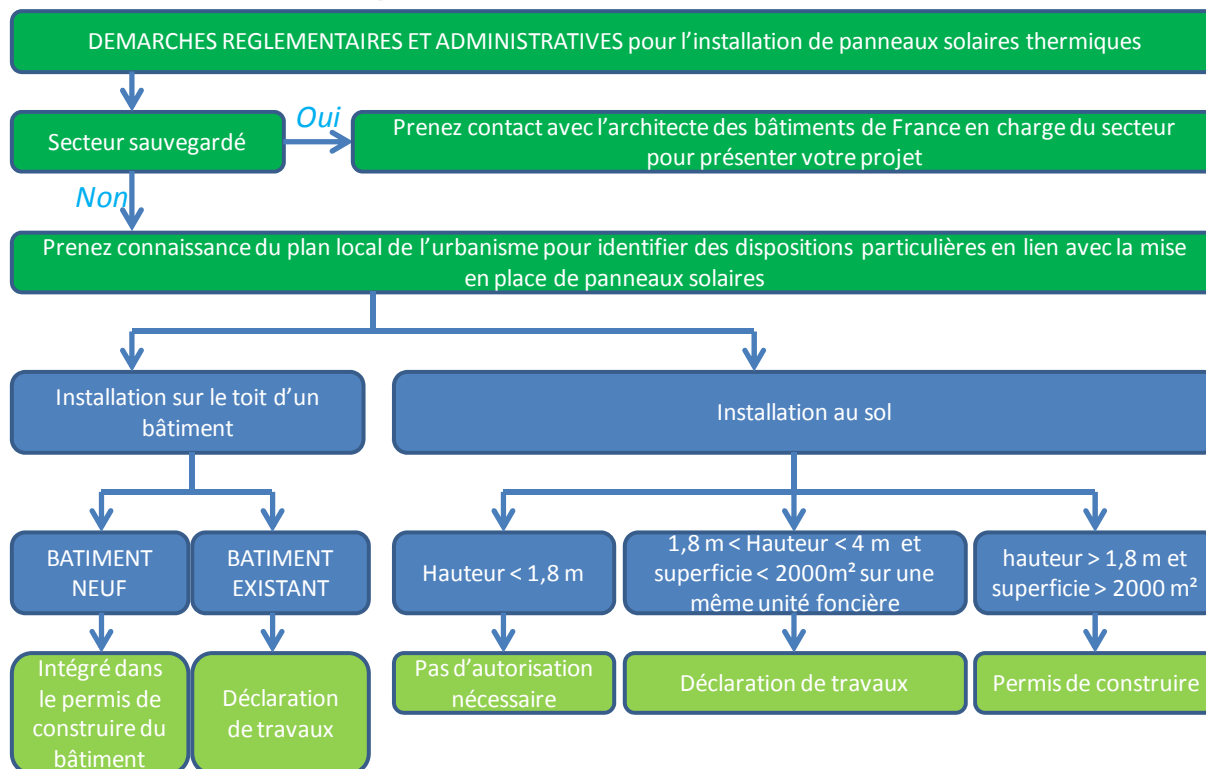


Figure 7 : Démarches réglementaires et administratives pour l'installation de panneaux solaires thermiques

**Pour les canalisations solaires, considérées comme des canalisations de transport d'eau chaude**, aucune démarche n'est nécessaire sauf si « le produit du diamètre extérieur avant revêtement par la longueur est supérieur ou égal à 5 000 mètres carrés ». Dans ce cas, le projet est soumis à étude d'impact. Pour atteindre ce critère, il faut par exemple 33 km de canalisations en diamètre 150 mm ce qui paraît très loin des grandeurs de projets envisagés.

## 2.6.2 Pour les stockages

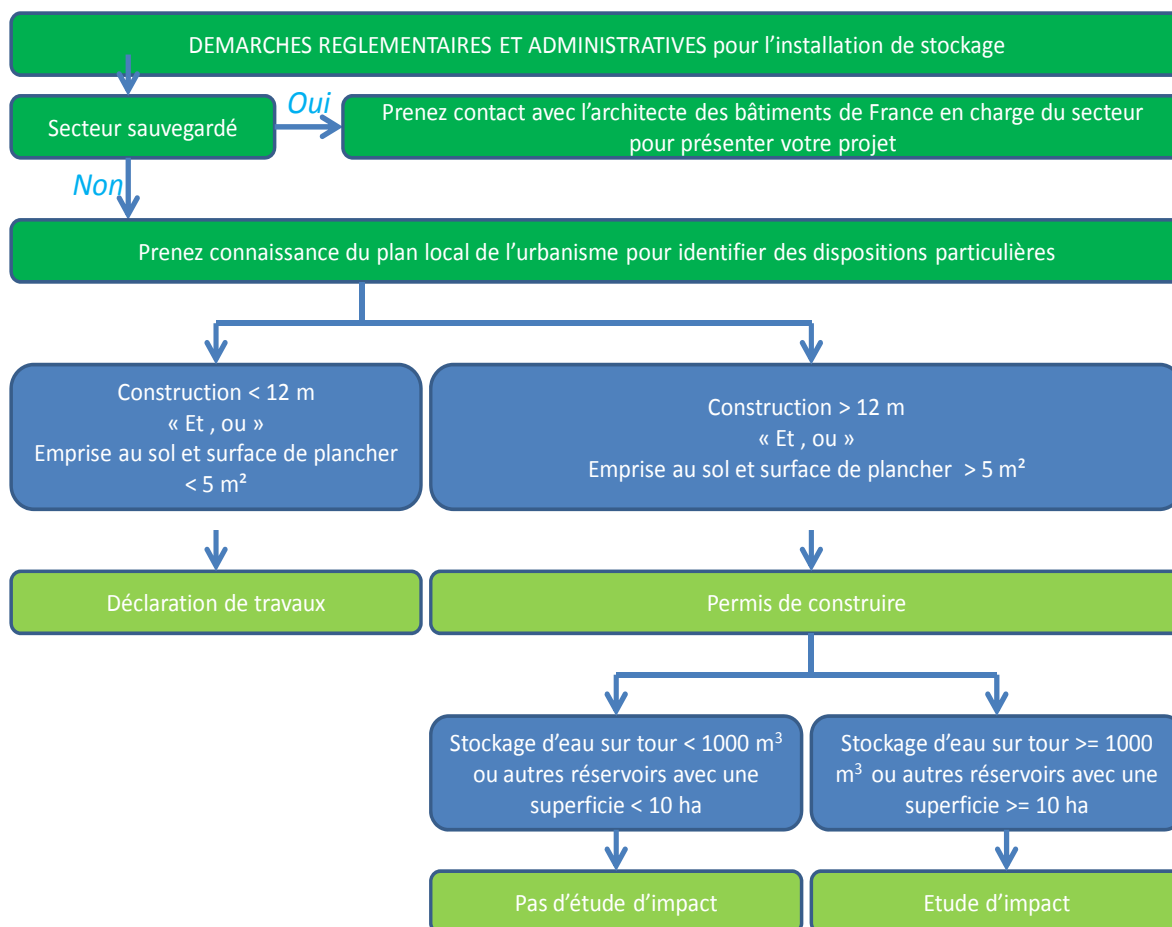


Figure 8 : Démarches réglementaires et administratives pour l'installation de stockage

### **3 Pré-dimensionnement technique et économique**

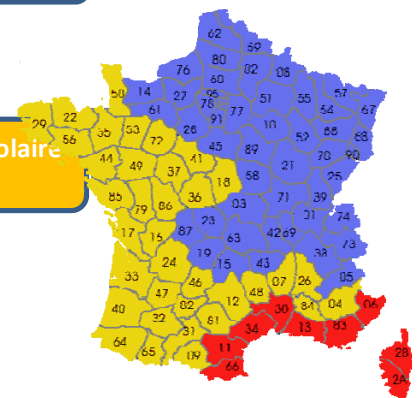
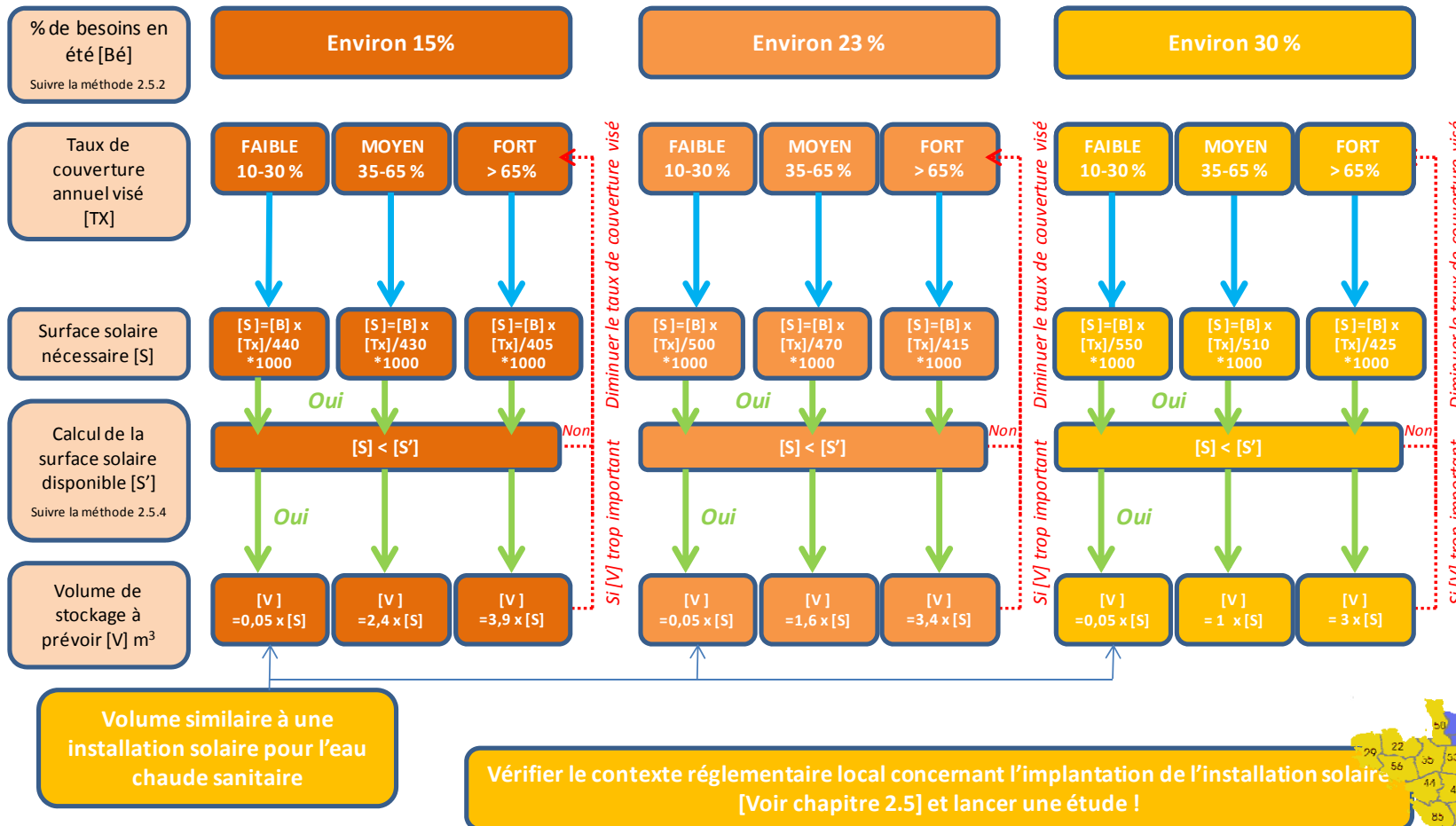
#### **3.1 Logigrammes de pré-dimensionnement**

