

# Réseaux de chaleur

Serra Sylvain – 2014-2015

# Introduction

# Généralités I

## Contexte européen "à l'horizon 2020"

### Paquet énergie climat : les "3 x 20"

- Réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'Union européenne de 20 % par rapport à 1990,
- Porter à 20 % (Fr=23%) la part d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale de l'Union européenne
- Augmenter l'efficacité énergétique de 20 % dans l'Union européenne.

# Généralités I

## Contexte européen

"à l'horizon 2030"

### Paquet énergie climat 2030 !!!

- Réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'Union européenne de 40 % par rapport à 1990,
- Porter à 27 % (Fr=32%) la part d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale de l'Union européenne
- Augmenter l'efficacité énergétique de 27 % dans l'Union européenne (économie d'énergie).

# Généralités I

## Contexte européen

"La feuille de route européenne Climat 2050"

Mars 2011 : Atteindre de manière **rentable** les objectifs :

- réduction de 80 à 95% les GES (par rapport ) 1990)
- trajectoire : réduction nationale de 25 % en 2020, 40% en 2030 et 60% en 2040
- en France : Grenelle de l'environnement = division par 4 sur la même période = OK

# Généralités I

## COP21, France & Co

"Les scénarios"

ANCRE ( Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Energie)

- Sobriété Renforcé (SOB)
- Décarbonisation par l'électricité (ELE)
- Vecteurs diversifiés (DIV)

Il y en a d'autres : ADEME, NEGAWATT...

Y Tous prédisent une place importante des réseaux de chaleur

# Généralités II



INDUSTRIAL SMOG BY NICO SMIT - WWW.CRESTOCK.COM

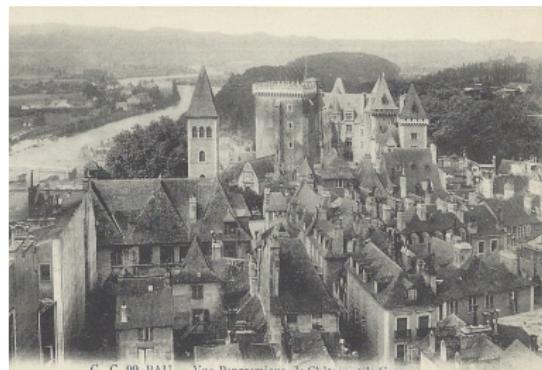
# Généralités II



# Généralités II



# Généralités II



# Généralités II



?? 2050 ??



?? 2050 ??

## Généralités II

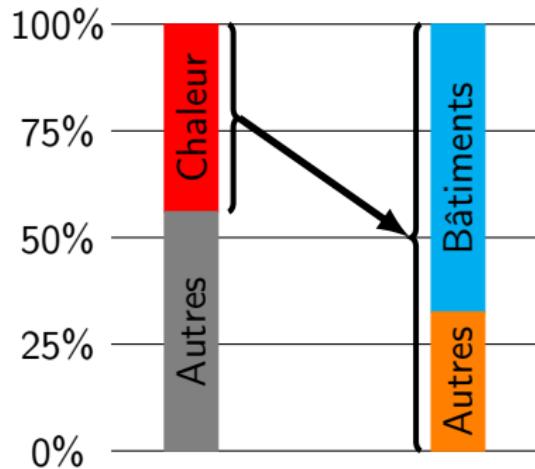


# Généralités II

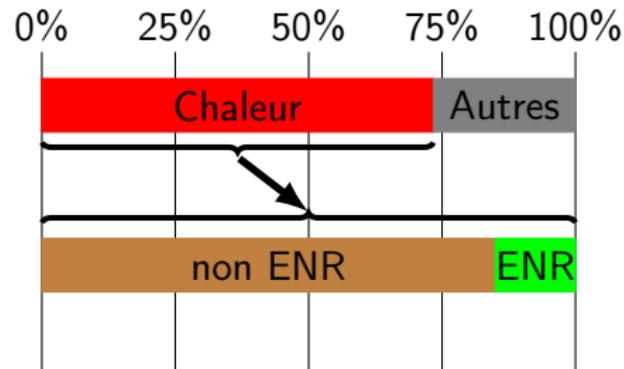


## Généralités III

### Énergie finale consommée en France (2013)



### Bâtiments (Résidentiel - Tertiaire)



## Généralités IV

### Petit raisonnement simpliste... mais un peu faux

La consommation en chaleur des résidences principales en France correspond à environs 33.5 MTep.

La consommation énergétique industrielle s'élève à 453 TWh/an. La chaleur fatale représente 25% de ces besoins thermiques, soit environ 9.5 MTep.

