Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction territoriale Ouest

Réseaux de chaleur

Bases techniques

Muriel Bourrat – pôle Réseaux de chaleur - Cerema

Bases techniques

1 Qu'est-ce qu'un réseau de chaleur ?

2 Constitution d'un réseau de chaleur

3 Les différentes énergies mobilisées

4 Principales innovations techniques

1. Qu’est-ce qu’un réseau de chaleur ?

Notion de réseau de chaleur

- Aucune définition réglementaire claire récente exhaustive :
  - TVA réduite : « fourniture d'énergie facturée à une pluralité de clients finals »

- Définition communément admise par les acteurs du domaine (SNCU, Amorce, Via Sèva par exemple) :
  - Notion de vente de chaleur à des tiers

Qu'est-ce qu'un réseau de chaleur ?

Chaufferie bois, Lanester

Échangeur à plaques, Réseau de Brest

1 unité de production de chaleur

logements collectifs

logements individuels

point de livraison 3

bâtiment public

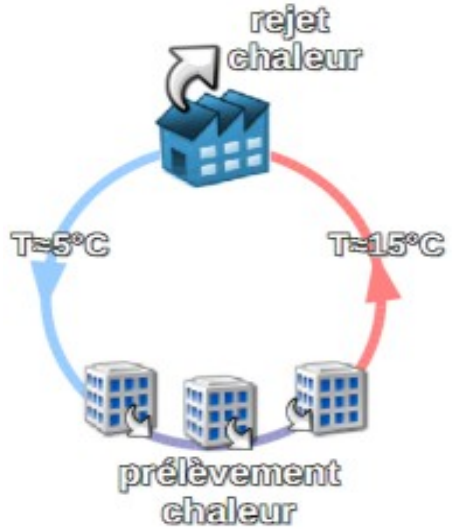
2 réseau de distribution

Canalisations calorifugées

immeuble de bureaux

Qu'est-ce qu'un réseau de froid ?

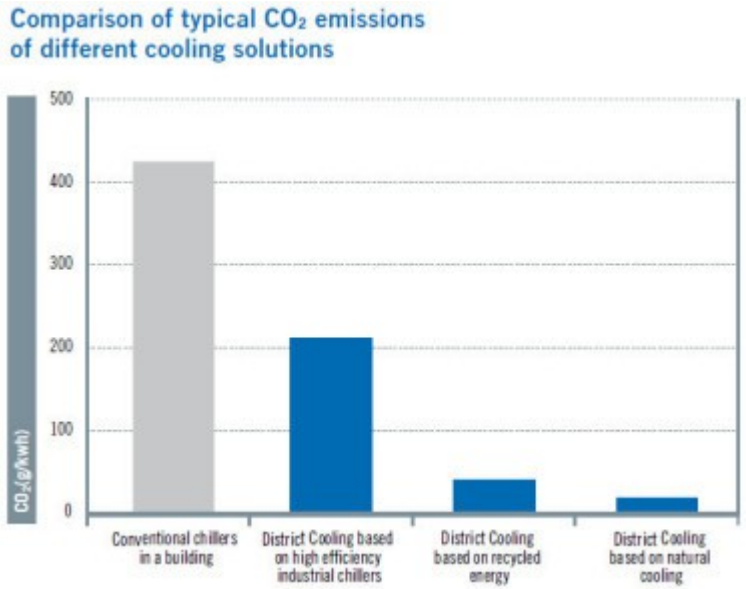
- Peut être vu comme un réseau de chaleur inversé :



+

- Meilleur contrôle du confinement des fluides frigorigènes
- Possibilité d'utilisation d'EnR&R
- Pas d'encombrement des façades ou toitures d'immeubles, pas d'entretien dans les immeubles

Plusieurs techniques (compresseurs, free cooling)



Émissions suivant le système :

individuel/réseau de froid avec système haute efficacité/réseau avec énergie de récupération/réseau avec free cooling

Quelques éléments de dimensionnement

Quelques ratios simples à calculer permettent de caractériser le bon dimensionnement d'un réseau

- **Densité thermique** [MWh/ml.an]

$$d = \frac{Quantité\ de\ chaleur\ livrée\ sur\ une\ année\ [MWh]}{Longueur\ de\ tranchée\ du\ réseau\ [m]}$$

  - d ≈ 8 : moyenne réseaux existants
  - d entre 15 et 20 pour certains réseaux très denses des années 60-70
  - d entre 3 et 6 pour les réseaux récents
  - Si d < 1,5 : limite basse de densité (viabilité économique du réseau difficile à atteindre)

Pour info,	
Moyennes électricité	Moyennes Gaz
5,6 MWh/m.an transport	11 MWh/m.an transport
0,34 MWh/m.an distribution	2,1 MWh/m.an distribution

Quelques éléments de dimensionnement

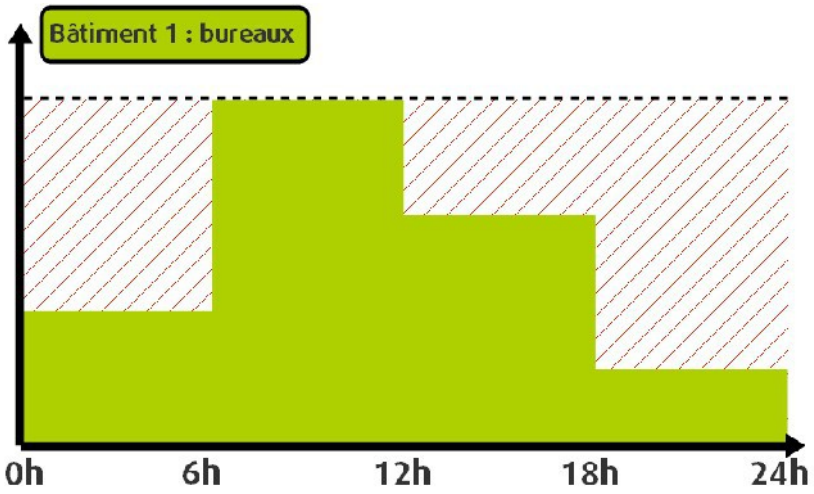
Quelques ratios simples à calculer permettent de caractériser le bon dimensionnement d'un réseau

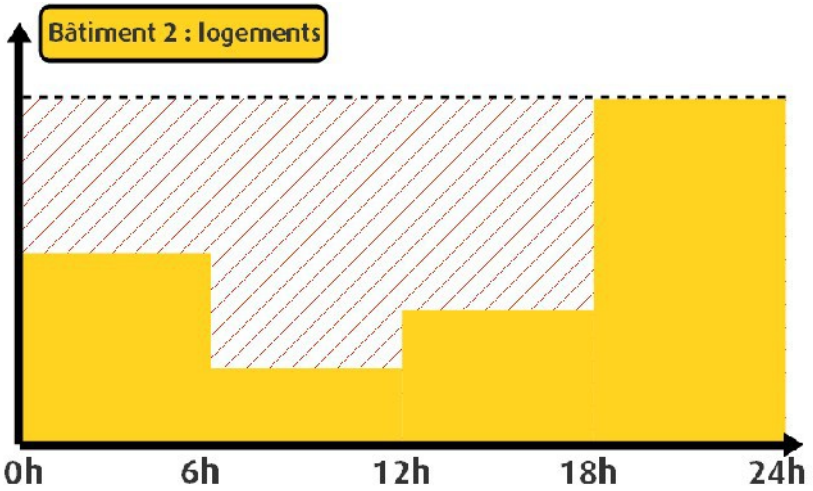
- Densité thermique [Mwh/ml.an]
- **Durée d'utilisation équivalente à pleine puissance** [h]

$$H_{eq} = \frac{\text{Énergie délivrée sur une année } [kWh]}{Puissance_{nominale}\ [kW]}$$