En fonction de la zone climatique (H1,H2 ou H3) , les logigrammes présentés ci-après permettent de pré dimensionner l'installation solaire envisagée et le stockage nécessaire au regard des objectifs du taux de couverture des besoins par le solaire :

- 20% installation classique
- 50% installation innovante
- 80% installation très innovante

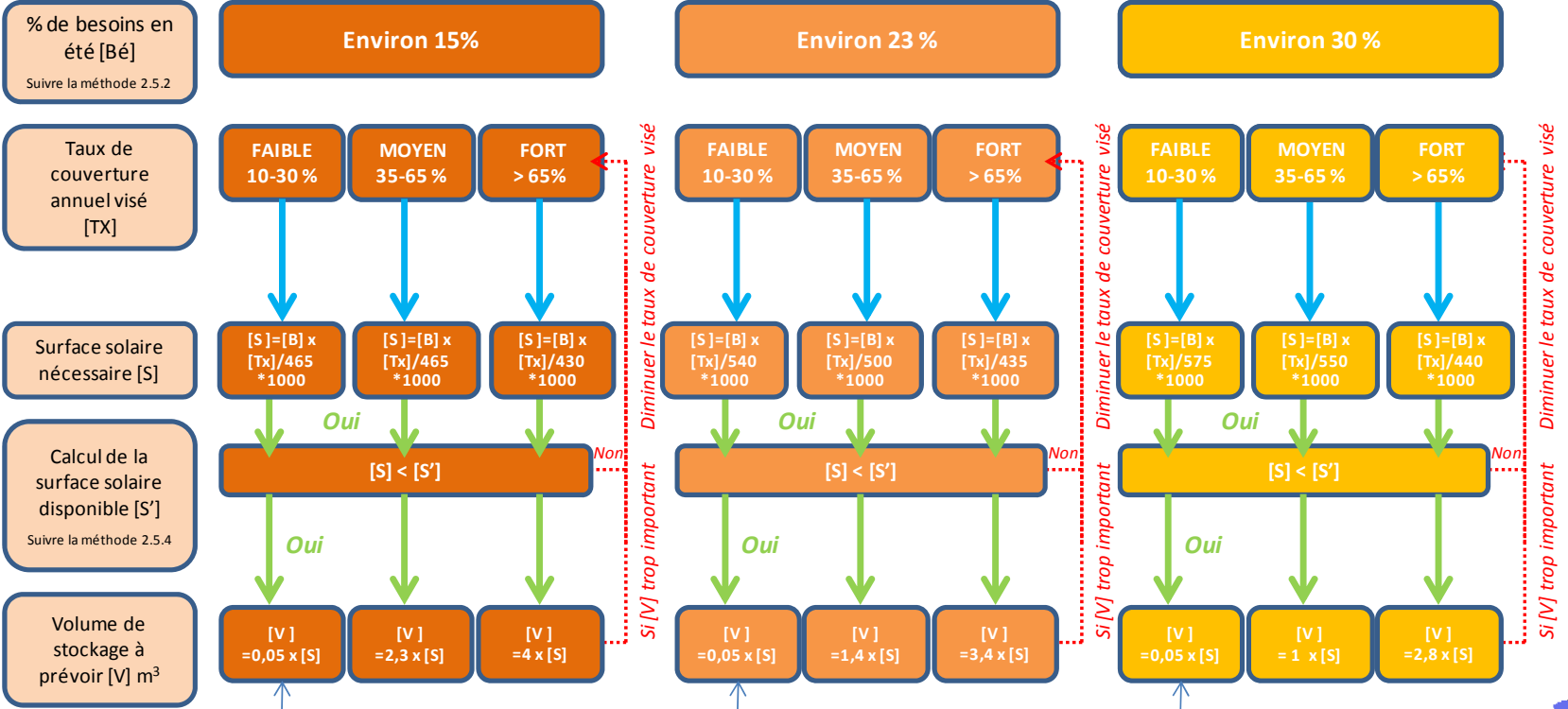
# PRE-DIMENSIONNEMENT

Logigramme 2 : Zone H1



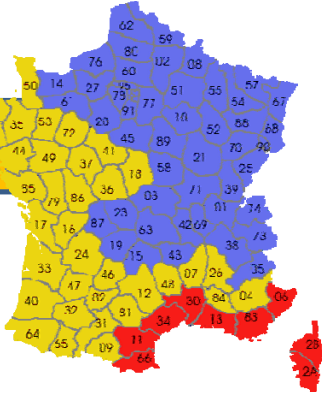
# PRE-DIMENSIONNEMENT

## Logigramme 2 : Zone H2



Volume similaire à une installation solaire pour l'eau chaude sanitaire

Vérifier le contexte réglementaire local concernant l'implantation de l'installation. [Voir chapitre 2.5] et lancer une étude !

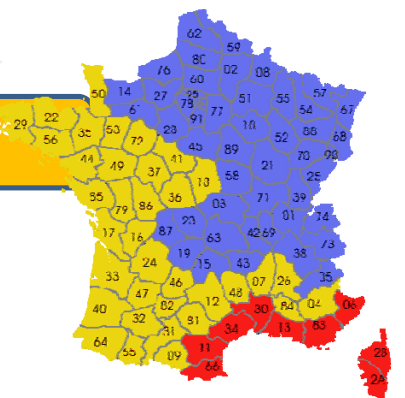
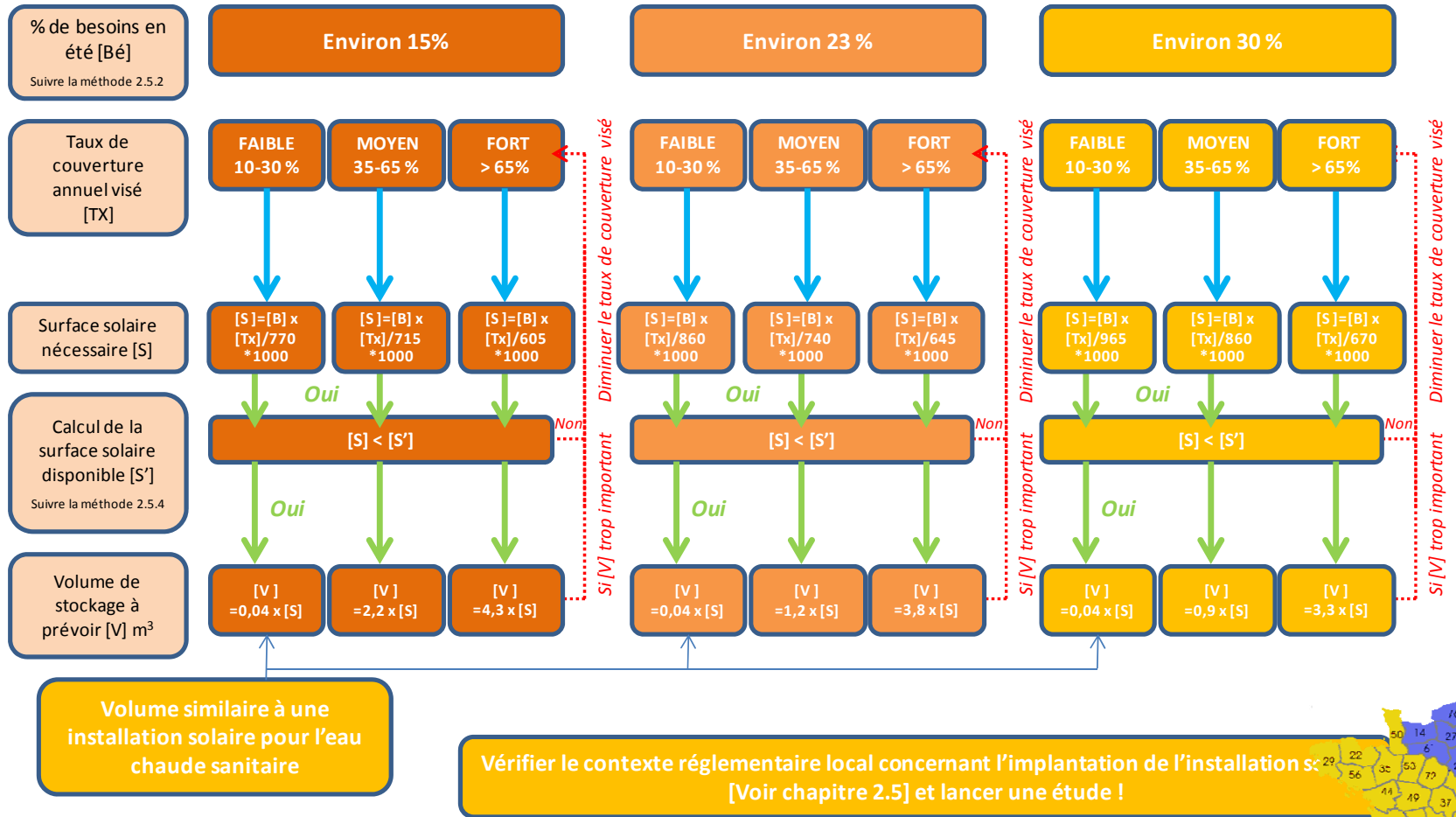






# PRE-DIMENSIONNEMENT

## Logigramme 2 : Zone H3



## 3.2 Choix du principe

### 3.2.1 Principe de raccordement solaire / réseau de chaleur

Le principe à retenir dépend plutôt :

- des possibilités et contraintes d'implantation des capteurs solaires,
- du profil de charge du réseau,
- de l'emplacement des autres moyens de production,
- des diamètres des canalisations du réseau.

Il est important de penser en premier lieu à la valorisation locale de l'énergie (production d'eau chaude sanitaire par exemple) afin d'optimiser les performances de l'installation solaire, bien que le montage juridique de l'autoconsommation soit complexe. Les évaluations technico-économiques réalisées en amont du projet doivent néanmoins intégrer l'étude de l'intérêt de cette valorisation locale.

Lorsque plusieurs options sont possibles, il est intéressant de prendre en compte les niveaux de température d'une part, le débit d'autre part. En effet, plus la température d'échange est basse, plus l'efficacité du système solaire est élevée.

L'impact de la variation du débit dans les capteurs est également à prendre en compte dans le choix du raccordement. Un débit minimum doit irriguer les capteurs pour que les températures restent à des valeurs acceptables par les composants du circuit (inférieures à 100°C-120°C) pendant toute la durée de vie de l'installation.