En supposant que cette chaleur fatale soit récupérée et acheminée vers les résidences principales sans pertes, cela couvrirait 28% de la consommation en chaleur.

**Les réseaux de chaleur !!!!**

# Définitions I

*"Un réseau de chaleur est un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée, permettant de desservir plusieurs usagers."*

- Utilisations principales :
  - chauffage ;
  - ECS ;
  - utilisations industrielles.

# Définitions I

*"Un réseau de chaleur est un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée, permettant de desservir plusieurs usagers."*

- Utilisations principales :
  - chauffage ;
  - ECS ;
  - utilisations industrielles.
- Éléments constitutifs :
  - centrale (s) de production ;
  - réseau(x) de distribution ;
  - postes de raccordement (sous-station).

# Définitions I

*"Un réseau de chaleur est un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée, permettant de desservir plusieurs usagers."*

- Utilisations principales :
  - chauffage ;
  - ECS ;
  - utilisations industrielles.
- Éléments constitutifs :
  - centrale (s) de production ;
  - réseau(x) de distribution ;
  - postes de raccordement (sous-station).
- Acteurs : collectivités et/ou tiers (régie, affermage, concession)

*n.b :* Cogénération très répandue. (env. 50 %)

## Définitions II

Quartier, petite ville ou ville

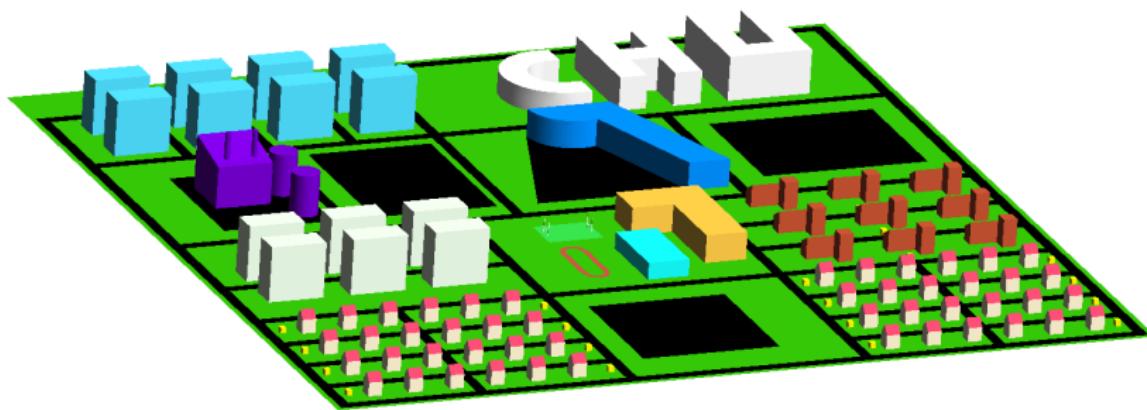
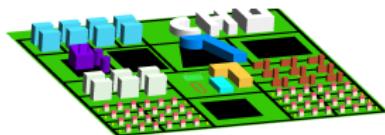


Figure: Exemple de ville.

## Définitions III



Quartier, petite ville ou ville

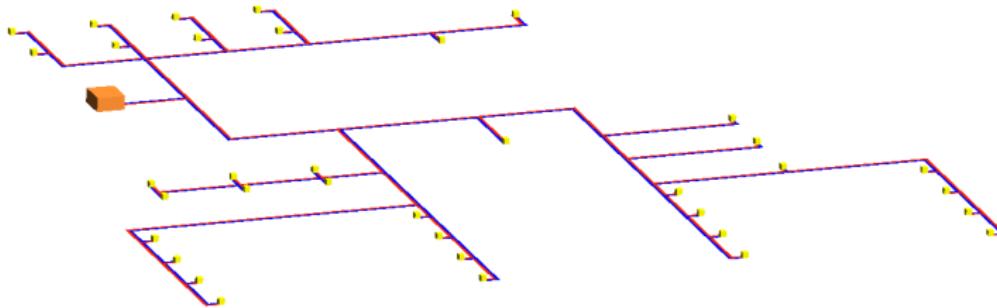


Figure: Exemple de réseau.