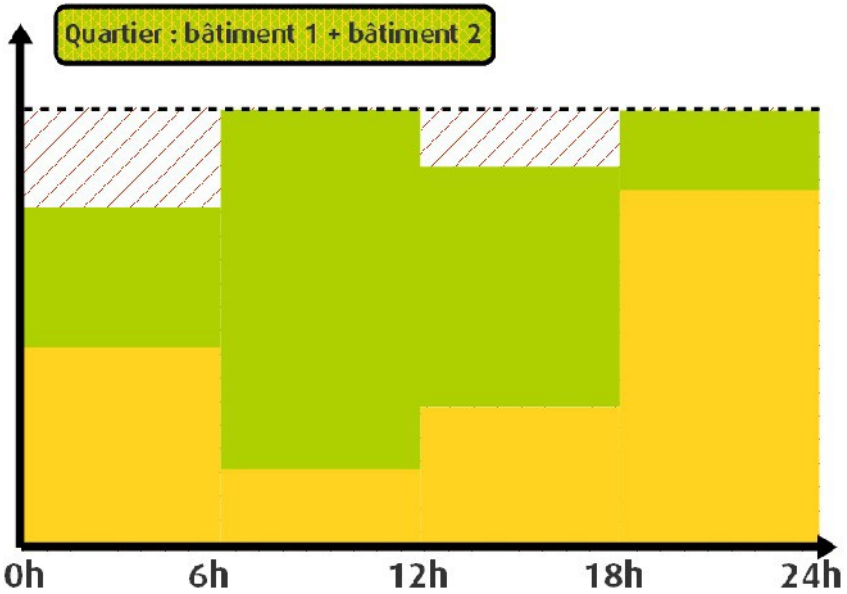
  - Caractérise le bon dimensionnement d'une chaufferie = on cherche à avoir Heq la plus élevée possible (majorée à 8760 h)
  - Heq > 5000 h : chaudière très performante
  - Heq ≈ 2500 h : valeur courante
  - Heq < 2000 h : chaudière peu exploitée, surdimensionnée : impact négatif sur le coût d'investissement et les performances

Le principe de foisonnement





Augmenter le foisonnement permet de diminuer la densité thermique



Quelques éléments de dimensionnement

Qualité environnementale

- **Contenu CO_2 du réseau** [$kg_{eq}CO_2$/kWh.an]

$$Contenu\ CO_2 = \frac{\sum_j (E_{entrante,j} * Coeff_j) - E_{cogé} * Coeff_{cogé}\ [kg]}{Énergie_{totale\ livrée\ en\ ss-station}\ [kWh.an]}\ [Méthode\ SNCU]$$

  - Les contenus sont publiés dans l'annexe 7 de l'arrêté du 15 septembre 2006 [Arrêté DPE vente] pour les réseaux enquêtés par le SNCU ; actualisation annuelle, le dernier arrêté date du 11 juillet 2013
  - Moyenne réseaux de chaleur sur 2011 : 0,189 kg/kWh
    - (électricité : 0,180 ; gaz : 0,234 ; charbon : 0,384)
  - RT2012 : majoration du Cepmax en fonction du contenu CO2 du réseau auquel est raccordé le bâtiment

Quelques éléments de dimensionnement

Qualité environnementale

- Contenu CO_2 du réseau [$kg_{eq}CO_2$/kWh.an]
- **Part d'énergie renouvelable et de récupération** [%]

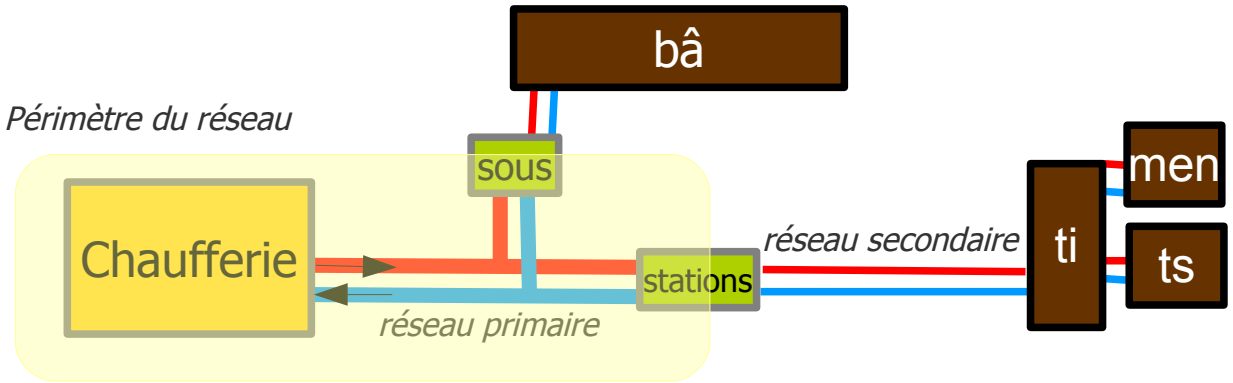
$$Mix\ énergétique = \frac{\sum_j Énergie_{j,produite\ à\ partir\ d'une\ source\ d\ EnR\&R\ [kWh]}}{Énergie_{totale\ produite}\ [kWh]}\ [Méthode\ SNCU]$$

  - Le seuil des 50% permet de bénéficier de plusieurs dispositifs (subvention Fonds Chaleur, TVA réduite sur la partie combustible, classement du réseau...)
  - Moyenne réseaux de chaleur 2011 : 36% (31% en 2010)
    - Moyenne nationale toutes énergies (part des EnR dans la consommation finale brute d'énergie) : 13,1% en 2011
  - RT2012 : un réseau vertueux (part EnR&R > 50%) permet de satisfaire l'exigence d'EnR pour les maisons individuelles

Autres indicateurs sur Rapport 2009 de l'IGD : Indicateurs de performance pour les réseaux de chaleur et de froid

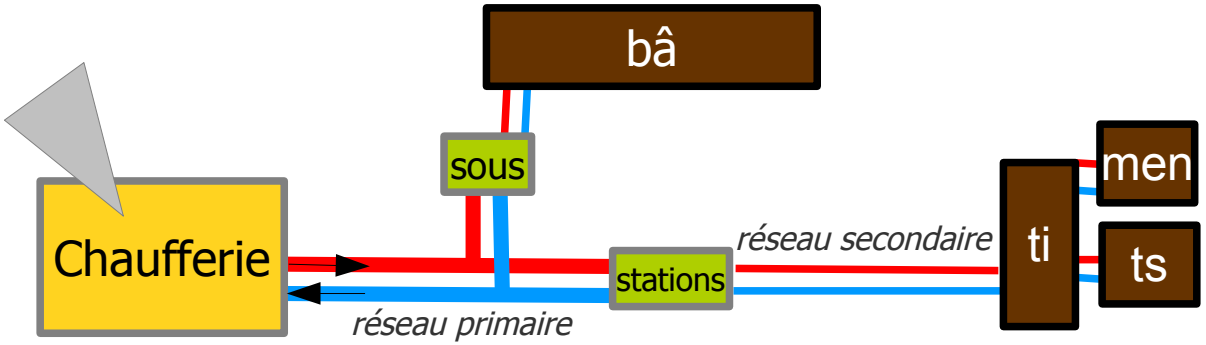
2. Constitution d’un réseau de chaleur

Constitution d'un réseau de chaleur

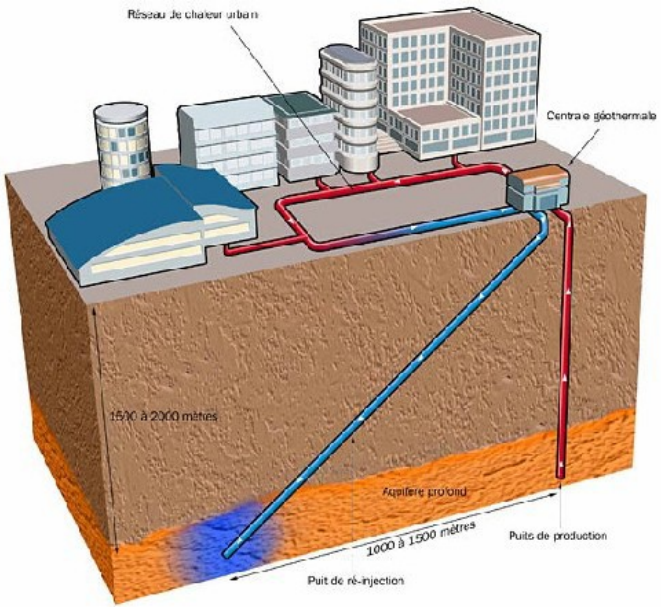


- Unité de production (généralement chaufferie)
- Réseau de distribution primaire
- Points de livraison = sous-stations d'échange

Unité de production



Chaufferie = chaudière à combustibles, UIOM, centrale géothermique, solaire haute température, etc. dimensionnée pour assurer la base des besoins. Une unité d'appoint présente pour assurer les pics de besoins. Cogénération dans un réseau sur deux.

