



ENSGTI

spécialité Energétique Industrielle

RÉSEAU DE CHALEUR

2017-2018



Sylvain SERRA

Déroulement de l'enseignement

4h CM, 10h Projet

Evaluation

Présentation orale du projet : 01/12/17 de 13h30 à 15h30

Lien du cours : <http://www.sylvain-serra.fr/co/ensgti.html>



Introduction : Généralités

Contexte européen

"à l'horizon 2020 »

(Objectif pour les plus vieux)

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.

Introduction : Généralités

Contexte européen

"à l'horizon 2030 »

(Pourquoi pas mais c'est un petit objectif)

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.

Introduction : Généralités

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
- tous les secteurs doivent contribuer à atteindre cet objectif
- la transition vers une économie sobre en carbone est abordable et réalisable

Introduction : Généralités

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...

Tous prédisent une place importante des réseaux de chaleur

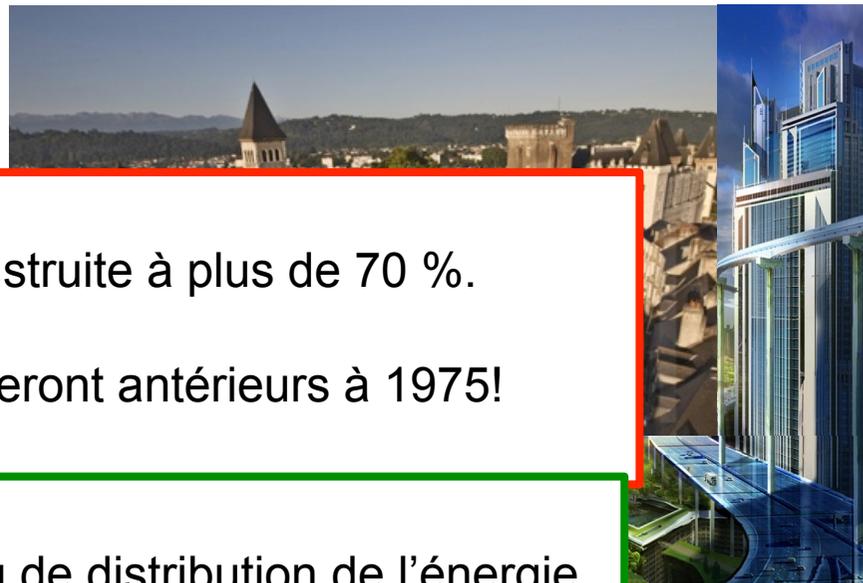
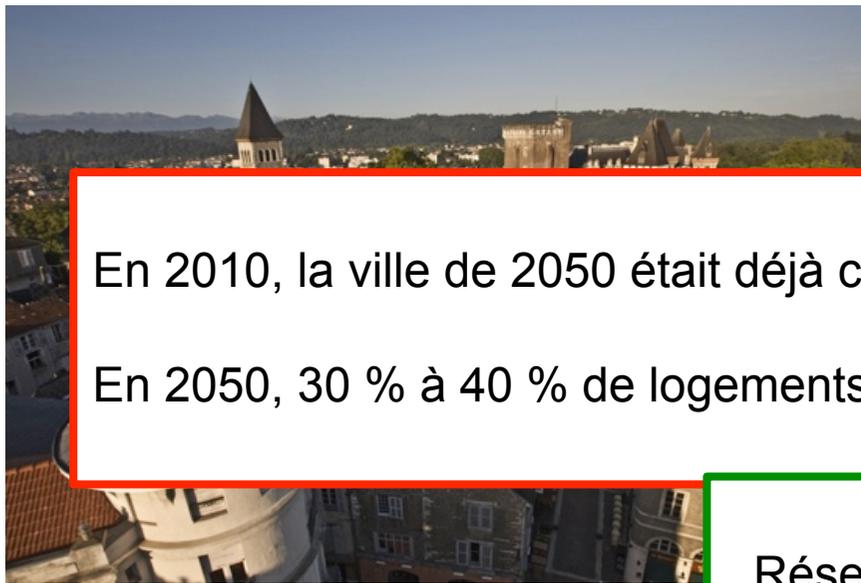
Introduction : Généralités

- Surconsommation
- Pollution
- Risques

Réhabilitation!

Pau de nos jours...