# Intérêts I

*"La prestation apportée par un réseau de chaleur (chauffage et ECS) correspond aux 3/4 de la totalité des besoins énergétiques d'un logement moyen!"*

- Économies d'énergie ;

# Intérêts I

*"La prestation apportée par un réseau de chaleur (chauffage et ECS) correspond aux 3/4 de la totalité des besoins énergétiques d'un logement moyen!"*

- Économies d'énergie ;
- Coût moindre pour l'utilisateur ;

# Intérêts I

*"La prestation apportée par un réseau de chaleur (chauffage et ECS) correspond aux 3/4 de la totalité des besoins énergétiques d'un logement moyen!"*

- Économies d'énergie ;
- Coût moindre pour l'utilisateur ;
- Possibilité de diversification des sources ;

# Intérêts I

*"La prestation apportée par un réseau de chaleur (chauffage et ECS) correspond aux 3/4 de la totalité des besoins énergétiques d'un logement moyen!"*

- Économies d'énergie ;
- Coût moindre pour l'utilisateur ;
- Possibilité de diversification des sources ;
- Impact environnemental ;

# Intérêts I

*"La prestation apportée par un réseau de chaleur (chauffage et ECS) correspond aux 3/4 de la totalité des besoins énergétiques d'un logement moyen!"*

- Économies d'énergie ;
- Coût moindre pour l'utilisateur ;
- Possibilité de diversification des sources ;
- Impact environnemental ;
- Sécurité renforcée ;

# Intérêts I

*"La prestation apportée par un réseau de chaleur (chauffage et ECS) correspond aux 3/4 de la totalité des besoins énergétiques d'un logement moyen!"*

- Économies d'énergie ;
- Coût moindre pour l'utilisateur ;
- Possibilité de diversification des sources ;
- Impact environnemental ;
- Sécurité renforcée ;
- Intérêt politique (Grenelle Environnement, RT2012, valorisation locale) ;

## Intérêts II

Intérêt financier :

- Fonds Chaleur (habitat collectif, collectivités et entreprises) ;
- TVA 5,5 % ;
- Participation des conseils régionaux et généraux ;
- Tarif d'achat réglementé de l'électricité (si cogénération) ;
- Certificat d'Economie d'Energie (CEE).

# Aujourd'hui

- 450 réseaux (chaleur et froid)
- $2,1 \cdot 10^6$  d'équivalents logements
- 6 % du chauffage
- réseaux alimentés à 36 % par des EnR&R

Les réseaux de chaleur sont donc le meilleur élève parmi les 3 types de réseaux d'énergie (gaz : 0% EnR&R ; électricité : 11,5% EnR&R)



Figure: Réseaux en france (2012).

# Plan

## 1 Constituants d'un réseau

- Centrale(s) de production
- Réseau(x) de distribution
- Sous-stations

## 2 Réflexions complémentaires

- Contraintes
- Coût d'investissement
- Réseaux de froid

## 3 Conclusion

# Centrale de production



# Généralités

- Unité de grande puissance ;
- Utilisation autour du point de fonctionnement optimal (dans la majorité des cas) ;
- Composée d'une ou plusieurs installations, certaines pouvant jouer le rôle d'appoint en période de pointe ;
- Alimentée par des énergies fossiles ( $\approx 60\%$ ) ou des ENR & R ;
  - Gaz, fioul ou charbon.
  - Ordures ménagères et biomasse, géothermie.

# Dimensionnement global I

- Positionnement en fonction de paramètres opposés :
  - Proximité permet de réduire le réseau et de diminuer les pertes thermiques ;
  - Éloignement permet de minimiser l'impact acoustique et les risques de pollution.
- Dimensionnement global :

$$\mathcal{P}_{\text{tot}} = \mathcal{P}_{\text{utile}} + \mathcal{P}_{\text{pertes}} \quad (1)$$

$\mathcal{P}_{\text{utile}}$  donnée par la courbe de charge.

$\mathcal{P}_{\text{pertes}}$  dépend de l'étendue du réseau et de son isolation.

## Dimensionnement global II

Durée d'utilisation équivalente à pleine puissance [h]

$$H_{eq} = \frac{\text{Énergie délivrée sur une année [kWh]}}{\text{Puissance}_{\text{nominale}}[\text{kW}]} \quad (2)$$

- $H_{eq} > 5000$  h : très performant
- $H_{eq} \approx 2500$  h : valeur courante
- $H_{eq} < 2000$  h : peu exploité, surdimensionnée

## Dimensionnement global III

Contenu  $CO_2$  du réseau [Méthode SNCU]

$$\text{Contenu } CO_2 = \frac{\sum_j (E_{\text{entrante},j} \text{ Coeff}_j) - E_{\text{cogé}} \text{ Coeff}_{\text{cogé}} [\text{kg}]}{\text{Énergie totale livrée en ss-station} [\text{kWh.an}]} \quad (3)$$