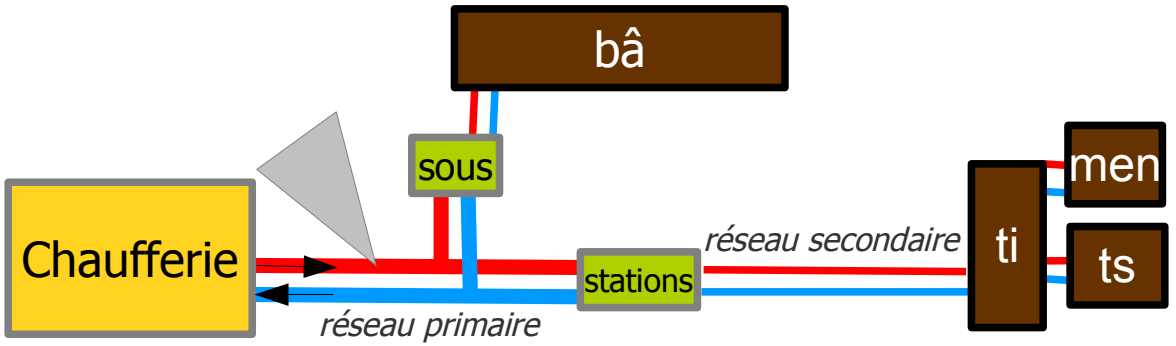


Réseau de chaleur géothermique

Réseau de chaleur solaire

Réseau de chaleur avec UIOM

Réseau primaire



Canalisations isolées

Réseau de distribution primaire = canalisations isolées transportant l'eau, sous forme vapeur ou liquide, depuis la chaufferie jusqu'aux sous-stations

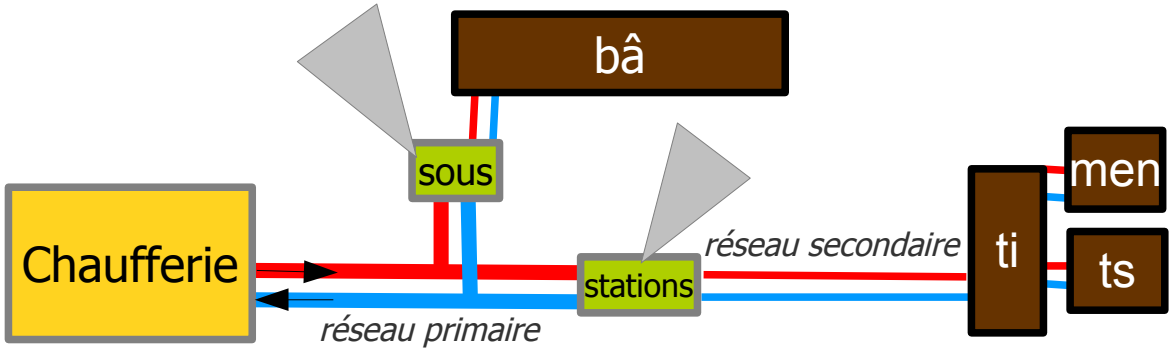
Le réseau basse ou très basse température [60° et 90°C]. Pour les quartiers neufs avec des besoins de chaleur faibles (ex. réseau quartier Hochfelden à Strasbourg à 40°C aller et 30°C retour)

Le réseau eau chaude [90° et 110°C]. Pour groupes d'immeubles d'habitation ou de bureaux, ou encore les hôpitaux et établissements industriels qui ne consomment pas de vapeur.

Le réseau eau surchauffée [110°C et 180°C]. Pour les réseaux de grande envergure qui alimentent des bâtiments nécessitant des températures élevées (laveries, abattoirs, industries textiles...).

Le réseau vapeur [200°C à 300°C]. Son utilisation est de plus en plus limitée. Il est présent essentiellement pour la fourniture de chaleur industrielle, mais Paris l'utilise pour son réseau de chaleur (réseau de la CPCU), ainsi que Metz. **-** demande plus d'énergie pour arriver à ces températures ; **+** pas de pompes de circulations

Sous-stations



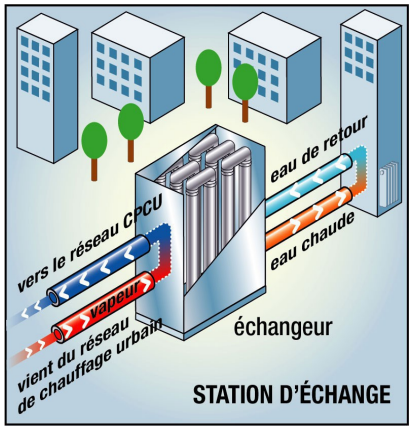
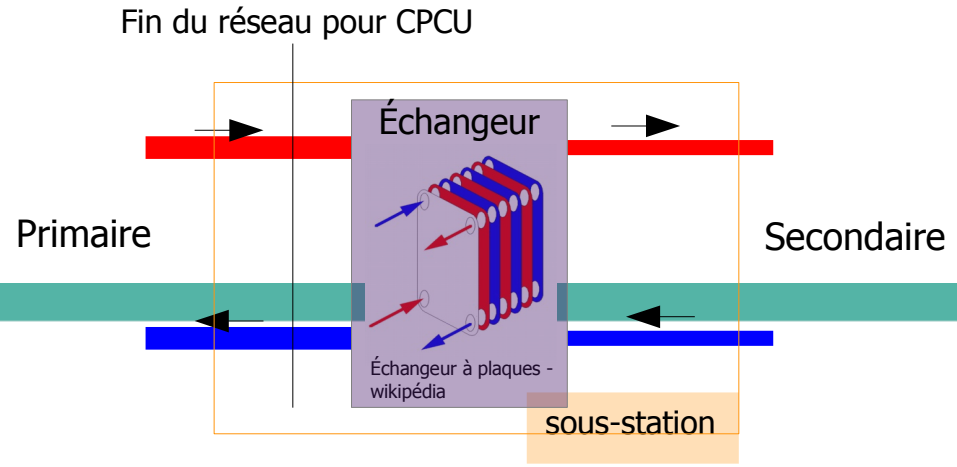


Schéma : Syndicat Intercommunal de Chauffage Urbain Choisy/Vitry

Sous-stations d'échanges : généralement en pieds d'immeubles, permettent le transfert de chaleur au réseau secondaire par un échangeur – généralement pas de combustible.

Le réseau secondaire ne fait pas partie du réseau de chaleur au sens juridique car il n'est pas géré le responsable du réseau mais par le responsable de(s) l'immeuble(s) – arrêt de la responsabilité de l'exploitant avant ou après l'échangeur (avant pour la CPCU)



Sous-stations

Réseau de chaleur de Saint-Jean-de-Boiseau

Sous-station individuelle
Installée dans le garage, à côté du chauffe-eau

Photo CC Ulrichulrich / Wikimedia Commons

Sous-station 300kW
Pour env. 30 lgts anciens ou 70 lgts RT2005

Photo CC Ulrichulrich / Wikimedia Commons

Sous-station 700kW
Pour env. 60 lgts anciens ou 140 lgts RT2005

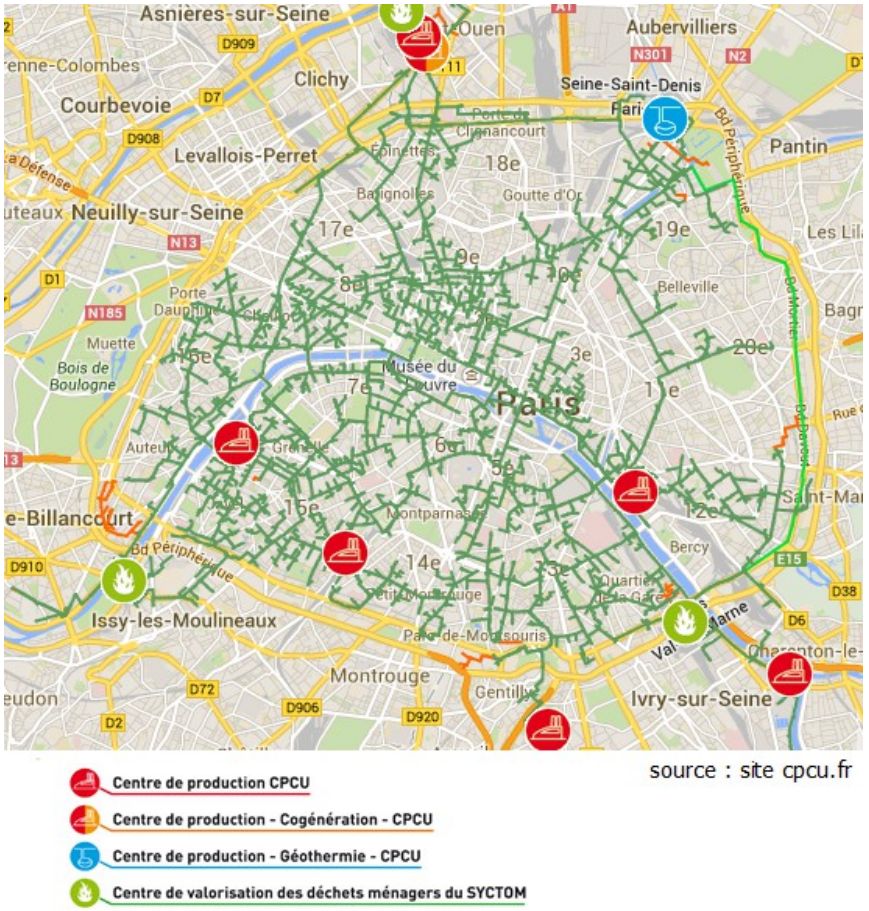
Autres constitutions possibles

La définition d'un réseau de chaleur est juridique, donc beaucoup de systèmes techniques différents sont possibles :