### 3.2.2 Contraintes du réseau de chaleur sur les différents principes de raccordement des systèmes solaires

Le tableau suivant décrit les principaux points qui peuvent permettre l'orientation vers une solution de raccordement plutôt qu'une autre pour un réseau de chaleur neuf basse température pour écoquartiers.

Installation	Type de raccordement	Points à prendre en compte
<b>Centralisé</b>	retour/retour	- Augmentation de la température de retour ce qui peut pénaliser d'autres générateurs
	retour/départ	- Régulation à température constante du circuit solaire afin de réinjecter à la bonne température du départ réseau
<b>Décentralisé</b>	retour/retour	- Débit minimum nécessaire dans la tuyauterie retour du réseau de chaleur à l'endroit de réinjection afin d'évacuer la puissance du système solaire - Diamètre de la tuyauterie en lien avec la puissance à réinjecter - Augmentation de la température de retour ce qui peut pénaliser d'autres générateurs
	retour/départ	- Diamètre de la tuyauterie en lien avec la puissance à réinjecter. Attention notamment si l'installation solaire est située en bout de ligne - Inversion possible du sens de circulation du débit dans la tuyauterie en fonction des consommations de la partie du réseau et de la réinjection solaire - Régulation à température constante du circuit solaire afin de réinjecter à la bonne température du départ réseau

**Tableau 2 : Contraintes du réseau de chaleur sur les différents principes de systèmes solaires**

### 3.3 Pré-chiffrage

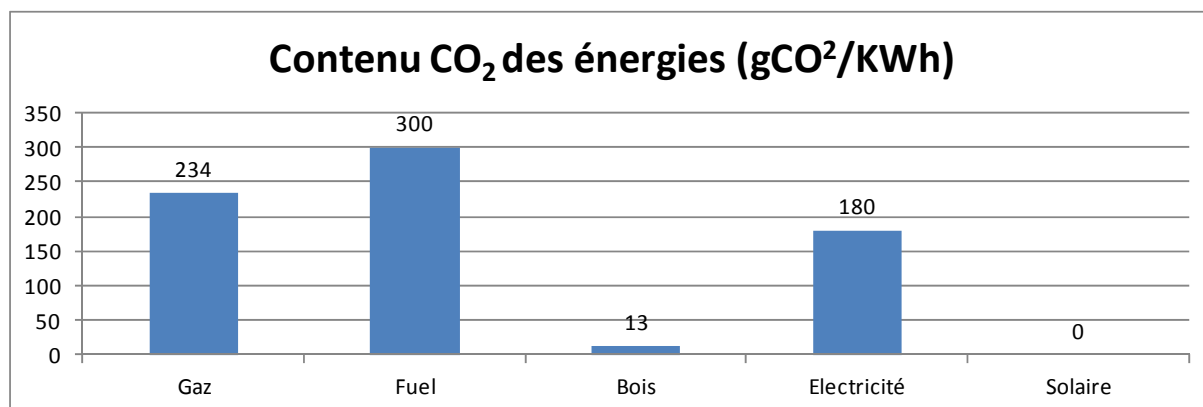
A partir des surfaces solaires et du volume de stockage et du principe de raccordement envisagé, le tableau suivant permet d'estimer les coûts d'investissement de la ou des installations solaires (fourniture et pose des matériels) raccordées à un réseau de chaleur.

PRE-CHIFFRAGE					
RACCORDEMENT SOLAIRE	INSTALLATION CENTRALISEE		INSTALLATION DECENTRALISEE		
CAPTEURS ET SYSTEMES SOLAIRES	Surface solaire totale [S] m <sup>2</sup>	Prix €HT/m <sup>2</sup>	Surface solaire totale [S] m <sup>2</sup>	Prix €HT/m <sup>2</sup>	
	[S] < 500 m <sup>2</sup>	500	Nb d'installation	2-3	4-10 > 10
	500 < [S] < 1 500 m <sup>2</sup>	450	[S] < 500 m <sup>2</sup>	520	560 630
	1500 < [S] < 5000 m <sup>2</sup>	400	500 < [S] < 1 500 m <sup>2</sup>	460	500 560
	[S] > 5000 m <sup>2</sup>	350	1500 < [S] < 5000 m <sup>2</sup>	400	440 490
			[S] > 5000 m <sup>2</sup>	370	400 450
STOCKAGE	Volume de stockage [V] m <sup>3</sup>		Prix €HT/m <sup>3</sup>		
	[V] < 60 m <sup>3</sup>		1 000		
	60 < [V] < 200 m <sup>3</sup>		7 50		
	200 < [V] < 500 m <sup>3</sup>		500		
	500 < [V] < 1000 m <sup>3</sup>		300		
	1000 < [V] < 5000 m <sup>3</sup>		200		
	5000 < [V] < 20000 m <sup>3</sup>		125		
	[V] > 20 000 m <sup>3</sup>		75		

Figure 9 : Ratio économique pour le pré-chiffrage d'installation solaire sur réseau de chaleur

### 3.4 Pré-bilan environnemental

Une centrale solaire présente un bilan environnemental nul puisque aucune énergie n'est directement consommée pour générer la chaleur.



Graphique 3 : Contenu CO<sub>2</sub> des énergies

## 4 Les bonnes pratiques

### 4.1 Au niveau des bâtiments

Pour favoriser la mise en place d'une centrale solaire sur le réseau, l'objectif est d'obtenir une température de retour sur le réseau la plus basse possible. Pour cela, les bâtiments raccordés ont un rôle primordial et peuvent agir sur cette température par les moyens suivants :

- la régulation de leur chauffage,
- le choix des émetteurs de chaleur,
- le type de raccordement au réseau.

La valorisation des énergies renouvelables, et donc du solaire sur un réseau de chaleur, peut aussi être maximisée en portant une attention particulière :

- au type de production d'ECS,
- aux autres usages possibles de la chaleur.

Les préconisations concernant ces postes sont présentées ci-après.

#### 4.1.1 Diminution et maîtrise des besoins de chaleur

Même si les nouveaux quartiers annoncent des consommations très faibles du fait de leur conception, la diminution et la maîtrise des consommations en phase exploitation restent un enjeu majeur. Pour cela une attention particulière doit être apportée :

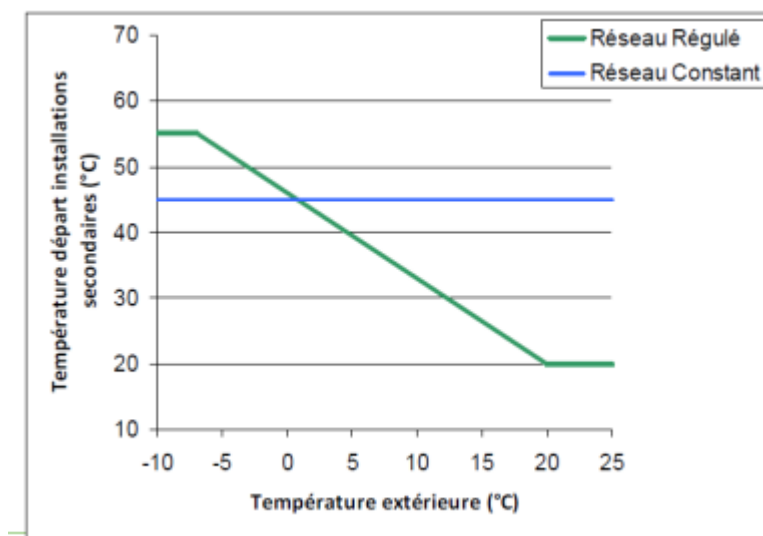
- en phase construction,
- en phase exploitation :
  - par le contrôle et le bon paramétrage des équipements de régulation :
    - température de consigne et température ressentie,
    - gestion des réduits,
    - Equilibrage des réseaux,
  - par un suivi et un entretien du réseau secondaire (désembouage, contrôle de l'équilibrage),
  - par la sensibilisation des usagers aux bonnes pratiques (ouverture des fenêtres maîtrisés, température de consigne dans les locaux...).

#### 4.1.2 Régulation des secondaires

**Pour assurer une température de retour la plus basse possible, les réseaux secondaires régulés doivent être à débit variable et régulés sur la température extérieure.**

Pour les réseaux constants, la consigne doit être la plus basse possible.

Le graphique ci-dessous présente un exemple de courbe de chauffe sur les réseaux secondaires de bâtiments pour un réseau de chaleur primaire basse température.



**Graphique 4 : Exemple de courbe de chauffe au secondaire pour le chauffage (réseau Clichy-Batignoles CPCU)**

Le régime de température du réseau primaire est spécifié par l'exploitant du réseau et est fonction de la source principale d'énergie (énergie fossile, bois, géothermie) et de la typologie du réseau (réseau 2 tubes ou réseau 3 tubes).

#### 4.1.3 Emetteurs à basse température

Pour être en adéquation avec cette régulation, les bâtiments de l'écoquartier doivent être équipés d'émetteurs basses températures (radiateurs basse température ou plancher chauffant) c'est-à-dire fonctionnant avec une température d'eau inférieure à 60°C.

#### 4.1.4 Schémas type de raccordement

Les installations solaires sur réseau de chaleur peuvent être classées en deux grandes catégories :

- les systèmes solaires centralisés,
- les systèmes solaires décentralisés.

##### 4.1.4.1 Installation centralisée

**Dans le cas d'une installation solaire centralisée**, le raccordement du bâtiment au réseau de chaleur est identique à celui d'un réseau de chaleur classique.

- Les capteurs solaires thermiques sont connectés au niveau de la chaufferie centrale du réseau de chaleur

Les capteurs solaires sont en général installés au sol à côté de la chaufferie. Une autre solution consiste à installer les capteurs solaires sur les toits des bâtiments environnant et à raccorder l'ensemble de ces champs à la chaufferie centrale par un réseau spécifique.

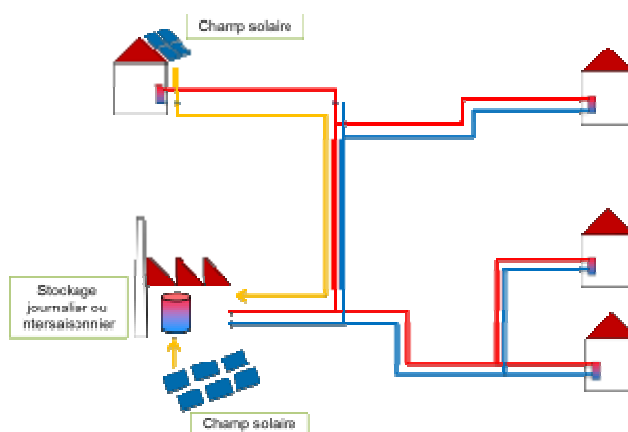


Figure 10 : Système solaire centralisé (source : INES)

- Sous-station de raccordement « basique » : 1 point d'échange pour différents usages. La régulation de la demande (consigne de température) est alors définie sur la température maximale nécessaire des différents usages.