- En 2011 : 0.189 kg/kWh (Elec : 0.180 ; gaz : 0.234 ; charbon : 0.384)
- RT2012 : majoration du  $Cep_{max}$  en fonction du contenu de  $CO_2$  du réseau

## Dimensionnement global IV

Part d'énergie renouvelable et de récupération [%]

$$\text{Mix ener} = \frac{\sum_j \text{Énergie}_{j,\text{produite par source ENR&R}} [\text{kWh}]}{\text{Énergie}_{\text{totale produite}} [\text{kWh}]} \quad (4)$$

- 50% permet subvention (fond de chaleur, TVA réduite sur combustible...)
- En 2011 : 36% réseaux (2010 31%)
- RT2012 : Réseau vertueux (ok)

Technologies retenues :

- Énergies fossiles : c.f cours Combustion Industrielle, 2<sup>e</sup>année ;
- ENR & R : c.f idem + cours Biomasse, 3<sup>e</sup>année ;
- Géothermie : c.f cours Géothermie, 3<sup>e</sup>année.

# Énergies fossiles

Points Clés :

- gaz naturel ou au fioul
- présent dans quasiment tout les réseaux de chaleur (unité principale ou appoint)
- avantages : fourniture, utilisation cyclique aisée, plage d'utilisation variée
- désavantages : fortement émettrice de gaz à effet de serre, évolution du prix incertaine

# Biomasse I

## Points Clés :

- bois à 97% (première source d'ENR en France), biomasse agricole (résidus de récolte, déchet des industries agroalimentaires)
- 73 000 équivalents-logements (150 réseaux de chaleur) : 0.1 Mtep/an
- objectif 2020 : 1.2 Mtep/an
- avantages : ressources bien réparties, sous exploitées, préserve la qualité de l'air, stabilité du prix
- désavantages : contraintes de fourniture, acheminement, stockage, puissance d'utilisation.

## Biomasse II

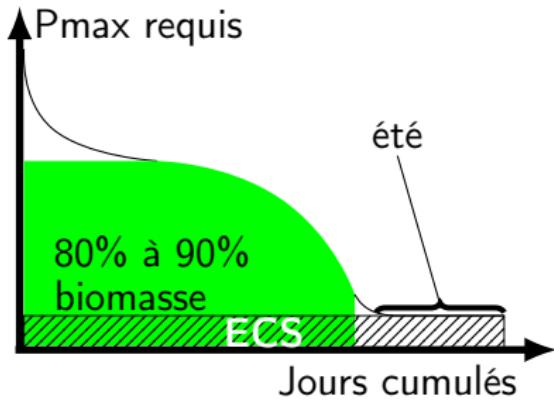


Figure: Monotone de chaleur

Mix énergétique :  
Biomasse + appoint (énergie fossile)

Biomasse inadaptée aux fortes variations de puissance :

- pointes hivernales
- faibles conso en été (ECS)

# Géothermie I

## Points Clés :

- 2 puits : puits de production (eau chaude vers chufferie), puits de réinjection (eau refroidie vers aquifère souterrain)
- 180 000 équivalents-logements (38 réseaux de chaleur) : 0.13 Mtep/an (80% région parisienne)
- objectif 2020 : 0.5 Mtep/an
- avantages : aucune nuisance, aucun combustible à acheminer et stocker, stabilité du prix, mutualisation d'un investissement lourd avec le réseau
- désavantages : investissement important comportant une part de risque, géothermie profonde présente uniquement sur 3 régions

## Géothermie II

- Géothermie haute énergie ( $> 150^\circ\text{C}$ ) : environnement géologiquement actifs (ou géothermie très profonde :  $\approx 6000\text{ m}$ ) ; possibilité de cogénération, seul site en Guadeloupe (!!! Lons!!!)
- Géothermie basse énergie (entre  $30^\circ\text{C}$  et  $90^\circ\text{C}$ ,  $500$  à  $1000\text{ m}$ ) et moyenne énergie (entre  $90^\circ\text{C}$  et  $150^\circ\text{C}$ ,  $1000$  à  $3000\text{ m}$ ) : principale source de géothermie pour les réseaux de chaleur ; disponible dans le bassin parisien, l'Aquitaine et l'Alsace..
- Géothermie très basse énergie ( $< 30^\circ\text{C}$ ) :  $50$  à  $500\text{ m}$  (géothermie superficielle) ; logements individuels, petits immeubles (pompes à chaleur), lotissement neuf ; disponible partout.