- Réseaux avec plusieurs chaufferies

ex. : réseau de chaleur parisien (CPCU)

11 sites de productions (3 UIOM et 8 chaufferies)



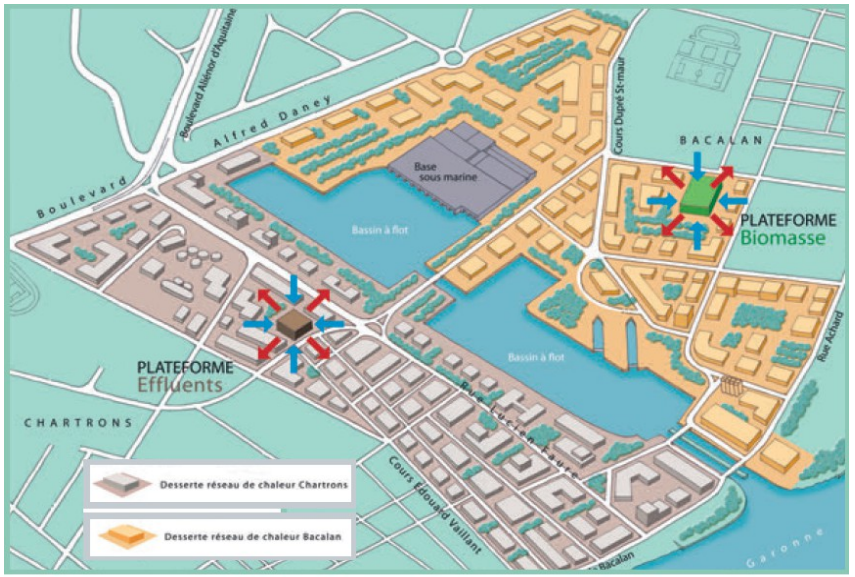
source : site cpcu.fr

Autres constitutions possibles

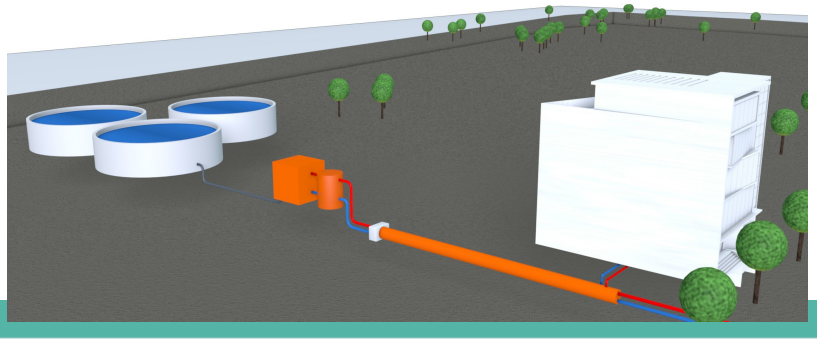
La définition d'un réseau de chaleur est juridique, donc beaucoup de systèmes techniques différents sont possibles :

- Réseaux sans chaufferie, avec production d'énergie décentralisée

ex. : réseau de Chartrons à Bordeaux utilise la chaleur résiduelle des effluents de la station d'épuration et des pompes à chaleur dans chaque sous-station augmentent la température pour répondre aux besoins de chaleur des bâtiments



Source : www.Bordeaux2030.fr



La plateforme de récupération des calories contenues dans les effluents est située à proximité immédiate de la station de traitement des eaux usées Louis Fargue.

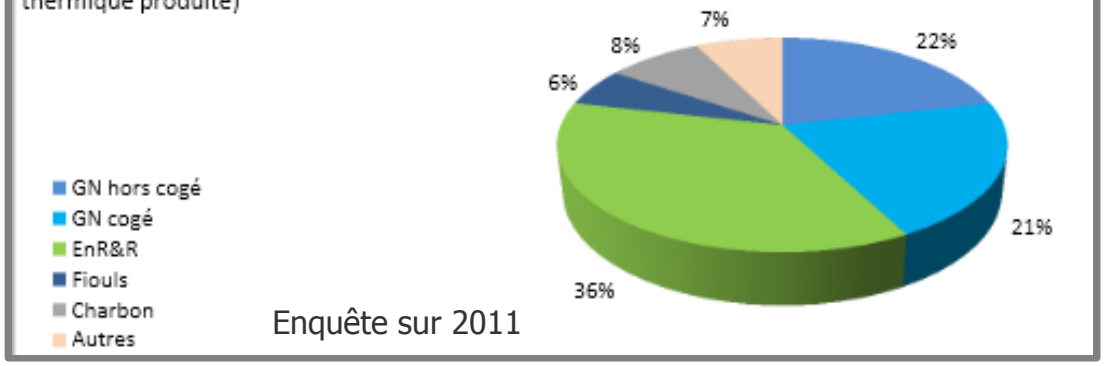
Source : Bordeaux2030.fr

3. Les différentes énergies mobilisées

État des lieux des énergies dans les réseaux

- Mix énergétique des réseaux de chaleur/froid : 36 % d'EnR&R en 2011

Fig. 4A.1 - Bouquet énergétique global des réseaux de chaleur (en énergie thermique produite)

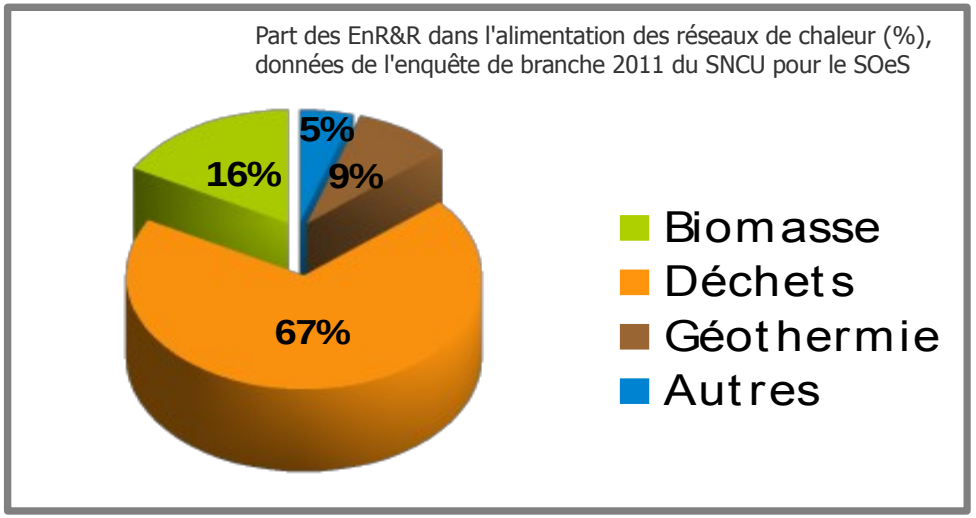


Enquête sur 2011

- Pour comparer :
  - Électricité : 11 %
  - Production énergétique française totale : 13,1%