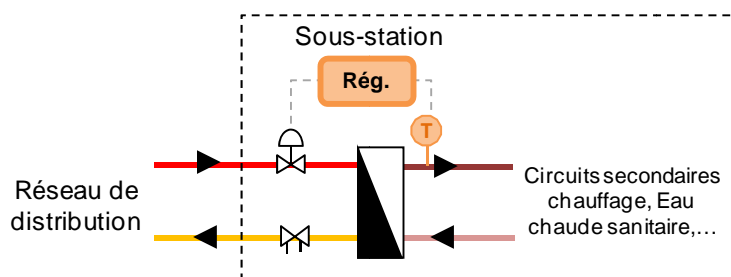


Figure 11 : Sous-station « basique »

Pour les sous-stations, la mise en place d'un point d'échange par usage est à privilégier :

- Sous-station de raccordement « améliorée » : 1 point d'échange par usage. La régulation de la demande (consigne de température) est alors définie pour chaque usage avec une optimisation de la régulation primaire (pas d'effet de mélange).

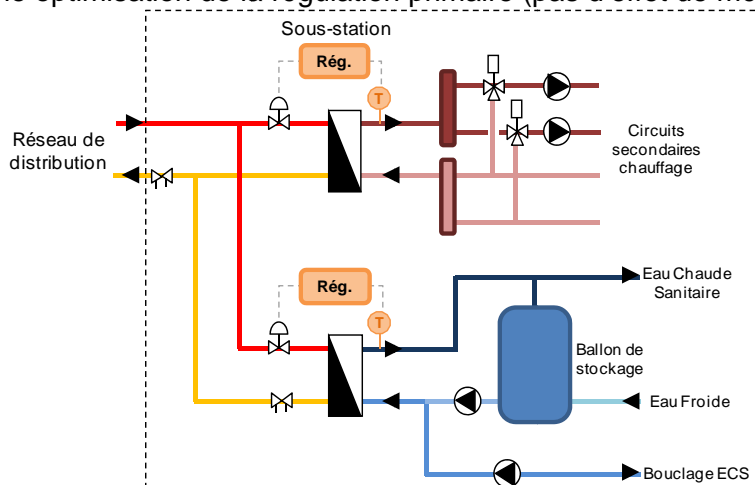
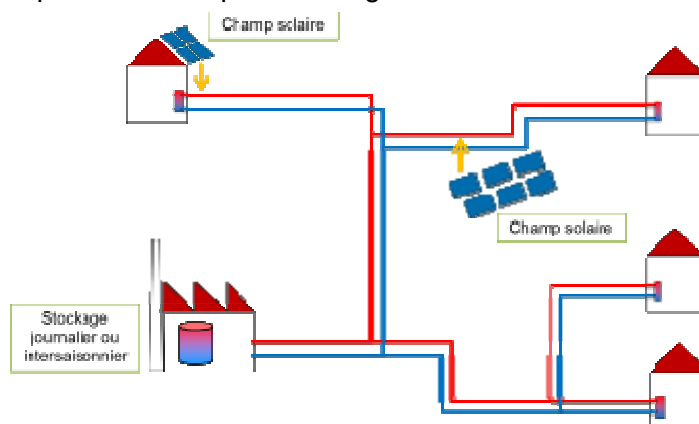


Figure 12 : Sous-station « améliorée »

#### 4.1.4.2 Installation décentralisée

Dans le cas d'installations solaires décentralisées, installées à différents endroits sur le réseau de chaleur notamment sur les toits des bâtiments, le raccordement de la sous-station du bâtiment peut être distinct du raccordement solaire ou combinés à celui-ci si le bâtiment souhaite restituer uniquement le surplus d'énergie solaire au réseau de chaleur.



**Figure 13 : Système solaire décentralisé (source : Ines)**

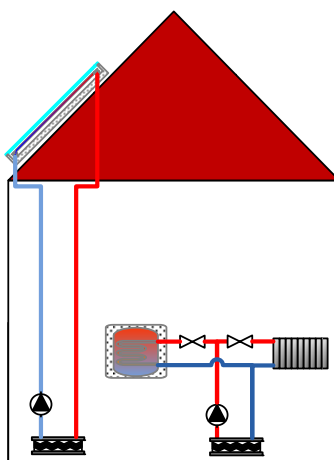
**Dans ce cas**, plusieurs modes de raccordement sont possibles. Les cas présentés ici sont des cas techniques et ne présument en aucun du montage juridique nécessaire à ces solutions.

Dans ce cas de figure il existe plusieurs possibilités de raccordement, qui peuvent être classées en deux grandes familles :

- la réinjection totale de la production solaire au réseau de chaleur,
- la réinjection partielle de la production solaire avec autoconsommation via le circuit solaire,

- Réinjection totale au réseau de chaleur

L'ensemble de l'énergie solaire récupérée est réinjecté sur le réseau de chaleur. Il n'y a pas de consommation locale au niveau du bâtiment.



**Réinjection totale**

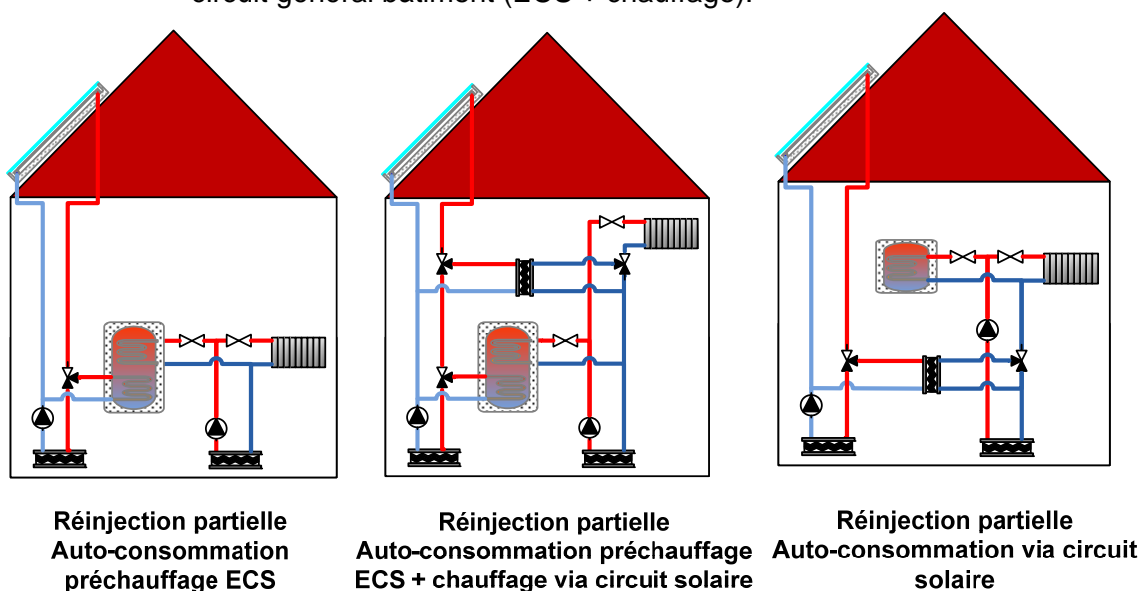
**Figure 14 : Principe de réinjection totale au réseau de chaleur**



### Réinjection partielle au réseau de chaleur avec autoconsommation via le circuit solaire

L'énergie solaire récupérée est consommée en priorité au niveau du bâtiment ; l'échange de chaleur s'effectue directement entre le circuit solaire et les points de consommation. L'énergie solaire peut être valorisée en :

- préchauffage ECS ;
- préchauffage ECS + chauffage ;
- circuit général bâtiment (ECS + chauffage).



**Figure 15 : Principe de réinjection partielle au réseau de chaleur avec autoconsommation via le circuit solaire**

#### 4.1.5 Production d'ECS avec stockage

L'eau chaude instantanée (sans stockage) participe à l'abaissement de la température de retour du réseau mais ajoute des contraintes fortes pour un réseau EnR. Elle génère des appels de puissance qui nécessite de sur dimensionner les équipements de production de chaleur et d'augmenter les diamètres des réseaux engendrant donc des investissements supplémentaires et des pertes réseaux plus importantes.

Pour favoriser le bon fonctionnement du solaire ou d'autres énergies renouvelables, il est préférable d'opter pour une production d'eau chaude avec stockage.

La production d'ECS peut être dimensionnée idéalement en accumulation. Un facteur limitant étant la place disponible en local technique.

**A l'inverse du solaire thermique utilisé à l'échelle du bâtiment pour produire l'eau chaude, le solaire thermique sur réseau permet aussi de couvrir les consommations d'énergies pour le bouclage de l'eau chaude sanitaire.**

#### 4.1.6 Les autres usages de la chaleur

Pour favoriser l'utilisation du réseau de chaleur à base d'EnR et de solaire, d'autres sources de consommation d'énergies peuvent être adaptées pour fonctionner sur le réseau d'eau chaude du bâtiment :

- Les lave-vaisselles peuvent être alimentés directement en eau chaude (au lieu de l'eau froide). L'énergie apportée par le réseau de chaleur se substitue ici à l'énergie électrique du lave-vaisselle.
- Certains lave-linges sont aussi équipés d'une double alimentation (en eau chaude et eau froide), la machine assurant la fonction de mitigeur en fonction de son besoin. De même que pour le lave-vaisselle, c'est de l'énergie électrique qui est ainsi substituée.
- Des machines à absorption peuvent aussi utiliser la chaleur du réseau pour produire du froid et climatiser les bâtiments de bureaux par exemple. Dans ce cas, le niveau de température de départ du réseau devra être compatible avec les températures de fonctionnement des machines à absorption (65-85°C)

## 4.2 Au niveau du réseau de chaleur :

### 4.2.1 Optimisation du tracé

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).

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.

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. Les points importants à traiter sont :

- la position de la chaufferie centrale (accessibilité, réduction des nuisances),
- la position des bâtiments les plus consommateurs par rapport à la chaufferie,
- la position des bâtiments entre eux, avec la possibilité de circuler en vide sanitaire ou sous-sol.

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. 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.

Impact de la mise en œuvre sur le prix du réseau de chaleur Exemple : DN 100	Prix du tuyau fourni posé €HR/ml	Complément €/ml	Total €HT/ml	Ecart prix
Passage en parking ou vide sanitaire	293		293	
Réseau enterré	266	Tranchée + remblai	341	16%

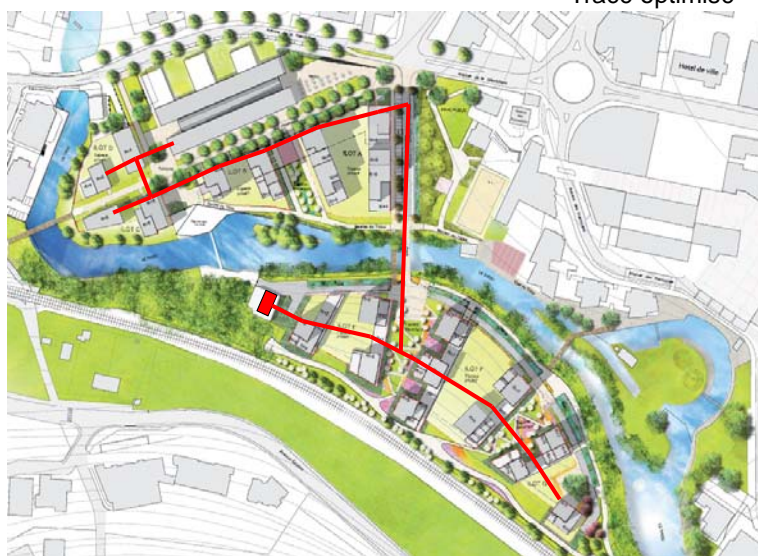
**Tableau 3 : Estimation des coûts d'un réseau de chaleur enterré ou en parking**

La mise en œuvre en parking ou vide sanitaire est pour le lot chauffage légèrement plus onéreux puisque le prix intègre les systèmes de fixation des canalisations. En revanche, le réseau de chaleur enterré nécessite des travaux de VRD (tranchée et remblai hors revêtement final) qui engendre un surcoût final d'environ 16% pour une canalisation de DN 100.