# Énergies de récupération

## Points Clés :

- chaleur fatale ; usine d'incinération, industries, biogaz produit par la méthanisation
- 0,4 Mtep/an chaleur de récupération ; 0,08 Mtep/an de biogaz (20 % alimentent les réseaux de chaleur)
- objectif 2020 : 0,9 Mtep/an (part renouvelable des déchets ménagers) ; 0,55 Mtep/an de biogaz (tous usages thermiques confondus).
- avantages : chaleur fatale valorisée ; peu coûteuse
- désavantages : disponibilité territoriale limitée ; dépendance vis-à-vis de l'activité.
- Pistes : raccordement d'usines existantes ; multiplication des sources de récupération ; nouveaux quartiers

## Nouvelles sources d'énergie

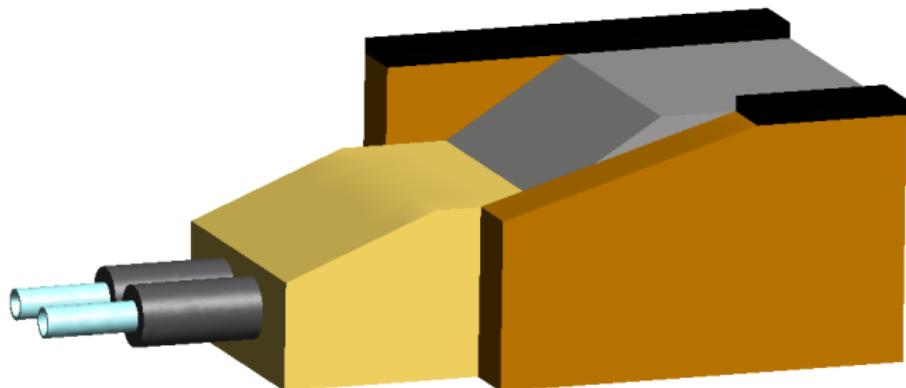
Nouveaux besoins : quartiers basse consommation (départ 70 °C retour 35 °C)

- solaire thermique
- géothermie peu profonde
- récupération de chaleur des eaux usées et des bâtiments

Sources mobilisables à l'échelle du bâtiment, mais un réseau de chaleur apporte des bénéfices :

- moins coûteux (investissement et fonctionnement) ; rendement ++ (ex : panneaux solaires)
- facilité de mobilisation de différentes énergies renouvelables

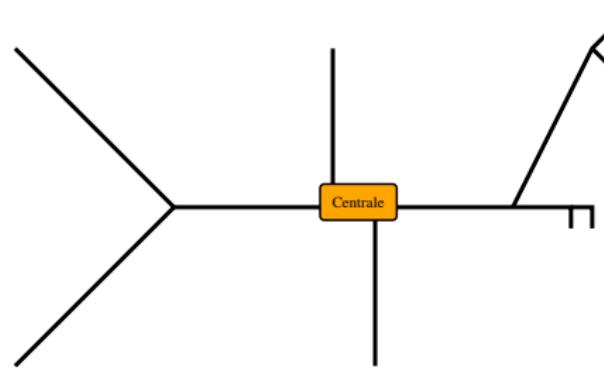
# Réseau(x) de distribution



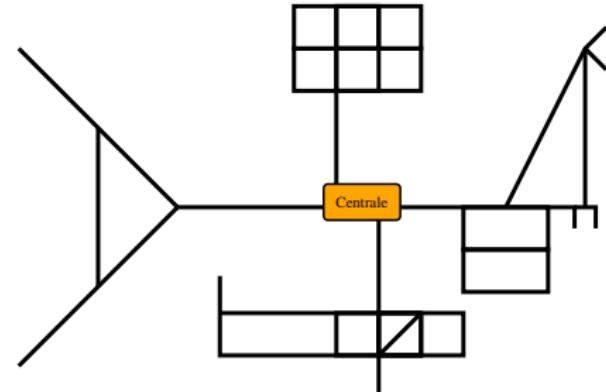
# Généralités I

- Permet de livrer l'énergie produite par la centrale aux sous-stations.
- Fluide caloporeur :
  - Eau "chaude", entre  $60^{\circ}\text{C}$  et  $110^{\circ}\text{C}$ .
  - Eau surchauffée, à basse température  $110^{\circ}\text{C} < T < 160^{\circ}\text{C}$  ou à haute température  $180^{\circ}\text{C} < T < 220^{\circ}\text{C}$ , avec de fortes pressions ( $> 30$  bar).
  - Vapeur sèche, avec  $200^{\circ}\text{C} < T < 300^{\circ}\text{C}$  et  $20 \text{ bar} < P < 25 \text{ bar}$ .
  - Autres fluides (huiles, CO<sub>2</sub> ...)
- Canalisations linéaires, en caniveau enterré ou en tranchée, ou élévation (intérieure ou extérieure).