Les EnR&R dans les réseaux de chaleur

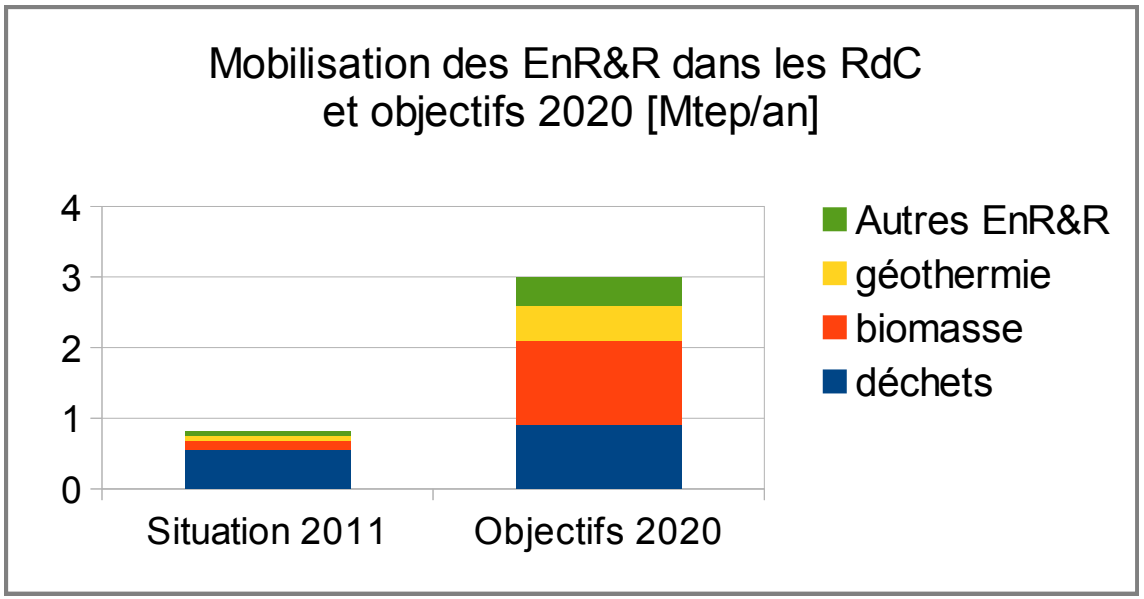
- Les 36 % d'EnR&R dans les réseaux de chaleur sont :
  - Énergie de récupération issue de l'incinération des déchets : 0,55 Mtep/an
  - Biomasse (principalement bois-énergie) : 0,13 Mtep/an
  - Géothermie : 0,07 Mtep/an



Objectifs EnR&R dans les réseaux

Les objectifs par EnR&R pour les réseaux de chaleur sont détaillés dans le PPI chaleur :

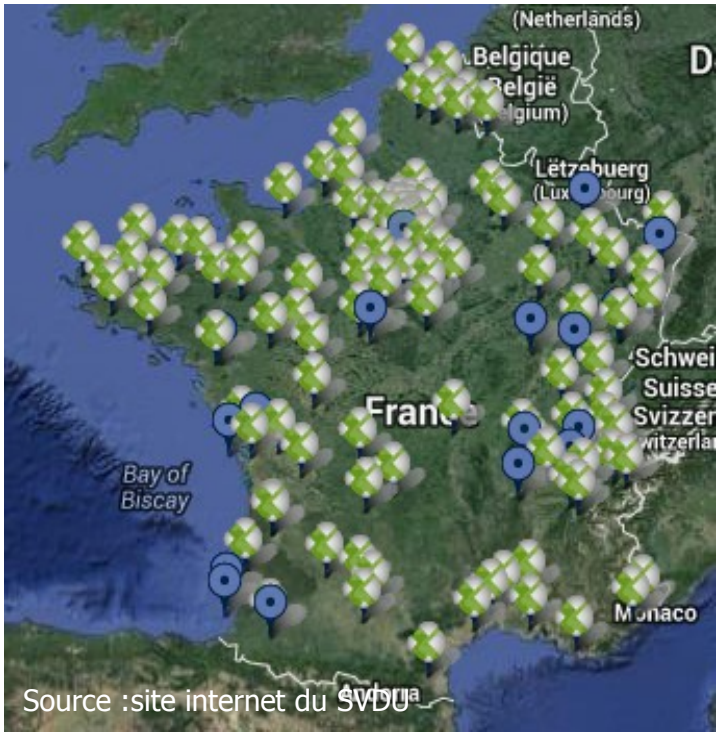
- 0,9 Mtep/an pour les déchets
- 1,2 Mtep/an pour la biomasse
- 0,5 Mtep/an pour la géothermie (pas uniquement via les rdc)



Déchets

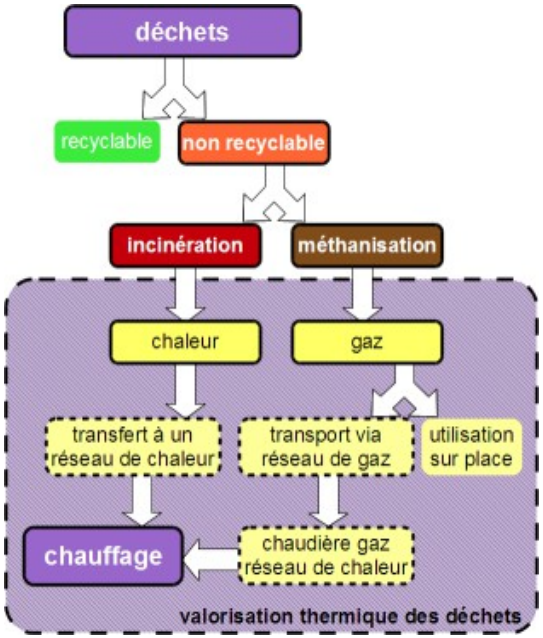
- 129 UIOM en France (les situer sur une carte)
- 97 % avec valorisation énergétique (production de chaleur et/ou d'électricité)

  → il reste des UIOM sans valorisation de la chaleur



Source :site internet du SVDU

Déchets



+ Valoriser une ressource qui autrement serait perdue

+ Les réseaux de chaleur sont l'unique moyen de valoriser la chaleur fatale des UIOM

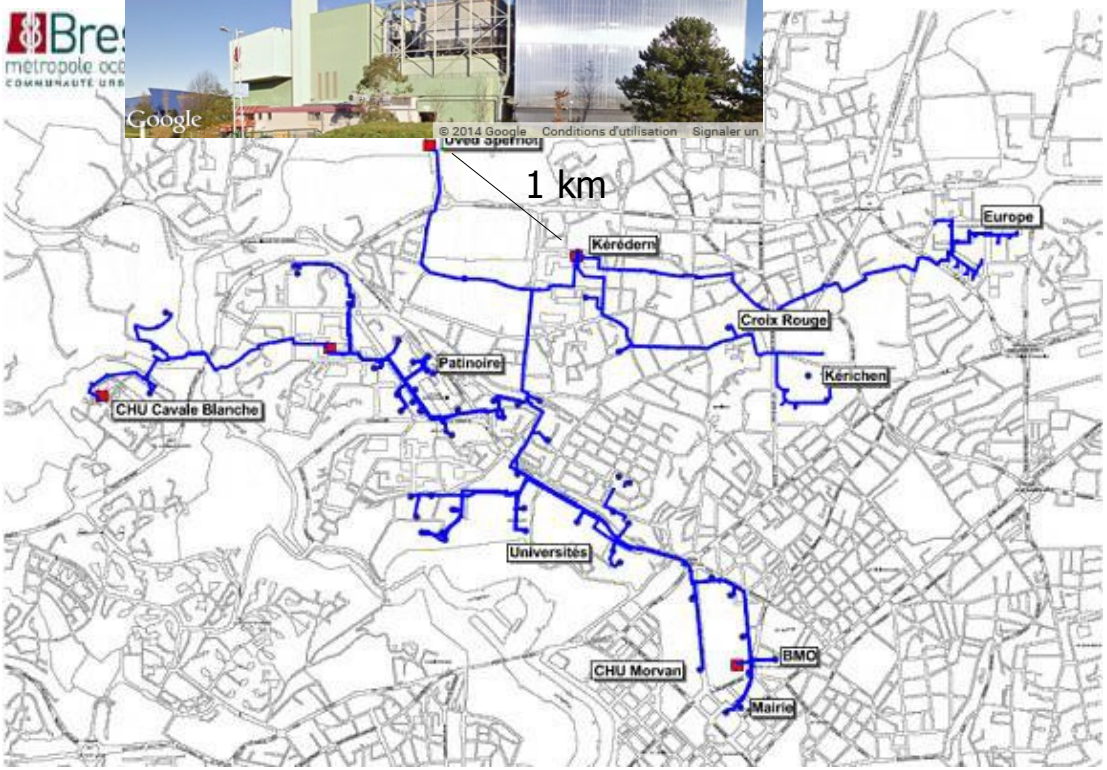
Représentent 1/4 du mix énergétique

- distance entre l'UIOM et les besoins

Exemple de réseaux utilisant UIOM

Réseau de chaleur de Brest :

- Sources d'énergie :
  - UIOM (90%)
  - Chaudières fioul (10%)
- 25km de réseau
- 14700 équivalents-logements chauffés (dont 50% de logements)
- Projets :
  - Chaufferie biomasse
  - Extension du réseau (linéaire x3, usagers x2)