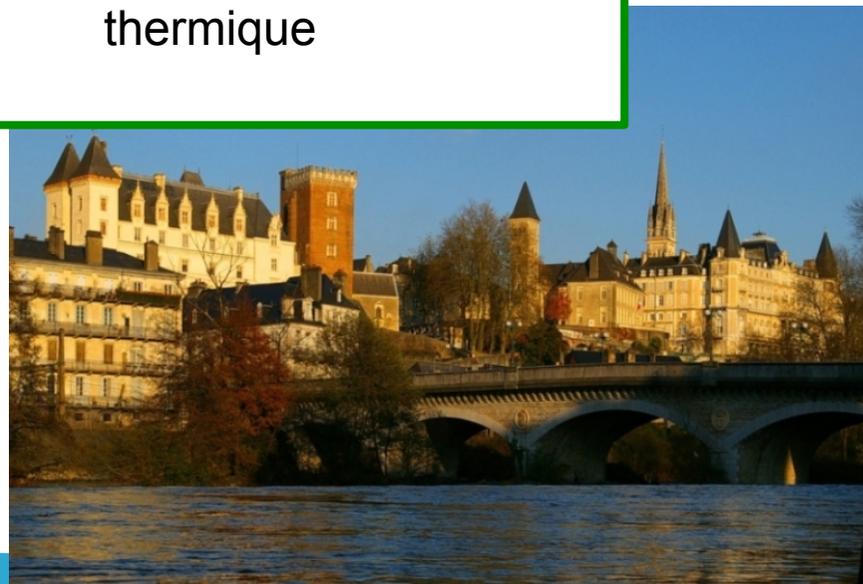
Pau 2050 ?



En 2010, la ville de 2050 était déjà construite à plus de 70 %.

En 2050, 30 % à 40 % de logements seront antérieurs à 1975!

Réseau de distribution de l'énergie thermique



Introduction : Généralités

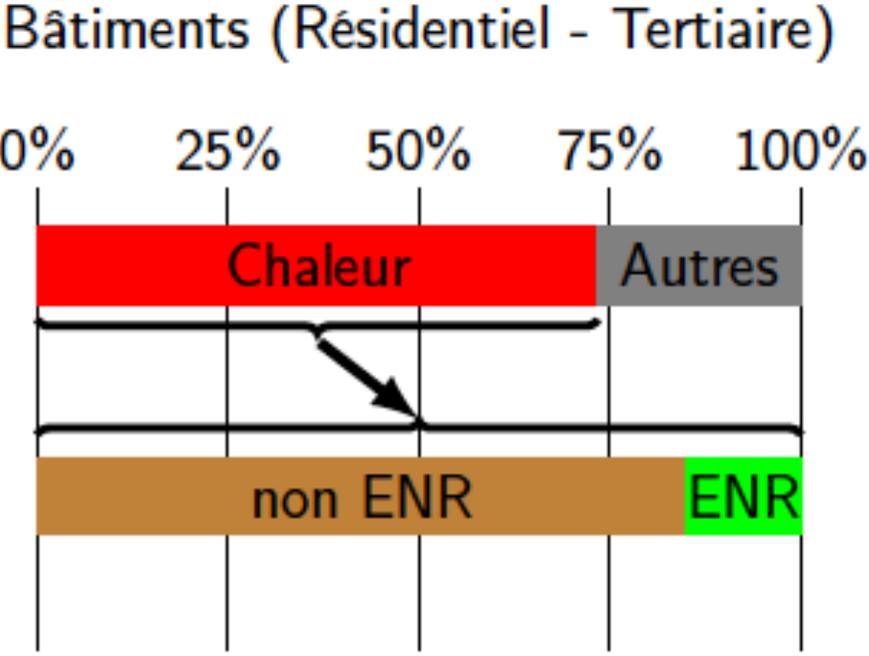
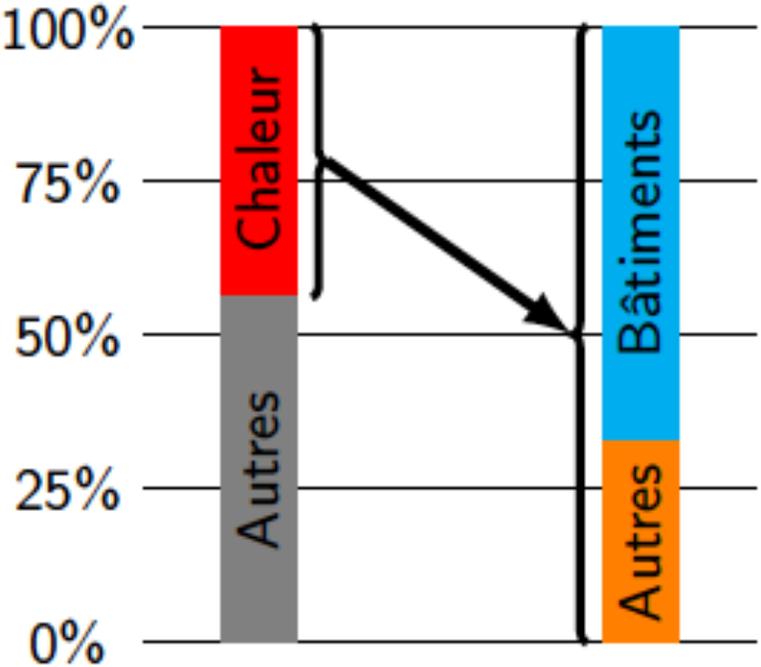
Plan Bâtiment durable «*Les scénarios* »