## Généralités II



(a) Ramifié.



(b) à mailles.

**Figure:** Schéma d'un réseau de chaleur.

# Dimensionnement global I

- Nombre et positions des sous-stations ;
- Puissance à fournir sur chaque sous-station ;
- Choix du fluide caloporteur ;
- Type d'installation et choix du matériau pour les tubes ;
- Calcul des vitesses et pertes de charges, puis des diamètres de tubes.

## Dimensionnement global II

Densité thermique [MWh/ml.an]

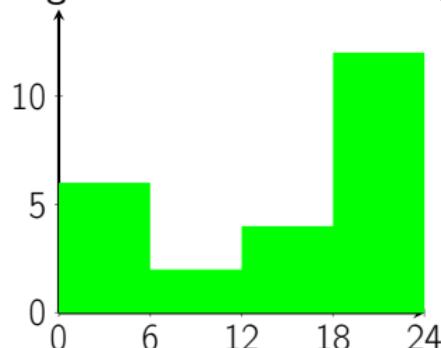
$$d = \frac{\text{Quantité de chaleur livrée sur une année [MWh]}}{\text{longueur de tranchée du réseau [ml]}} \quad (5)$$

- $d \approx 8$  : moyenne réseaux existants
- $15 < d < 20$  réseaux très denses (année 60-70)
- $3 < d < 6$  réseaux récents (consommateurs moins gourmands)
- $d < 1.5$  viabilité économique du réseaux difficile à atteindre