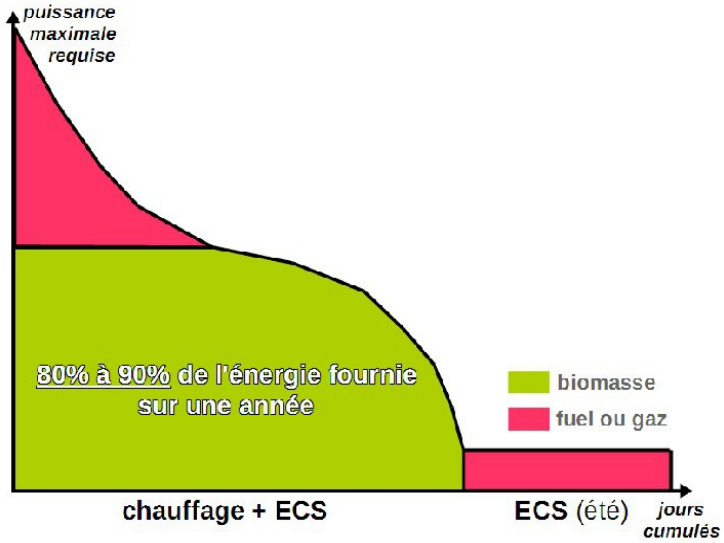


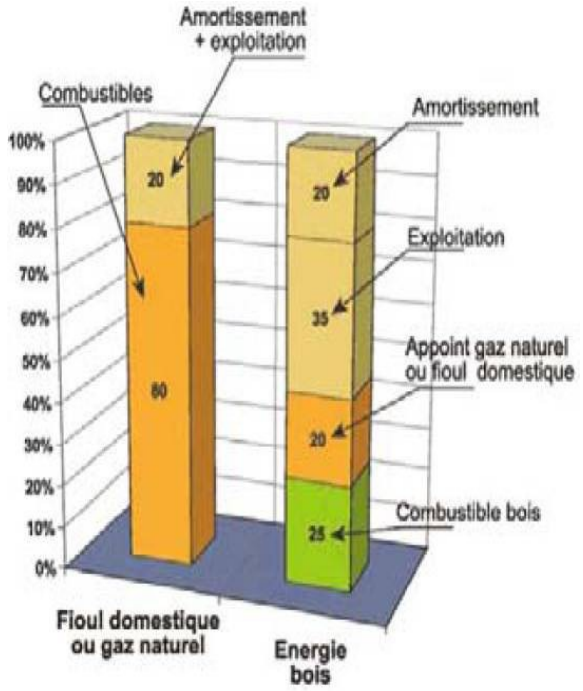
Autres énergies de récupération

- Biogaz
- Chaleur rejetée par les industries
- Chaleur des eaux usées (Chartron, Nanterre)
- Data centers (réseau Val d'Europe à Marne-la-Vallée)
- Crématorium (Halmstad en Suède et Aalborg au Danemark)
- Noyaux de fruits (Cransac en Aveyron, contrat d'approvisionnement avec Andros)
- Lipofit (mélange graisse animal et végétal, qui vient de la restauration, de l'agro-alimentaire, réseau de Nancy)
- *Etc.*

Bois-énergie

- Généralement le bois en base, couvrant 80-90 % des besoins pour les petits réseaux, et une énergie fossile en appoint (gaz)
- **+** :
  - Ressource accessible, bien répartie sur le territoire français, sous-utilisée
  - Qualité de l'air : maîtrise des rejets (contrairement au chauffage bois individuel)
  - Stabilité du prix de la chaleur produite →
- **-** :
  - Filière bois française insuffisamment organisée
  - Combustible à transporter et stocker
- Ressource bois-énergie disponible en France :
  - **+ 8 Mtep/an immédiatement disponibles** (déchets + part inexploitée de sylviculture)
  - + 25 Mtep/an possibles en menant une politique volontariste sur la filière bois





Exemple de réseau bois-énergie

Réseau de chaleur de Saint-Jean-de-Boiseau
(près de Nantes)

- Créé en 2008/2009

- 143 logements dans une nouvelle ZAC
  - 2/3 de maisons individuelles

- 85% bois, 15% gaz
  - Déchets de 2 scieries (44, 85)
  - 1 camion de 20T par semaine

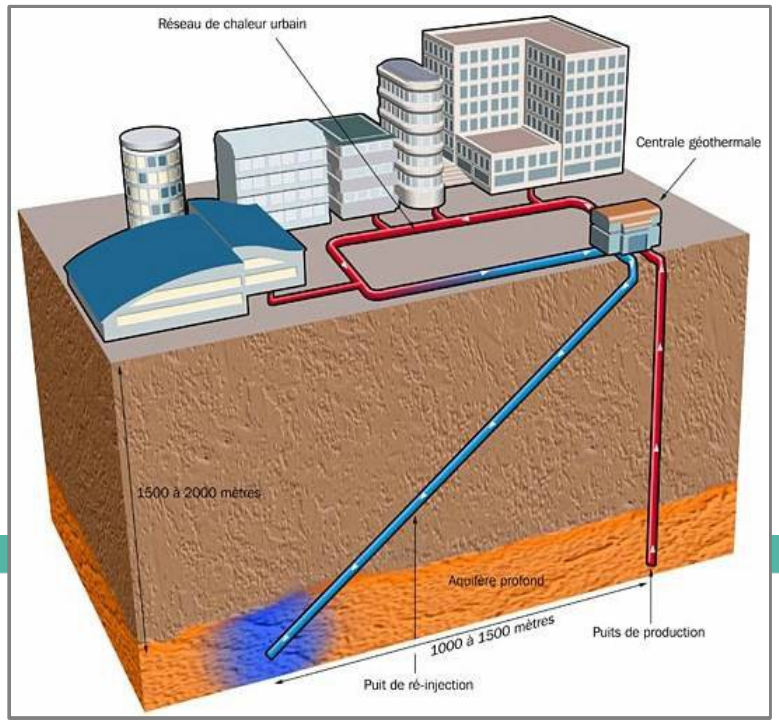
Maisons individuelles raccordées

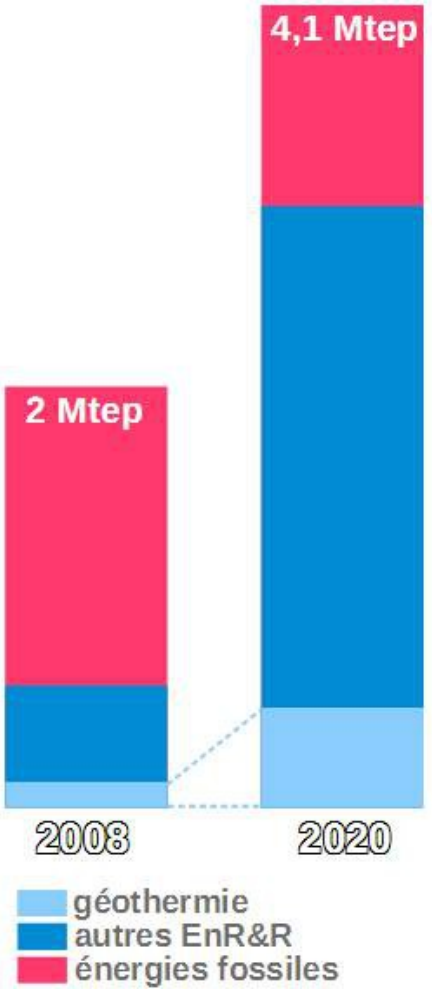
Chaufferie bois de St Jean de Boiseau

Géothermie

- 2008 : 0,13 Mtep (3% du mix)
- Objectif 2020 : 0,5 Mtep (13% du mix)

- Plusieurs types de géothermie :
  - **Géothermie profonde** : utilisable uniquement par un réseau de chaleur
  - **Géothermie intermédiaire et superficielle** : envisageable si faibles besoins de chaleur (cas des quartiers neufs)





Géothermie

- Ressource prélevée sur place, sans aucune nuisance (air, bruit...)
- Stabilité du prix (pas de combustible)
- Possibilités techniques de stockage de chaleur en été

- Ressource géothermie profonde uniquement en région parisienne, Aquitaine, Alsace, bassin rhodanien
- Investissement dissuasif : 10 millions d'euros par opération ; viabilité économique à partir de 5000 logements raccordés

Le réseau géothermique de Chevilly-Larue, l'Haÿ-les-Roses et Villejuif

- Créé en 1985
- Le plus grand d'Europe
- 19200 équivalents-logements
- Alimenté à 62% par la géothermie du Dogger (qui alimente 29 réseaux en Île-de-France, pour 140000 équivalents-logements)
- Exploité par une SEM pour le compte d'un syndicat intercommunal

4. Principales innovations techniques

Principales innovations techniques

Les réseaux de chaleur/froid restent-ils pertinents avec la diminution des besoins en énergie (bâtiments peu consommateurs) ?