### Retour d'expérience Ecoquartier de Cran Gévrier (74), 600 logements

Réseau de chaleur de 850 m avec chaufferie bois (800 kW + 300 kW)

71 % du réseau de chaleur en hors sol (parking, vide sanitaire).



#### Investissement pour le réseau de chaleur :

247 308 €HT pour le lot chauffage

25 275 €HT pour le lot VRD (Tranchée et remblai)

Soit un total de total de 272 583 €HT = 320 €HT/ml

**Economie réalisée par le passage d'environ 600 m en parking et vide sanitaire : 30 000 €HT soit 11% de l'investissement du réseau de chaleur**

**En ce qui concerne les déperditions**, si l'on considère une température moyenne du sol de 12°C, une température moyenne de 20°C dans les parkings (16°C en hiver, 27 °C en été) et de 15°C dans un vide sanitaire (10°C en hiver, 20°C en été), la déperdition du réseau de chaleur sera diminuée de 16% dans un parking et de 6% dans un vide sanitaire (hors gain sur les consommations du bâtiment).

## 4.2.2 Sur-isolation des conduites

### 4.2.2.1 Gain énergétique

Le tableau ci-dessous présente en fonction du DN d'un tube en acier noir, la perte spécifique de chaleur en W/(m.K) en fonction de l'épaisseur d'isolation (numérotée de 1 à 3).

DN	Pertes de chaleur U W/mk			Ecart de performance entre la classe 2 et la classe 1	Ecart de performance entre la classe 3 et la classe 1
	Classe 1	Classe 2	Classe 3		
20	0,1292	0,111	0,1019	-14%	-21%
25	0,1572	0,1311	0,1186	-17%	-25%
32	0,1607	0,1424	0,1294	-11%	-19%
40	0,1843	0,1606	0,1442	-13%	-22%
50	0,2054	0,1794	0,1562	-13%	-24%
65	0,241	0,2009	0,1754	-17%	-27%
80	0,2484	0,2105	0,1857	-15%	-25%
100	0,2599	0,2193	0,193	-16%	-26%
125	0,3002	0,253	0,2162	-16%	-28%
150	0,3557	0,287	0,2388	-19%	-33%
200	0,3887	0,3047	0,2505	-22%	-36%
250	0,3779	0,2985	0,2514	-21%	-33%
300	0,4342	0,3412	0,2774	-21%	-36%

**Tableau 4 : Perte de chaleur pour 1 tube pré-insulé en W/(m.K)**

**A retenir :**

- La surisolation en classe 2 réduit les pertes réseaux de 16% en moyenne
- La surisolation en classe 3 réduit les pertes réseaux de 27% en moyenne.
- Plus les diamètres sont importants, plus la surisolation est bénéfique.

#### 4.2.2.2 Surcoût

L'écart de prix entre une classe 1 et une classe 3 est de 15% en moyenne.

### **Retour d'expérience chaufferie bois et réseau de chaleur, Résidence le Perron St Marcellin (38)**

Réseau de chaleur de 900 m avec chaufferie bois (850 kW + 350 kW)

Besoins de chaleur : 3373 MWh

	Isolation de base	Isolation renforcée (classe 3)
Pertes réseaux avec une isolation de base :	340 MWh	250 MWh
Rendement	90%	92,5%
Coût du réseau de chaleur	397 001 €HT	466 797 (+17%)
Prix de l'énergie (R1)		42 €HT/Mwh
Gain énergétique		90 MWh
Gain annuel		3780 €HT
Temps de retour brut		18 ans
Temps de retour avec subvention fond chaleur (55%)		8 ans
Durée de vie des canalisations		50 ans

**Figure 16 : Comparaison économique d'une isolation de base avec une isolation renforcée**

#### A retenir :

La surisolation (classe 3) des canalisations présente un temps de retour brut bien inférieur à la durée de vie des canalisations.

### **4.2.3 Régulation de la température de départ du réseau**

La température de départ d'un réseau de chaleur est souvent contrôlée directement par une consigne (au niveau des moyens de production ou avec des régulations).

Le choix du niveau de température de départ dépend de différents paramètres propres à chaque réseau de chaleur mais dont on peut citer les principaux :

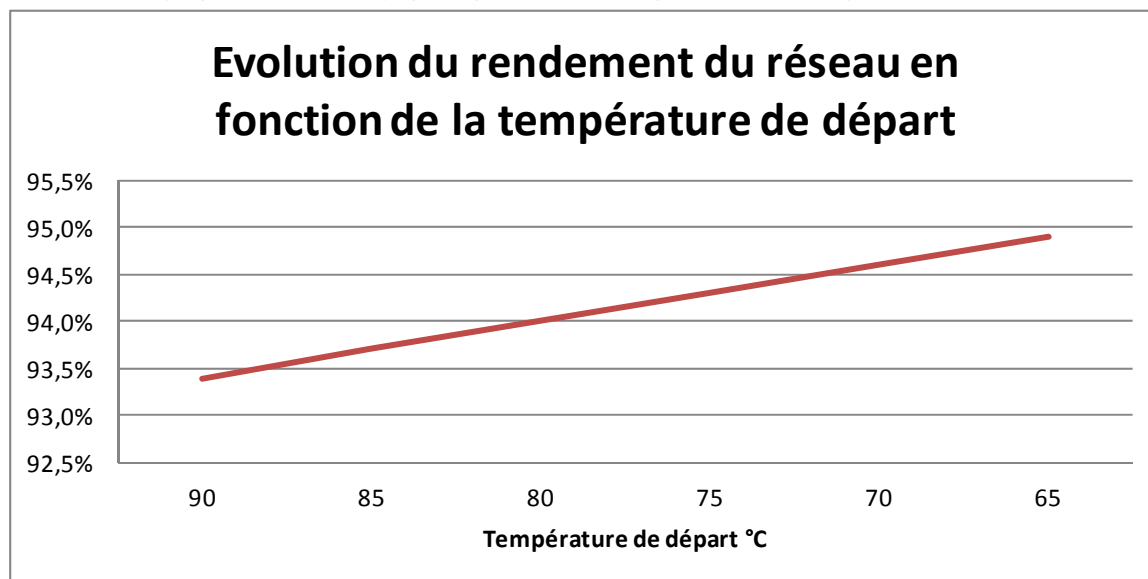
- en fonction de la température demandée par les secondaires en sous-station,
- en fonction des pertes thermiques (en température), entre le point de production et les points de livraison,
- en fonction des capacités en débit et/ou en pression du réseau, qui peut inciter à augmenter la température de départ pour augmenter le delta de température,
- en fonction de contraintes sur les moyens de production,
- en fonction de la qualité de l'équilibrage et de la régulation du réseau.

### **Exemple sur un cas d'études : Quartier Gare de Pantin 2016-2025**

- Besoins totaux pour le scénario de performance énergétique retenu : 8871 MWh
- Longueur du réseau 2300 m

Le fonctionnement du réseau de chaleur a été simulé avec une température de départ constante, des sous-stations à débit fixe et un delta T de 20°C en sous-station.

Compte tenu de la forte densité de construction du site, le projet présente un rendement réseau bon (supérieur à 93%) quel que soit la température de départ.



Pour ce projet, un départ à 65°C permet de gagner 1,5 points sur le rendement réseau soit environ 160 MWh/an et 5 160 eHT/an (R1 = 35,25 €HT, Amorce 2012 réseau EnR).

#### **A retenir :**

- Plus la température de départ en chaufferie est basse, meilleur est le rendement du réseau
- Le choix de la température de départ doit rester compatible avec les températures demandées en sous-station (ECS, départ constant...)

#### **4.2.4 Régulation du débit**

La régulation du débit sur le circuit primaire couplée à des pompes à vitesse variable permet d'adapter le débit à la demande de chaleur, de favoriser l'écart de température dans les sous-stations et donc de diminuer la température de retour.

### **Exemple sur un cas d'études : Quartier Gare de Pantin 2016-2025**

- Besoins totaux pour le scénario de performance énergétique retenu : 8871 MWh
- Puissance souscrite : 11 815 kW
- Puissance chauffage : 7660
- Longueur du réseau 2300 m

CAS 1 Régime 90-70°C				CAS 2 Régime 65° Constant			
Text	Tdépart			Text	Tdépart		
-7°C	90°C			-7°C	65°C		
20°C	70°C			20°C	65°C		
		Débit Fixe	Débit Variable			Débit Fixe	Débit Variable
	T Départ	T Retour	T Retour		T Départ	T Retour	T Retour
Janvier	82,0	70,1	61,7	Janvier	65,0	58,1	52,6
Février	81,3	69,9	61,4	Février	65,0	58,5	52,9
Mars	79,2	68,8	59,7	Mars	65,0	59,4	53,1
Avril	77,7	67,9	58,8	Avril	65,0	60,0	53,2
Mai	73,3	65,2	53,3	Mai	65,0	61,4	50,9
Juin	71,5	64,2	55,2	Juin	65,0	62,1	53,3
Juillet	70,9	65,0	59,0	Juillet	65,0	62,9	56,6
Août	70,8	64,5	57,6	Août	65,0	62,7	55,6
Septembre	72,6	65,0	54,6	Septembre	65,0	61,8	52,3
Octobre	74,9	66,5	53,7	Octobre	65,0	61,2	50,5
Novembre	79,7	68,9	60,2	Novembre	65,0	59,2	53,2
Décembre	81,2	69,4	60,3	Décembre	65,0	58,1	52,1
Total	78,9	68,5	59,4	Total	65,0	59,4	52,8

Débit moyen m <sup>3</sup> /h	106,3	65,3	Débit moyen m <sup>3</sup> /h	233,4	104,5
Puissance Electrique kW	10,76	6,61	Puissance Electrique kW	23,62	10,58
Consommation MWh	94	58	Consommation MWh	207	93
Economie MWh		36	Economie MWh		114
Economie €HT/an		2181	Economie €HT/an		6857

La variation de débit permet de réduire sensiblement les températures de retour et donc les pertes réseaux.

L'utilisation de pompe à variation électronique de vitesse permet de réduire les consommations électriques de la chaufferie. .