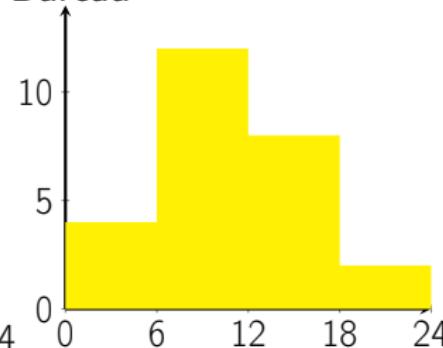
## Dimensionnement global III

Augmenter le foisonnement

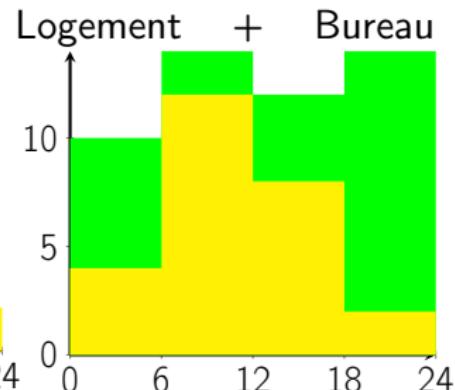
Logement



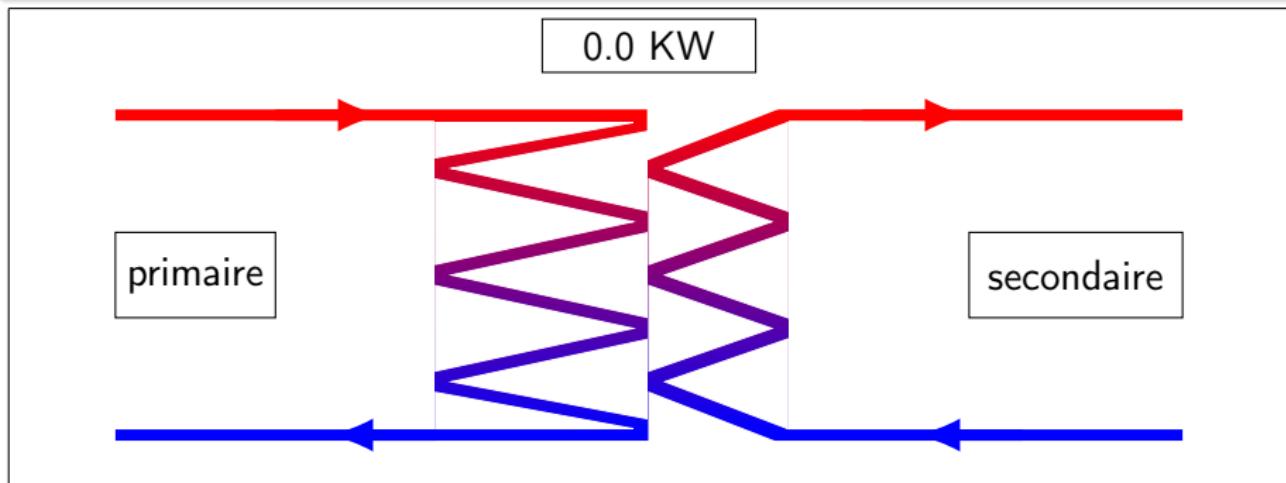
Bureau



Logement +

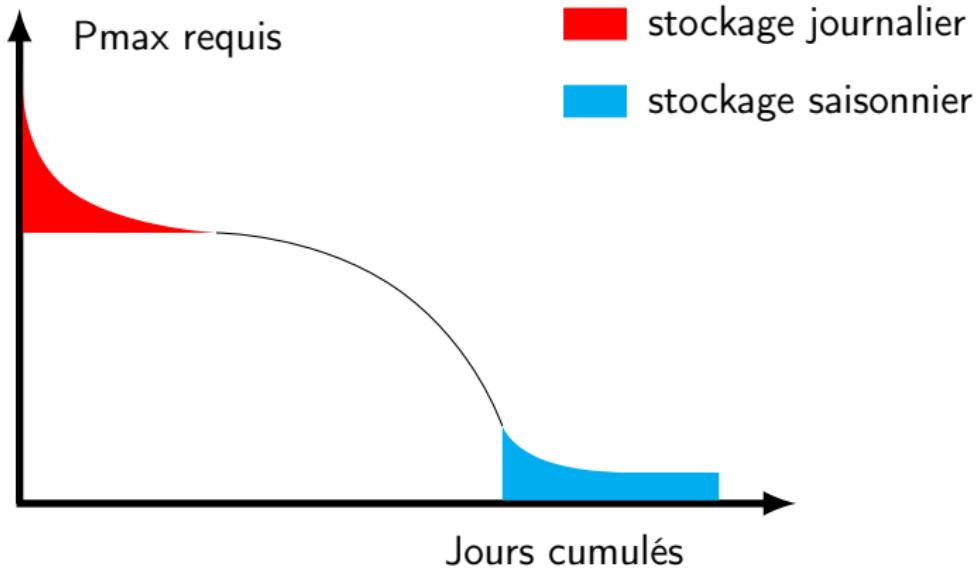


# Sous-stations



- Point de raccordement avec le réseau où s'effectue la livraison.
- Fluide primaire, rarement utilisé directement (installations industrielles), réchauffe un fluide secondaire (eau,  $T < 90^\circ\text{C}$  ou vapeur BP) à l'aide d'échangeurs (tubulaires ou à plaques).
- Fluide secondaire alimente des émetteurs ou sert à la production d'ECS.
- Appareillages :
  - Compteur
  - Échangeurs
  - Pompe, vannes
  - Ballon(s) éventuel(s) pour le **stockage** d'ECS.

Le stockage, futur indispensable des réseaux de chaleur !!!



# Plan

## 1 Constituants d'un réseau

- Centrale(s) de production
- Réseau(x) de distribution
- Sous-stations

## 2 Réflexions complémentaires

- Contraintes
- Coût d'investissement
- Réseaux de froid

## 3 Conclusion

# Contraintes

# Centrale de production

- Établissement classé ;
  - ⇒ R<sub>t</sub> installations de combustion (stockage, transport et utilisation du combustible ...)
  - ⇒ R<sub>t</sub> sécurité (incendie, pression, hygiène (ordures) ...)
  - ⇒ R<sub>t</sub> nuisances (bruit, pollution, odeurs ...)
- Analyse technique réglementaire :
  - Etat d'usage, rendement(s) ;
  - Livrets de chaufferie, quotas CO<sub>2</sub> ;
  - Travaux de rénovation prévus ou à prévoir ;
  - Gestion des ressources humaines.

# Réseau(x) de distribution

- Coordination avec la centrale et au primaire/secondaire ;
- Rt canalisations & transport fluide sous pression ;
  - ⇒ tenue à la pression (test étanchéité), la corrosion... .
  - ⇒ vitesses max ;
  - ⇒ vannes de purges ou soupapes, pentes imposées... .
  - ⇒ isolation thermique.
- Problèmes fonciers ;
- Pose (règles Génie Civil) ;
- Suivi réglementaire :
  - Etat d'usage, ;
  - Analyse d'incidents ;
  - Travaux de rénovation prévus ou à prévoir ;
  - Gestion des ressources humaines.