Les réseaux de froid

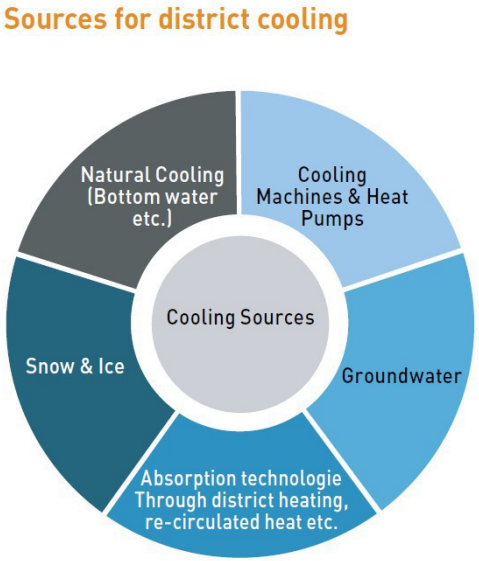
- Le besoin de froid va augmenter :
  - Bâtiments mieux isolés
  - Étés plus chauds
  - On veut toujours plus de confort !

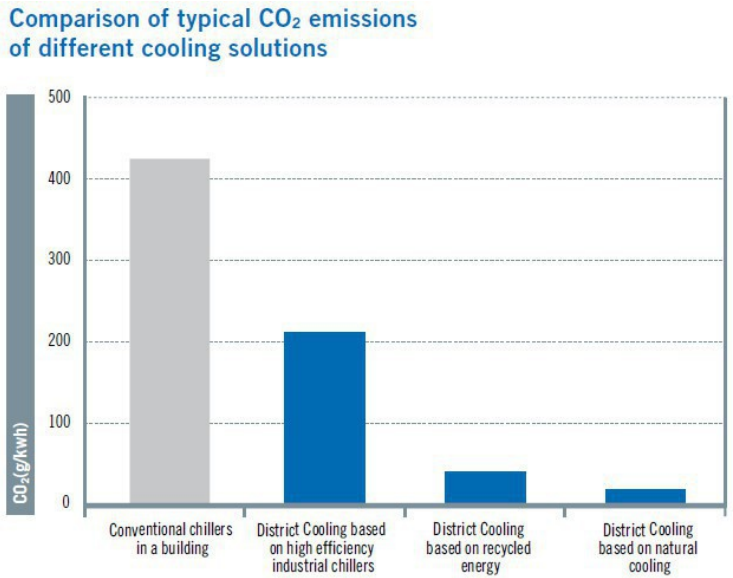
- 15 réseaux de froid en France en 2012 (dont le plus grand d'Europe, à Paris)
- Au Japon, les réseaux de froid livrent plus d'énergie que les réseaux de chaleur
- Développement en cours aux États-Unis

Le Louvre est climatisé par le réseau de froid Climespace de Paris

Les réseaux de froid

- Accès à des sources de froid renouvelables et gratuites
- Meilleur contrôle des fluides frigorigènes
- 5 à 10 fois plus efficace (énergie et carbone) que la climatisation électrique classique
- Évite ceci



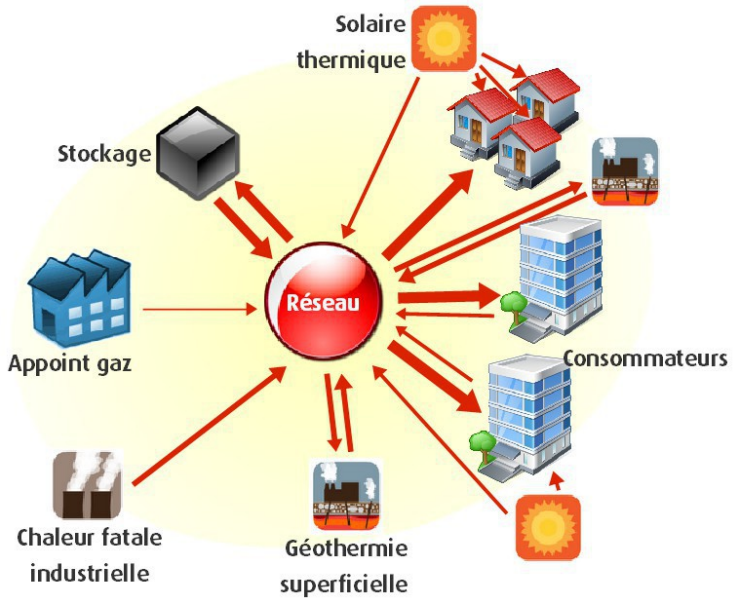


Les réseaux basse température

- Température habituelle des réseaux de chaleur : 100-110°C
- Réseau basse température : 70-80°C
- +
  - Réduction des pertes thermiques → meilleure efficacité énergétique
  - Adaptation aux émetteurs basse température (planchers chauffants...)
- -
  - Inadapté au bâti ancien
  - Nécessite des interventions sur le réseau de distribution → plutôt pour des réseaux neufs
- Tous les réseaux mis en place dans des quartiers neufs post-2010 sont en basse température
  - Possibilité d'étendre en basse température un réseau haute température

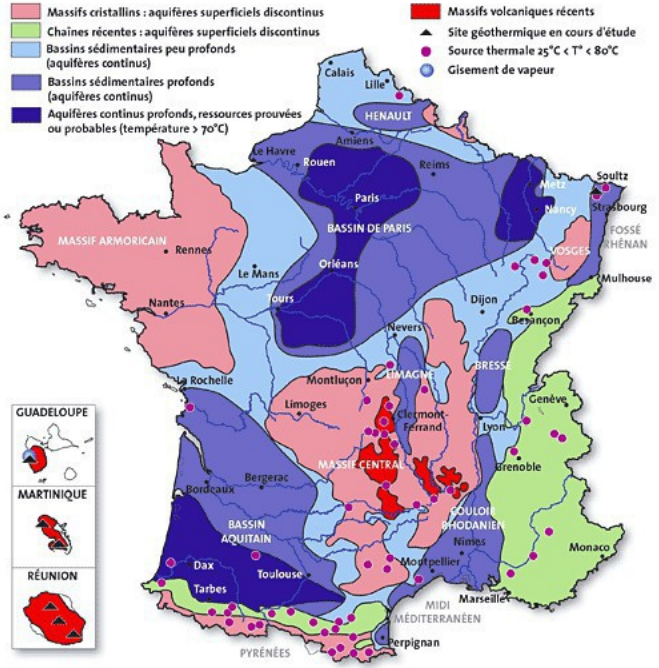
Autres sources EnR&R

- L'abaissement des températures donnent accès à plus d'EnR&R :
  - Solaire thermique
  - Géothermie superficielle (avec PAC)
  - Récupération sur eaux usées, data-centers, bâtiments, etc.
  - Éolien (stockage thermique)



Géothermie faible profondeur

- De qqs mètres à qqs dizaines de mètres
- Avec PAC
- Avantages :
  - // géothermie profonde : plus grande disponibilité territoriale
  - // géothermie individuelle : mutualisation de l'investissement
  - // autres sources EnR&R : réversible chaud/froid suivant la saison (stockage dans le sous-sol)
- Exemples en France :
  - Écoquartiers Sainte-Geneviève (Nanterre), Dock de Ris (Ris-Orangis), Le Fort (Issy-les-Moulineaux)



Solaire thermique

- Installation centralisé (« ferme solaire ») ou panneaux diffus dans la ville
- Avantages
  - Solaire thermique > solaire photovoltaïque (3 à 4 fois plus d'énergie au m² de capteur)
  - Solaire thermique sur réseau de chaleur :
    - Coût d'installation inférieur (facteur d'échelle)
    - Meilleur suivi et entretien des installations → meilleure productivité
    - Mutualisation de la production
- Exemples :
  - Danemark : énergie déjà exploitée depuis les années 80 par les réseaux de chaleur
  - France : Balma-Gramont (1er réseau de chaleur solaire, 2012), Juvignac (ZAC des Constellations)

Photos SDH+
www.solar-district-heating.eu

Récupération de sources « faibles »

- Faibles lorsqu'on les compare aux UIOM
- Potentiel non négligeable en cumul à l'échelle de quartiers et villes : chaleur produite par les bâtiments, les infrastructures de services (transports, assainissement...), etc.
- Généralement source complémentaire (et minoritaire) ajoutée à une chaufferie classique
- Exemples :
  - Eaux usées : réseau de chaleur de Nanterre, 2011
  - Data-center : réseau de chaleur de Marne-la-Vallée, 2012
  - Crématorium : réseau de chaleur de Stockholm
  - Transfert de chaleur de bâtiments à climatiser vers bâtiments à chauffer
  - Bâtiments à énergie positive ?