- Accélérer la rénovation énergétique des logements avec un objectif de **500.000 rénovations lourdes** de logements par an, avec une priorité au traitement de la précarité énergétique afin de viser une baisse de celle-ci de 15 % en 2020;
- Viser un parc de bâtiments de niveau BBC en 2050;
- Viser la rénovation des logements les plus énergivores d'ici 2025

Introduction : Généralités

Energie finale consommée en France



Introduction : Généralités

Petit raisonnement simpliste... mais un peu faux

La consommation en chaleur des résidences principales en France correspond à environ 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 ! ! ! !



Introduction : Définitions

“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 :

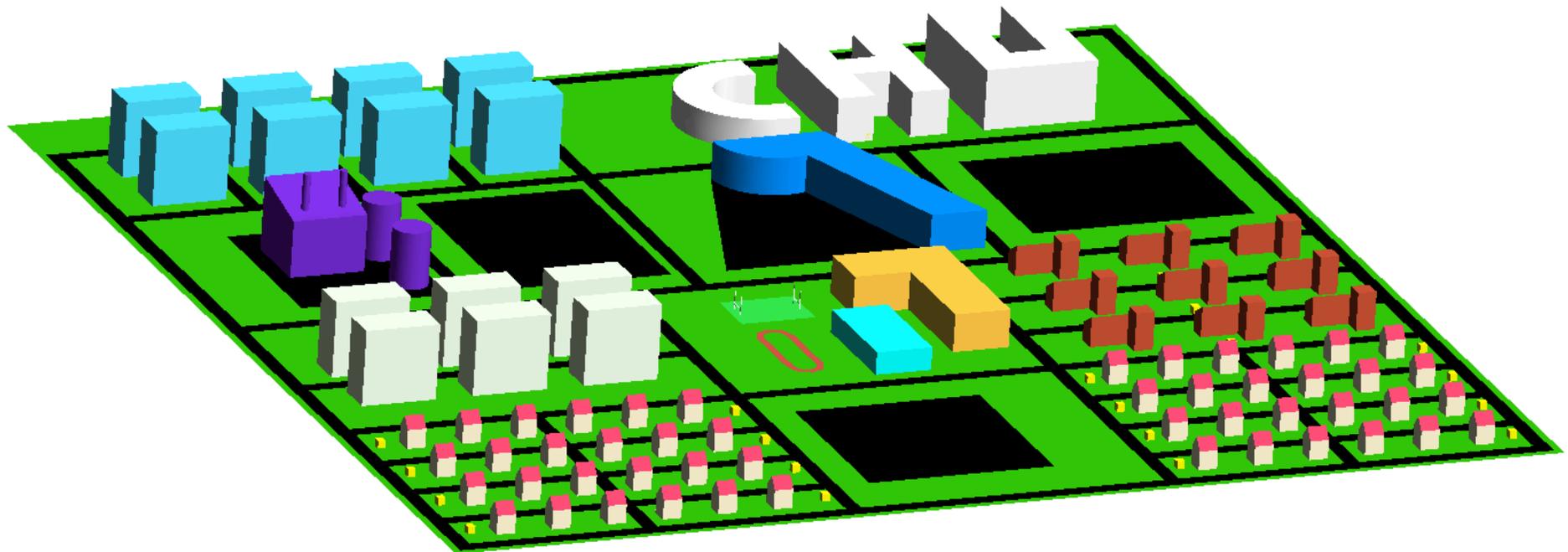
- centrale (s) de production ;
- réseau(x) de distribution ;
- postes de raccordement (sous-station).

Acteurs : collectivités et/ou tiers (régie, affermage, concession)

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

Introduction : Définitions

“Quartier, petite ville, ville.”