# Sous-stations

- Rt ERP (risque incendie, évacuation des personnes...);
- Distribution et régulation (EC & ECS);
- Règles sanitaires (ECS);
- Problèmes fonciers;
- Encombrement et accès;
- Suivi réglementaire :
  - Consommation chauffage;
  - Consommation ECS.

# Coût d'investissement

# Quelques repères I

- Chaufferie (chaudière, pompes, silo, bâtiment,...)  
 $P = 200 \text{ kW} \rightarrow C = 959 \text{ €/kW}$ ,  
 $P = 750 \text{ kW} \rightarrow C = 654 \text{ €/kW}$ ,  
 $P = 4 \text{ MW} \rightarrow C = 501 \text{ €/kW}$ .
- Réseau de distribution :  
zone urbaine dense 1000 à 1500 €/ml,  
petite ville ou nouveau quartier 300 €/ml.

## Quelques repères II

Estimations sommaires des coûts d'investissement de projets en fonction de ces 2 caractéristiques simples.

Voici quelques exemples :

- petit réseau de chaleur bois ( $\approx$  5 à 50 équivalents-logements) : puissance bois 250 kW à 1000€/kW + 125m de réseau à 300€/m + études/frais = environ 330k€
- réseau moyen ( $\approx$  50 à 500 équivalents-logements) : puissance bois 1 MW à 650€/kW + 500m de réseau à 315€/m + études/frais = environ 880k€
- gros réseau ( $\approx$  500 à 5000 équivalents-logements) : puissance bois 4 MW à 500€/kW + 2km de réseau à 480€/m + études/frais = environ 3,3M€

# Optimisation du coût I

Le coût d'investissement peut être réduit en :

- cherchant à mutualiser les travaux de génie civil (pose des canalisations - gaz, électricité, eau) ;
- faisant appel à de nouvelles techniques, canalisations souples (plastique pré-isolé - pose rapide) ;
- rénovant des installations existantes (notamment pour l'accueil des chaudières - pas toujours possible) ;
- choisissant un accompagnement poussé par une AMO ou une association locale expérimentée ;

## Optimisation du coût II

- plaçant le centre de production le plus près possible des gros consommateurs pour diminuer les pertes thermique et réduire par la suite le diamètre de tuyau.
- n'isolant pas les tuyaux retour (quand cela est possible).
- optimisant le tracé et le génie civil (obtenir la plus grande densité thermique)
- utilisant des réseaux non enterrés (toitures, garages, vides sanitaires - house to house) 2 à 6 fois moins cher

# Réseaux de froid

# Principe des réseaux de froid

réseau de froid = réseau de chaleur

Évacue la chaleur des bâtiments -> point de rejet dans l'air ou dans l'eau.  
On retrouve les mêmes éléments que dans un réseau de chaleur :

- unité d'évacuation de la chaleur (centrale de production) ;
- Réseau de canalisations (fluide caloporteur : eau entre 1 et 12°C aller ; 10 et 20°C retour)
- sous-station - collecte de la chaleur dans les bâtiments.

Une belle réalisation : Climespace

# Techniques utilisées pour la production de froid

- La technique dominante est le compresseur (95% du froid urbain) ;
- ENR & R (3%), production de froid à partir de la chaleur fatale inutilisée en été grâce à des machines à absorption ;
- technique du "Free cooling" permet d'utiliser directement (sans compresseur) le froid ambiant de l'air ou de l'eau.

# Conclusion

Des aspects intéressants :

- Économies d'échelle ;
- Sécurité ;
- Bilan environnemental ;
- Subventions.

Mais des contraintes importantes :

- Coût important, de l'installation et du réseau ;
- TRI assez long.

# Sites d'informations I

- Liste fournie dans le cours de Biomasse, 3<sup>e</sup>année.

Pour les principaux :

- Agence Européenne de l'Environnement (AEE) : [www.eea.europa.eu/fr](http://www.eea.europa.eu/fr)
  - Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la mer : [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)
  - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie (ADEME) : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- Autres sites intéressants :
    - Observatoire des Énergies Renouvelables (Observ'ER) : <http://www.energi.org/>
    - Fédération des Services Énergie Environnement (FEDENE) : <http://www.fedene.fr/>  
⇒ Syndicat National du Chauffage Urbain (SNCU)

## Sites d'informations II

- Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine (ANRU) : <http://www.anru.fr/>
- Union Sociale pour l'Habitat (USH) : <http://www.union-habitat.org/>
- Association Amorce : <http://www.amorce.asso.fr/>
- Association Via Sèva : <http://www.viaseva.org/>  
    ⇒ Fiche nominative sur les principaux réseaux de chaleur
- Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain : <http://www.cpcu.fr>