### **A retenir :**

*La régulation du débit sur le circuit primaire doit être couplée à la mise en place de :*

- de vannes 2 voies motorisées en sous-station,
- d'une mesure de pression à la sous-station en bout de réseau avec système de communication pour faire remonter l'information.

*Elle permet d'abaisser fortement la température de retour.*

*L'usage de pompe à variation électronique de vitesse pour assurer cette variation de débit en comparaison avec des systèmes mécaniques (vannes) permet en plus de réduire les consommations électriques de la chaufferie.*



## 4.3 Au niveau de la production de chaleur

### 4.3.1 Optimisation de la production solaire

#### 4.3.1.1 Implantation

L'intégration d'une ou plusieurs installations solaires sur un réseau de chaleur peut se faire de différentes façons, que ce soit au sol, en toiture, en ombrière de parking, etc... Le choix d'implantation est fonction du prix et des contraintes d'urbanisme. De plus, c'est l'implantation des capteurs par rapport au réseau de chaleur qui détermine le principe de raccordement (centralisé, décentralisé) et le dimensionnement. Outre la prise en compte de la place disponible et du profil des besoins énergétiques, le choix de l'implantation des capteurs est fonction des éléments suivants :

- orientation la plus voisine possible du sud,
- distance la plus courte au réseau de chaleur,
- absence d'ombres portées,
- facilité de pose,
- accessibilité pour l'entretien.

Le local technique solaire devra être prévu à proximité du ou des champs de capteurs.

Les Cahiers Techniques du CSTB n°1827 et n°1828 précisent les prescriptions communes respectivement aux capteurs solaires plan vitrés et capteurs solaires à tubes sous vide, qui précisent notamment que **les capteurs doivent être implantés en des endroits non accessibles au public**. L'implantation se fait de façon « indépendante sur supports » ou « incorporée en toiture ».

#### 4.3.1.2 Technologie

Dans le cadre d'un réseau de chaleur solaire, il est nécessaire d'utiliser des capteurs adaptés : capteur plan haute performance ou capteur sous vide. Les technologies solaires sont détaillées en annexe1.

#### 4.3.1.3 Principe de raccordement hydraulique du solaire sur le réseau de chaleur

Il existe trois principes de raccordement du solaire sur le réseau de chaleur :

- Connexion départ / départ : augmentation de la température de départ
- Connexion retour / départ : connexion standard de générateur
- Connexion retour/retour : réchauffage du retour



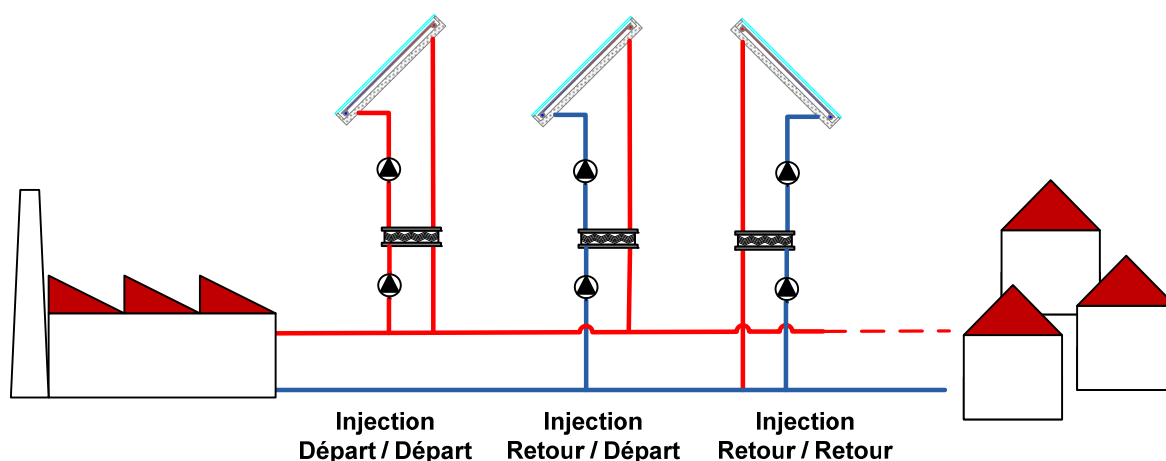


Figure 17 : Principe de raccordement des installations solaires

Type raccordement	Avantages / Inconvénients
Départ / Départ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmente la température du circuit aller</li> <li>- Fonctionnement des capteurs solaires à plus haute température</li> <li>- En principe jamais utilisé</li> </ul>
Retour / Départ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Température de réinjection définie par le départ du réseau -&gt; solaire fonctionne à débit variable</li> <li>- pompe de réinjection doit surpasser la différence de pression entre départ et retour du réseau</li> <li>+ Pas d'influence du solaire sur la température de retour</li> </ul>
Retour / Retour	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation température de retour peut diminuer les performances d'autres générateurs</li> <li>+ Température de la centrale solaire est la plus faible comparée aux autres modes</li> </ul>

Tableau 5 : Avantages/inconvénients des différents principes de connexion hydraulique des installations solaires

### 4.3.2 Valorisation des autres énergies ENR&R

Le tableau ci-dessous présente les points forts et les points de vigilance lorsque l'énergie solaire est couplée à une autre source d'énergie renouvelable ou de récupération :

	Points forts	Points de vigilance
<b>Bois</b>	<p>En période estivale, les chaudières bois fonctionnent souvent avec des rendements dégradés ou sont arrêtées au profit de l'énergie fossile d'appoint</p> <p><i>Avec un dimensionnement suffisant, le solaire permet de conforter l'arrêt des chaudières en limitant l'utilisation des énergies fossiles.</i></p>	<p>Les réseaux de chaleur au bois peuvent fonctionner avec des régimes de températures élevées (90°C/70°C) peu compatibles avec le solaire.</p> <p><i>Cependant, un réseau de chaleur au bois peut être conçu pour fonctionner à plus basse température.</i></p>
<p><b>Récupération d'énergie par pompe à chaleur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Géothermie</li> <li>- Eaux usées</li> <li>- Eau de mer/lac</li> <li>- Boucle d'eau</li> </ul>	<p>Les sources de chaleur basse température (&lt; 30°C) sont valorisées par une pompe à chaleur qui relève la température à un maximum de 55°C à 65°C.</p> <p><i>Ces régimes de températures sont plus favorables à l'intégration du solaire que pour un réseau de chaleur classique ou au bois.</i></p> <p>La pompe à chaleur n'est pas le moyen le plus performant pour produire de l'eau chaude à haute température. En été, l'utilisation des énergies fossiles ou de l'énergie électrique (performance dégradée de la géothermie) est donc plus importante.</p> <p><i>Le solaire comme le bois permet donc de limiter l'utilisation des énergies fossiles et fissiles.</i></p>	<p>La géothermie est très sensible au niveau de température. Il faut veiller à ne pas dégrader les performances de la géothermie avec l'intégration du solaire thermique dans le réseau.</p>
<b>UVE(UIOM) ou chaleur industrielle</b>		<p>L'énergie fatale issue d'un UVE ou d'une industrie est liée à un process dont la production n'est pas ou peu régulée à la demande de chaleur. Le solaire ne doit pas réduire cette valorisation.</p> <p><i>Le solaire est pertinent lorsque l'énergie fatale ne permet pas de couvrir l'ensemble des besoins, notamment en période estivale.</i></p>

**Tableau 6 : Points forts et points de vigilance lors du couplage du solaire avec une autre énergie renouvelable ou de récupération**

## 5 La suite du projet ?

### 5.1 Les prescriptions aux promoteurs et bailleurs

L'étude de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables est maintenant presque systématiquement demandée au stade du dossier de création de ZAC pour alimenter la partie Energie de l'étude d'impact (art. L128-4 Code de l'Urbanisme). En s'appuyant sur les conclusions de cette étude, il est possible de définir des prescriptions applicables à chaque lot à aménager dans les phases opérationnelles.

Selon la nature de l'arbitrage en matière de desserte énergétique et l'avancement des études techniques, les documents de prescriptions définiront des obligations plus ou moins précises. Entre la création de la ZAC et l'obtention du permis de construire pour un opérateur, plusieurs documents peuvent permettre d'intégrer ces prescriptions techniques pour la mise en place d'un réseau de chaleur :

- Plan Local d'Urbanisme (PLU) : dans le cadre d'une procédure de ZAC, le PLU peut faire l'objet d'une modification de sorte que le règlement applicable soit adapté aux ambitions du projet d'aménagement. Dans ce cas, il est possible de fixer les conditions de desserte par les réseaux des terrains susceptibles de recevoir des constructions et en parallèle d'imposer le respect de performances énergétiques et environnementales renforcées.
- Cahier de Prescriptions Architecturales Urbaines Paysagères et Environnementales (CPAUPE) : l'aménageur de la ZAC définit très souvent un ensemble de prescriptions, notamment environnementales, valables pour l'ensemble de la ZAC. Généralement, les prescriptions d'un CPAUPE définissent le ou les types de desserte énergétique et les conséquences pour l'aménagement des lots à bâtir selon le phasage du projet. Ce document est par la suite annexé au CCCT.
- Cahier des Charges de Cession de Terrain (CCCT) : pour chaque lot, l'aménageur définit une fiche de lot qui rappelle les éléments de programmation imposés. La seule information obligatoire d'un CCCT est la surface de plancher, mais des exigences environnementales qui peuvent venir préciser les prescriptions valables pour le lot. Ces CCCT peuvent être extrêmement précis sur l'aménagement de la parcelle : systèmes, équipements et locaux techniques, accessibilité des espaces pour entretien, etc.

Dans tous ces documents, les prescriptions favorisant la bonne réalisation et le bon fonctionnement du réseau de chaleur solaire seront énoncées de façon plus ou moins précise selon l'avancement des études :

- l'obligation d'un raccordement au réseau de chaleur,
- les prescriptions pratiques pour la conception des secondaires dans les bâtiments,
- les besoins en surface de toiture ou de solaire et les spécifications techniques associées (pente, orientation) par lot (dans le cas d'installation décentralisée),
- la possibilité de mettre à disposition les toitures,
- ....

## 5.2 Le classement du réseau

Le classement du réseau de chaleur est un outil qui permet de sécuriser le développement d'un réseau de chaleur lors de la construction d'un nouveau quartier surtout si le phasage des constructions s'étalent sur plusieurs années.

Le classement d'un réseau de chaleur ou de froid est une procédure permettant de définir des zones à l'intérieur desquelles toute nouvelle installation doit être raccordée au réseau.

La procédure de classement d'un réseau de chaleur ou de froid permet de rendre obligatoire le raccordement à ce réseau, pour les nouvelles constructions implantées sur des secteurs préalablement définis. La loi Grenelle 2 a redéfini en 2010 les contours et les modalités du classement des réseaux de chaleur et de froid.

Le classement d'un réseau n'est possible que si trois conditions sont respectées :

- le réseau est alimenté à au moins 50% par des énergies renouvelables ou de récupération ;
- un comptage des quantités d'énergie livrées par point de livraison est assuré ;
- l'équilibre financier de l'opération pendant la période d'amortissement des installations est assuré.