Exemple de ville

Introduction : Intérêts

“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) ;

Introduction : Intérêts

“Intérêt financier”

- *RT2012*
- *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).*

Introduction : Aujourd'hui (31 décembre 2015)

- 633 Réseaux de chaleur (4 738 km)
- 22 750 GWh de chaleur livrée, 2.27 millions d'équivalents logement
- 20 réseaux de froid
- 900GWh de froid livré
- 95% des livraisons dans le tertiaire et le résidentiel

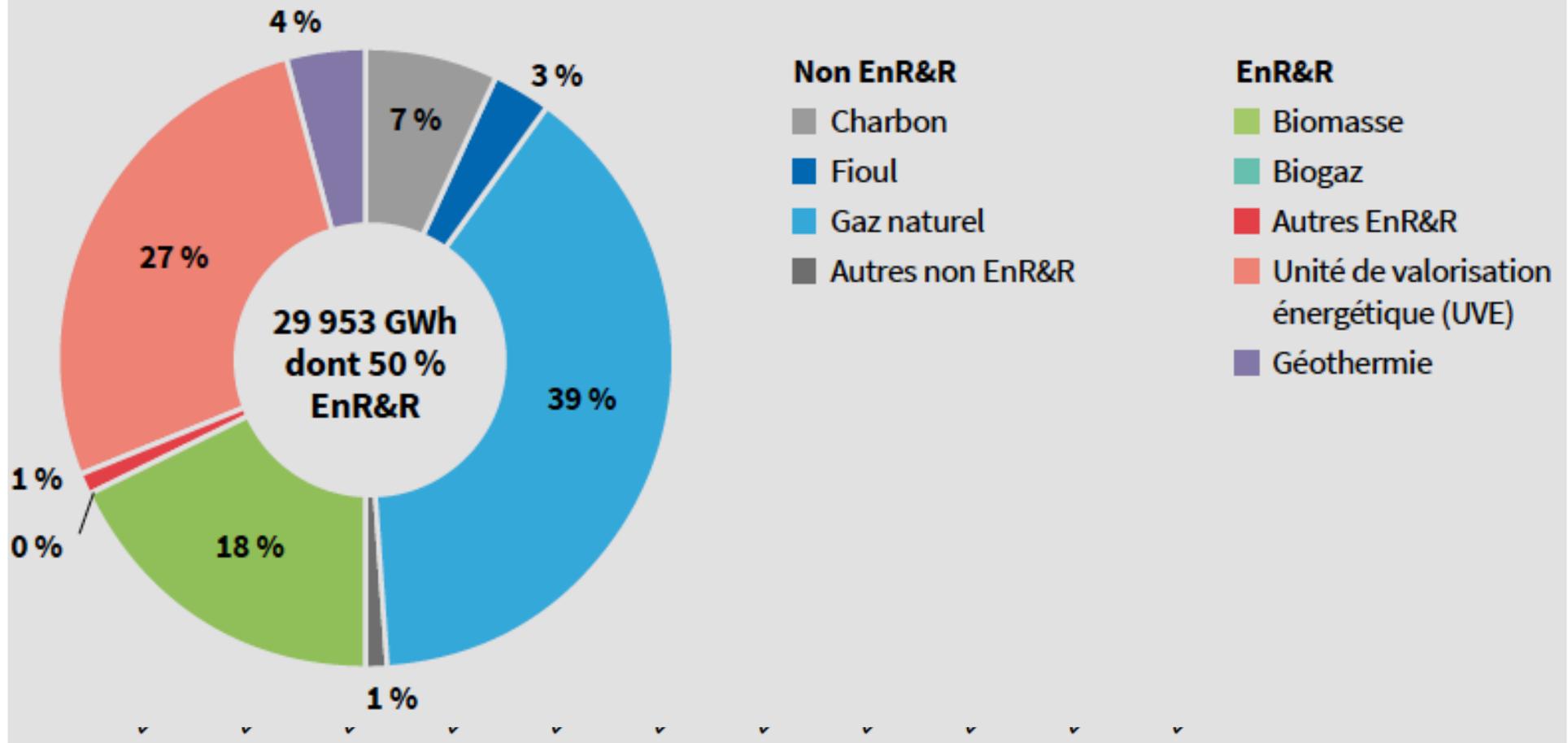
Le contenu de CO₂ moyen est de 0.139 kg/kWh contre 0.234 pour le gaz et 0.3 pour le fioul domestique

Avec 50% d'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)
Note : en 2005 les RCU étaient à 26% ENR

Introduction : Aujourd'hui (31 décembre 2015)

Entrants utilisés pour la production de chaleur dans les réseaux en 2015 (GWh)