Stockage

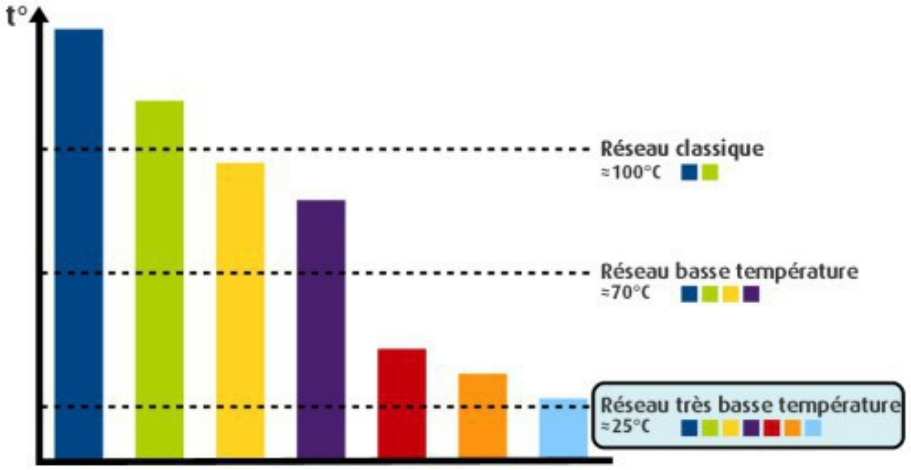
- Techniquement au point depuis l'invention de l'eau chaude
- Développement dans les réseaux de chaleur pour lisser les pics de demande d'énergie
  - Stockage journalier
  - Stockage inter-saisonnier
- Amélioration de l'efficacité et du bouquet énergétique (pas d'appoint fossile pour les pointes)
- Innovations :
  - Réduction de l'encombrement : stockage dans des aquifères souterrains (lien avec géothermie), stockage latent (changement d'état d'un fluide), stockage chimique...
  - Stockage, par le réseau de chaleur, du surplus de production électrique (éolienne, solaire PV, cogénération...)

Homme des cavernes dans sa piscine d'eau chaude – 250000 av. JC

Stockage inter-saisonnier de 12000m3 (Friedrichshaffen, Allemagne)

Réseaux très basse température

- Autour de 20-30°C
- **+**
  - Élargissement du panel de sources énergétiques mobilisables
  - Réseau pouvant servir à la fois de source froide et de source chaude pour des PAC (donc réseau de chaleur **et** de froid) :
    - En été, une eau à 20°C peut servir de source froide à une PAC, pour climatiser
    - En hiver, une eau à 20°C peut servir de source chaude à une PAC, pour chauffer
- **-**
  - Solution à trouver pour l'eau chaude sanitaire



Panel de sources d'énergie en fonction de la température du réseau

Exemple : réseau de chaleur à Hochfelden en Alsace, fonction à 40°C aller et 30°C retour, récupère chaleur sur eau de nappe avec PAC eau/eau et appoint gaz

Smart Grid thermique

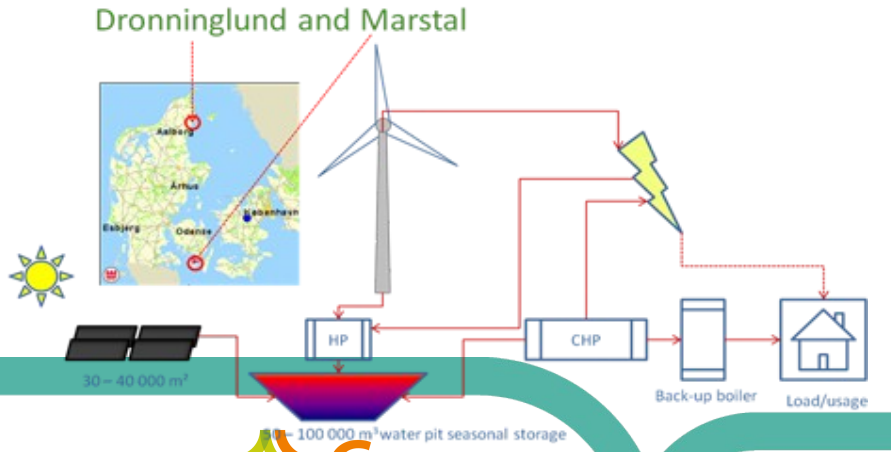
Les réseaux de chaleur s'adressant aux réseaux électriques (allégorie)

- Intégration des TIC dans les réseaux de chaleur et de froid :
  - Capteurs communicants
  - Sous-stations intelligentes
  - Régulateurs intelligents
  - Interconnexion de ces éléments par réseaux informatiques
  - Lien avec autres éléments : bâtiments intelligents, capteurs météo, smart grid électrique...

Smart Grid thermique

- Réseau de transfert entre les bâtiments :
  - Ville = cohabitation de bâtiments consommateurs d'énergie, de bâtiments passifs et de bâtiments producteurs d'énergie
  - Le réseau de chaleur permet l'échange d'énergie entre bâtiments
  - Le réseau de chaleur permet de décorréler l'instant de production et l'instant de consommation (stockage + mutualisation)
- Réseau capable de gérer plusieurs sources d'énergie suivant plusieurs paramètres variables dans le temps (ensoleillement, vent, appel de puissance, prix de l'électricité, température extérieure...)

- Ci-contre : exemple de smart grid combinant électricité et chaleur – Le réseau de chaleur peut stocker le surplus d'énergie produit par les éoliennes (Danemark)



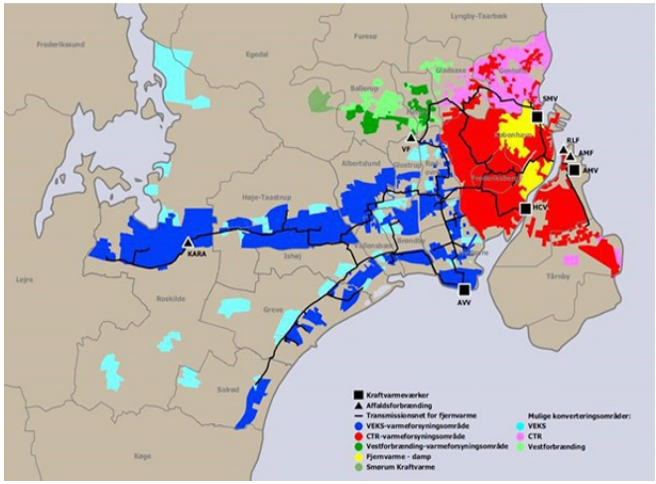
Nouveaux usages domestiques de la chaleur

- Hypothèses :
  - La quantité d'électricité spécifique requise par un foyer va continuer d'augmenter
  - Le coût de production de l'électricité va continuer d'augmenter
- Donc : réservons l'électricité aux usages qui ne peuvent pas s'en passer.

- Appareils actuellement alimentés par l'électricité alors qu'ils ont en réalité besoin de chaleur/froid : lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, clim, cuisson...
  - Consommations non négligeables dans un contexte de bâtiments basse consommation ou passifs (5 et 10 kWh/m² par an pour chauffer l'eau des lave-linge et lave-vaisselle)

Des réseaux couvrant plusieurs villes

- Résultat de l'interconnexion de plusieurs réseaux municipaux
  - Des orientations en ce sens déjà dans le SRCAE d'Ile-de-France
  - Plusieurs projets au Danemark (interconnexion de réseaux parfois sur plus de 100 km)
- +
  - Plus efficace, plus sûr (continuité de service)
  - Plus apte à se passer complètement des énergies fossiles
  - Plus économique (effet d'échelle)
  - Reste proche des territoires (échelle infra-régionale)
  - Permet de relier des sources de chaleur très éloignées des villes (centrales électriques par exemple)



Région de Copenhague : interconnexion de 20 réseaux de chaleur

Avenir : des réseaux entièrement décarbonnés

- Tout le spectre des sources renouvelables et de récupération est mobilisé par les réseaux de chaleur
  - Toutes les sources renouvelables : bois, géothermie, solaire, éolien, thalassothermie...
  - Toutes les sources récupérables : ponctuelles (industries, centrales électriques...) et diffuses (bâtiments, réseaux...)
- La gestion intelligente des températures et le stockage de chaleur sont massivement répandus dans les réseaux

  → plus besoin des énergies fossiles pour répondre aux pointes

Énergies renouvelables & de récupération

Énergies fossiles

Conclusion

- Les réseaux de chaleur/froid sont fortement mobilisateurs d'EnR&R
- Il y a une grande diversité de réseaux de chaleur/froid
- Et ils ont leur place dans la ville de demain

Merci

Nos production sont sur notre site internet : www.reseaux-chaleur.fr

Et les actualités sur le blog : blog.reseaux-chaleur.fr

Messagerie du pôle réseaux de chaleur : reseaux-chaleur@cerema.fr
Mes coordonnées : muriel.bourrat@cerema.fr 02 40 12 84 48

Fin

Cerema