Le classement est prononcé par délibération de la collectivité ou du groupement de collectivités sur le territoire duquel se trouve le réseau :

- Sur les réseaux existants, un audit énergétique examinant les possibilités d'amélioration de leur efficacité énergétique doit être réalisé ;
- Lorsqu'il existe une commission consultative des services publics locaux (art. L1413-1 du CGCT), elle doit être consultée pour avis.

La décision de classement définit, à l'intérieur de la zone desservie par le réseau, des périmètres de développement prioritaires :

- A l'intérieur de ces périmètres, le raccordement au réseau est obligatoire pour toute installation d'un bâtiment neuf ou faisant l'objet de travaux de rénovation importants, dès lors que la puissance pour le chauffage, la climatisation ou la production d'eau chaude dépasse 30 kilowatts.
- Une dérogation à cette obligation est possible à condition de démontrer que les installations ne peuvent être raccordées au réseau dans des conditions techniques ou économiques satisfaisantes ou dans le délai nécessaire pour assurer la satisfaction des besoins des usagers.

### 5.3 L'initiative et le mode de gestion du projet

Un projet de réseau de chaleur solaire se développera sur la même base d'un projet de réseau de chaleur EnR.

Cependant à la différence d'un projet EnR Bois Energie ou Géothermie, la mise en place d'une centrale solaire engendre plusieurs problématiques :

- En contrepartie d'une énergie gratuite pendant la durée de vie des équipements, l'investissement de départ est plus important ce qui peut freiner les collectivités en régie ou limiter la taille des projets lors d'une concession.
- La surface nécessaire pour implanter une surface solaire au regard de la pression foncière permettra rarement d'envisager des centrales au sol mais nécessitera de mobiliser les toitures de l'éco-quartier.

L'initiative d'un réseau de chaleur doit être prévu le plus tôt possible dans le développement d'un projet d'éco quartier afin d'être intégré au plus tôt dans les documents programmes.

#### 5.3.1 Initiative publique

##### 5.3.1.1 Montage dans le cadre d'une régie

Etant donné l'importance des investissements, si la collectivité locale compétente en matière de gestion de réseau de chaleur sur le territoire de l'éco quartier a les capacités d'investir et que la surface solaire peut être implantée au niveau d'une chaufferie, un service de production, de distribution et de fourniture de chaleur peut être créé dans le cadre d'une régie.

Dans ce cadre, la collectivité locale est maître d'ouvrage de la réalisation du réseau de chaleur et exploitante du service qui peut avoir pour périmètre celui de l'éco quartier.

A noter : Si les investissements sont possibles mais que la surface solaire est insuffisante en chaufferie, le maître d'ouvrage peut solliciter les maîtres d'ouvrages et futurs propriétaires des bâtiments pour mettre en place des contrats de mise à disposition de toiture.

##### 5.3.1.2 Montage dans le cadre d'une délégation de service public

Si la collectivité locale compétente en matière de gestion de réseau de chaleur sur le territoire de l'éco quartier n'a pas les capacités de financement nécessaires, elle peut décider de déléguer sa réalisation, son financement et son exploitation à un tiers, dans la plus grande partie des cas, un opérateur privé.

Cependant, ce montage ne sera possible que si le service public délégué permet de dégager une rentabilité suffisante pour qu'un investisseur privé puisse se positionner.

##### 5.3.1.3 Montage dans le cadre d'un projet d'aménagement sous forme de ZAC

Dans ce cadre, il s'agira de prévoir un réseau de chaleur dans le périmètre de la ZAC qui pourra être inclu dans le programme des équipements publics à réaliser dans la zone.

Le programme des équipements publics devra dans ce cas être accompagné de l'accord de la collectivité compétente en matière de réseaux de chaleur, qui se prononce sur le principe de la réalisation de ces équipements, de leur incorporation dans leur patrimoine, et, le cas échéant, de leur participation au financement.

Dans ce cadre, les installations peuvent être financées tout ou en partie par une fiscalité spécifique aux ZAC (TLE ou mise à la charge de l'aménageur,...). Le mode de financement de l'investissement peut donc être différent qu'en maîtrise d'ouvrage directe (ici confiée à

l'aménageur) mais l'exploitation revient à la collectivité compétente (en régie ou en DSP – affermage).

#### 5.3.1.4 Montage dans le cadre d'un projet d'aménagement hors ZAC

Dans le cadre d'un projet d'aménagement hors ZAC, il est possible d'avoir recours à un partenariat un projet urbain partenarial (PUP).

Le PUP repose sur une initiative privée pour une opération privée portée par un constructeur ou un aménageur (public ou privé) qui peut avoir un intérêt communal ou intercommunal. Il s'agit d'un outil financier qui permet l'apport de participations à des équipements publics rendus nécessaires par une opération de construction ou d'aménagement. C'est un outil de préfinancement des équipements publics mais l'exploitation revient à la collectivité compétente (en régie ou en DSP – affermage).

### **5.3.2 Initiative privée**

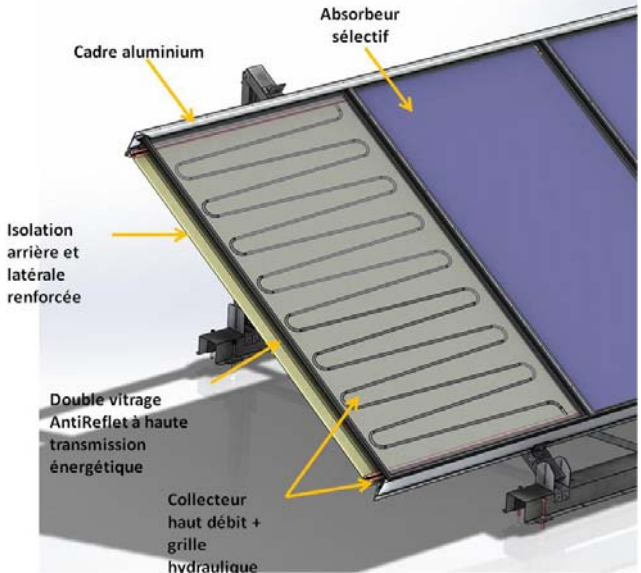

Un opérateur privé peut de sa propre initiative décider de créer sur le territoire d'un éco quartier soit :

- Un service de production, de transport et de fourniture de chaleur comprenant des installations solaires implantées au niveau de la chaufferie s'il dispose de la surface nécessaire ou solliciter les maitre d'ouvrages et futurs propriétaires des bâtiments pour mettre en place des contrats de mise à disposition de toiture,
- Des installations solaires thermiques indépendantes du réseau de chaleur qui fourniront de la chaleur au réseau de chaleur.

## Annexe A : Technologies de capteurs solaires

### Les technologies de capteurs solaires adaptées aux réseaux de chaleur

Les systèmes solaires sur réseau de chaleur s'orientent vers les technologies de capteurs plans à double couverture ou appelés aussi « haute performance » et vers des capteurs à tubes sous-vide.

Capteur plan « haute performance »	Capteur sous-vide
	
<p>Technologie avec double couverture transparente : limitation des pertes en face avant            Montage : champ ou intégration            Surface unitaire : 2 à 30 m<sup>2</sup></p>	<p>Technologie du tube : simple ou double paroi            Technologie de circulation du fluide : caloduc ou circulation directe            Montage : champ ou sur-toiture            Surface unitaire : 2-3 m<sup>2</sup>, champ monté sur site</p>

Dans un capteur plan, toute la surface plane recouverte de matériaux absorbant assure la collecte d'énergie solaire. Le rayonnement solaire est transmis sous forme de chaleur au fluide caloporteur (mélange d'eau et de glycol) par l'absorbeur. Le fluide chaud passe de capteurs en capteur au moyen des collecteurs. Les pertes de chaleur dans l'environnement sont limitées par la présence d'isolant en face arrière, et parfois d'un double vitrage en face avant.

Dans un capteur à tube sous-vide, ce sont les ailettes situées de part et d'autre des collecteurs qui assurent la collecte du rayonnement et le transfert au fluide. Les pertes de chaleur sont limitées par le fait que les absorbeurs sont ainsi situés dans des tubes en verres tirés au vide. Chaque tube est connecté à un collecteur principal. Certains capteurs permettent de fonctionner en eau seule.



## Exemple de champs solaires

### Champs solaires en toiture

Les figures suivantes présentent des exemples de capteurs solaires installés en toiture.



Figure 18 : Champ solaire en toiture à Munich (Allemagne) - 2900 m<sup>2</sup> (Source : Solites)



Figure 19 : Champ solaire en toiture à Crailsheim (Allemagne) - 7300 m<sup>2</sup> (Source : Solites)



Figure 20 : Champ solaire en toiture de chaufferie à Juvignac (France) - 300m<sup>2</sup>(Source : Clipsol – INES)



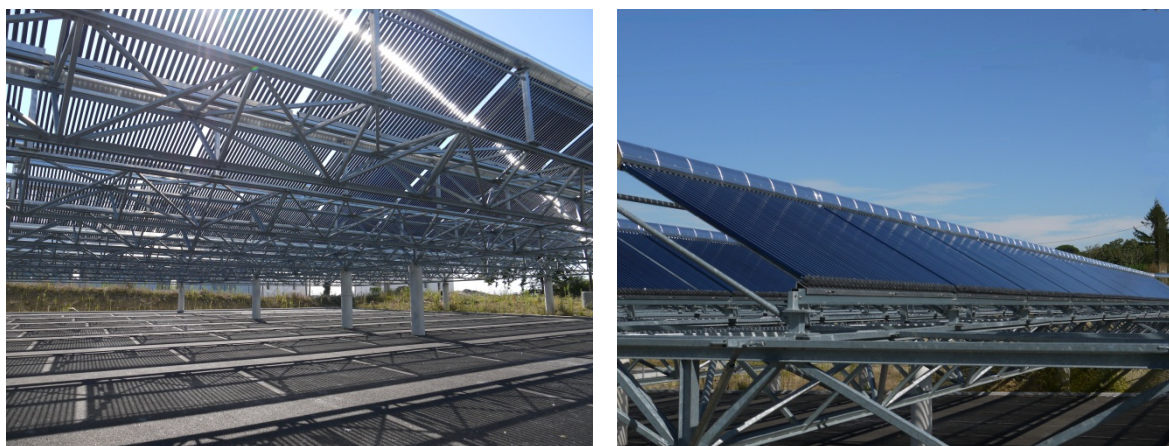


Figure 21 : Champ solaire en ombrière de parking à Balma (France) – 458 m<sup>2</sup>(Source : COFELY – INES)

### Champs solaires au sol

Les figures suivantes présentent des exemples de capteurs solaires installés au sol.



**Figure 22 : Champ solaire au sol à Marstal (Danemark) – 18000 m<sup>2</sup> (Source : Solites)**



**Figure 23 : Champ solaire au sol à Ulsted (Danemark) – 5000 m<sup>2</sup> (Source : Arcon)**



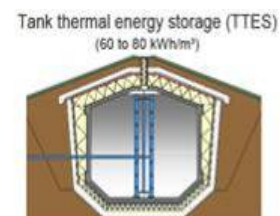
**Figure 24 : Champ solaire au sol sur butte à Crailsheim (Allemagne) – 7000m<sup>2</sup> (Source : Solites)**

## Annexe B : Technologies de stockage

### Les différents types de stockage thermique par voie sensible

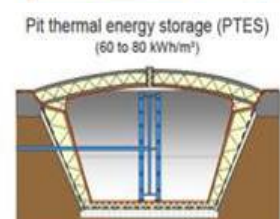
#### Tank Thermal Energy Storage (TTES)

Stockage dans des cuves de très grande dimension.



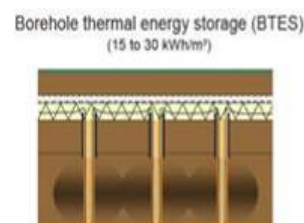
#### Pit Thermal Energy Storage (PTES)

Stockage en fosse rempli en eau ou mélange gravier-eau.



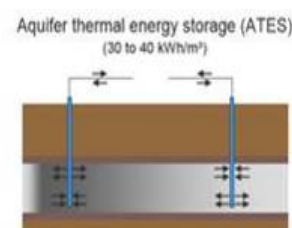
#### Borehole Thermal Energy Storage (BTES)

Stockage dans des forages. La température de stockage étant limitée à 70-80°C, le stockage type BTES est adapté au réseau basse température ou doit être couplé avec une pompe à chaleur.



#### Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)

Stockage dans des nappes d'eau. Ce type de stockage est fortement dépendant des conditions géologiques locales, et de ce fait est difficilement reproductible.



Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des quatre types de stockage intersaisonnier.

Type	Densité	Coût	Température	Reproductibilité
TTES	++	++	++	++
PTES	++	+	++	++
BTES	-	-	+	+
ATES	+	-	+	-



## Exemple de stockage moyen long terme

### Stockage en fosse type PTES



Figure 25 : Stockage en fosse PTES en construction à Marstal - 75000m<sup>3</sup> (Source : Solites)

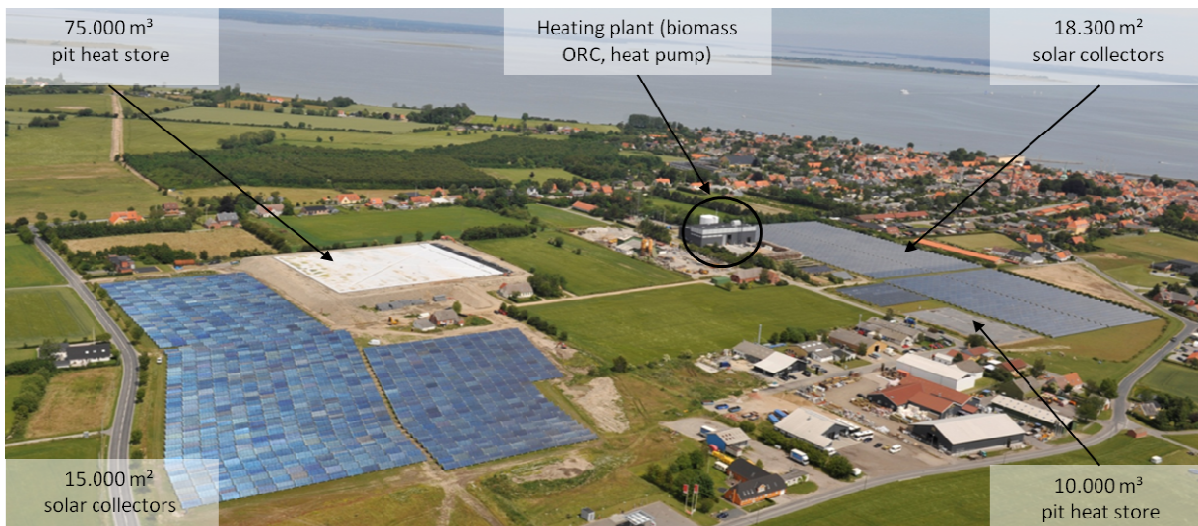


Figure 26 : Stockage en fosse PTES à Marstal - 75 000m<sup>3</sup> (Source : Solites)



Figure 27 : Intégration d'un stockage PTES à Eggenstein - 4500 m<sup>3</sup> (Source : Solites)

## Stockage en cuve type TTES



**Figure 28 : Stockage en cuve à Munich - 5700 m<sup>3</sup>(Source : Solites)**

Les figures suivantes présentent des photos d'intégration architecturale de stockage moyen long terme de type TTES :



**Figure 29 : Intégration d'un stockage à Hannover - 2750 m<sup>3</sup>(Source : Solites)**



### Stockage par sondes géothermiques BTES



**Figure 30 : Stockage en sondes géothermiques BTES à Crailsheim en cours d'installation (Source : Solites)**



**Figure 31 : Stockage en sondes géothermiques BTES à Crailsheim finalisé (Source : Solites)**



## **Annexe C : Références bibliographiques**

- ENERTECH Bâtiments basse consommation : Comment optimiser la maintenance et l'exploitation des systèmes techniques pour atteindre réellement le niveau BBC ?, Olivier SIDLER 11 septembre 2012
- Enquête Nationale sur les réseaux de chaleur et de Froid, Restitution des statistiques portant sur l'année 2011 Edition nationale, SNCU, 25 janvier 2013
- Comparatif des modes de chauffage et prix de vente de la chaleur 2012, Amorce, Guide, Série Economique (RCE19 et ENE05), Février 2014
- Guide sur les montages juridiques pour la production d'EnR par des collectivités locales, Amorce, Guide, Série Juridique (ENJ 12), Mai 2014
- Aide à l'élaboration d'un dossier titre V Réseaux de chaleur/froid, CEREMA, 2014

## Annexe D : Sommaire des figures, graphiques et tableaux

Figure 1 : Coupe d'un capteur solaire plan (capteur CLIPSOL modèle KGS) .....	9
Figure 2 : Système solaire centralisé (source : INES).....	12
Figure 3 : Système solaire décentralisé (source : INES).....	13
Figure 4 : Mon quartier est-il hélio-compatible .....	15
Figure 5 : Zone climatique H1, H2 et H3 et Besoins de chaleur chauffage et eau chaude sanitaire pour les 3 typologies de bâtiments en RT 2012 .....	16
Figure 6 – Estimation des surfaces solarisables .....	19
Figure 7 : Démarches réglementaires et administratives pour l'installation de panneaux solaires thermiques .....	20
Figure 8 : Démarches réglementaires et administratives pour l'installation de stockage.....	21
Figure 9 : Ratio économique pour le pré-chiffrage d'installation solaire sur réseau de chaleur .....	27
Figure 10 : Système solaire centralisé (source : INES).....	31
Figure 11 : Sous-station « basique ».....	31
Figure 12 : Sous-station « améliorée » .....	31
Figure 13 : Système solaire décentralisé (source : Ines) .....	32
Figure 14 : Principe de réinjection totale au réseau de chaleur .....	32
Figure 15 : Principe de réinjection partielle au réseau de chaleur avec autoconsommation via le circuit solaire .....	33
Figure 16 : Comparaison économique d'une isolation de base avec une isolation renforcée	37
Figure 17 : Principe de raccordement des installations solaires .....	41
Figure 18 : Champ solaire en toiture à Munich (Allemagne) - 2900 m <sup>2</sup> (Source : Solites) .....	48
Figure 19 : Champ solaire en toiture à Crailsheim (Allemagne) - 7300 m <sup>2</sup> (Source : Solites)	48
Figure 20 : Champ solaire en toiture de chaufferie à Juvignac (France) - 300m <sup>2</sup> (Source : Clipsol – INES).....	48
Figure 21 : Champ solaire en ombrière de parking à Balma (France) – 458 m <sup>2</sup> (Source : COFELY – INES) .....	49
Figure 22 : Champ solaire au sol à Marstal (Danemark) – 18000 m <sup>2</sup> (Source : Solites).....	50
Figure 23 : Champ solaire au sol à Ulsted (Danemark) – 5000 m <sup>2</sup> (Source : Arcon).....	50
Figure 24 : Champ solaire au sol sur butte à Crailsheim (Allemagne) – 7000m <sup>2</sup> (Source : Solites).....	50
Figure 25 : Stockage en fosse PTES en construction à Marstal - 75000m <sup>3</sup> (Source : Solites) .....	52
Figure 26 : Stockage en fosse PTES à Marstal - 75 000m <sup>3</sup> (Source : Solites).....	52
Figure 27 : Intégration d'un stockage PTES à Eggenstein - 4500 m <sup>3</sup> (Source : Solites).....	52
Figure 28 : Stockage en cuve à Munich - 5700 m <sup>3</sup> (Source : Solites) .....	53
Figure 29 : Intégration d'un stockage à Hannovre - 2750 m <sup>3</sup> (Source : Solites) .....	53
Figure 30 : Stockage en sondes géothermiques BTES à Crailsheim en cours d'installation (Source : Solites).....	54
Figure 31 : Stockage en sondes géothermiques BTES à Crailsheim finalisé (Source : Solites) .....	54





Graphique 1 : Evolution du rendement des capteurs solaires (source INES) .....	10
Graphique 2 – Estimation de la longueur du réseau de chaleur .....	18
Graphique 3 : Contenu CO <sub>2</sub> des énergies .....	28
Graphique 4 : Exemple de courbe de chauffe au secondaire pour le chauffage (réseau Clichy-Batignoles CPCU) .....	30
Tableau 1 : Argumentaire en faveur du solaire sur réseau de chaleur .....	5
Tableau 2 : Contraintes du réseau de chaleur sur les différents principes de systèmes solaires.....	26
Tableau 3 : Estimation des couts d'un réseau de chaleur enterré ou en parking .....	35
Tableau 4 : Perte de chaleur pour 1 tube pré-isolé en W/(m.K).....	36
Tableau 5 : Avantages/inconvénients des différents principes de connexion hydraulique des installations solaires .....	41
Tableau 6 : Points forts et points de vigilance lors du couplage du solaire avec une autre énergie renouvelable ou de récupération.....	42

## Lexique

- ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
- ATES : Aquifer Thermal Energy Storage
- BEPOS : bâtiment à énergie positive, Réglementation thermique 2012-20%
- BBC : Bâtiment Basse Consommation énergétique
- BTES : Borehole Thermal Energy Storage
- CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone ou gaz carbonique
- CPCU : Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain
- DSP : Délégation de Service Public
- ECS : Eau chaude sanitaire
- Effinergie+ : Réglementation thermique 2012 -20%
- EnR : Energie Renouvelable
- EPL : Entreprise Publique locale
- GES : Gaz à effet de Serre
- EF : énergie finale
- EP : énergie primaire
- PLU : plan local de l'urbanisme
- PTES : Pit Thermal Stockage Storage
- RT 2012 : réglementation thermique 2012
- t CO<sub>2</sub> : tonne de dioxyde de carbone
- TTES : Tank Thermal Energy Storage
- UIOM : Usine d'incinération des ordures ménagères
- UVE : Unité de valorisation énergétique
- VRD : voirie, réseau, divers