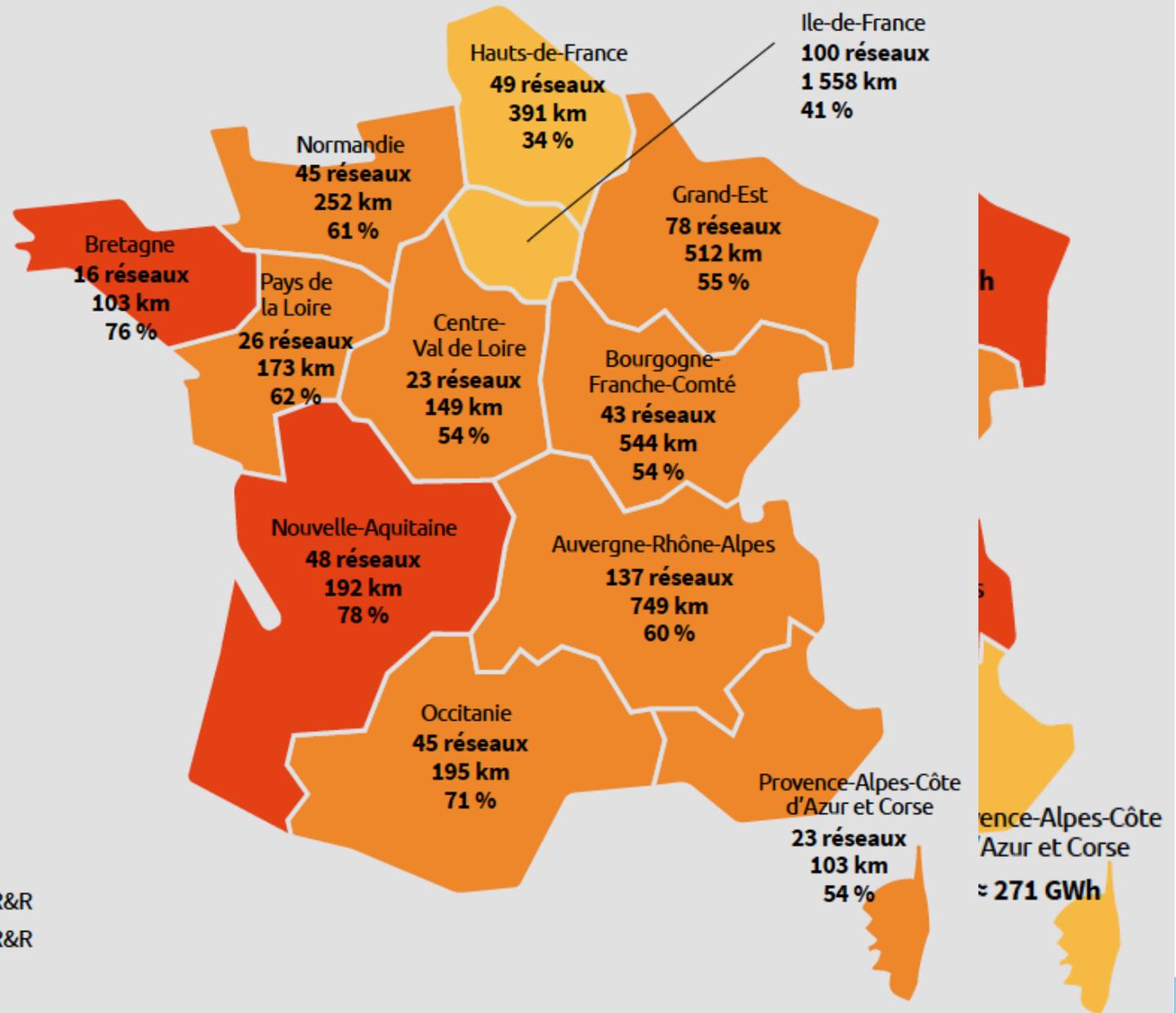
Source : SNCU 2016



Répartition Taux d'EnR&R dans les réseaux par région

Source : SNCU

- [0 - 300 [€
- [300 - 600
- [600 - 900
- [900 GWh



Palmarès

Grand-Est
≈ 1 275 GV

- [25 - 50 [% d'EnR&R
- [50 - 75 [% d'EnR&R
- [75 % d'EnR&R

2

Plan

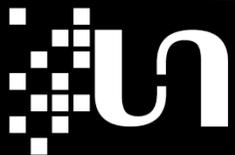
1. Constituants d'un réseau

1. Centrale(s) de production
2. Réseau(x) de distribution
3. Sous-stations

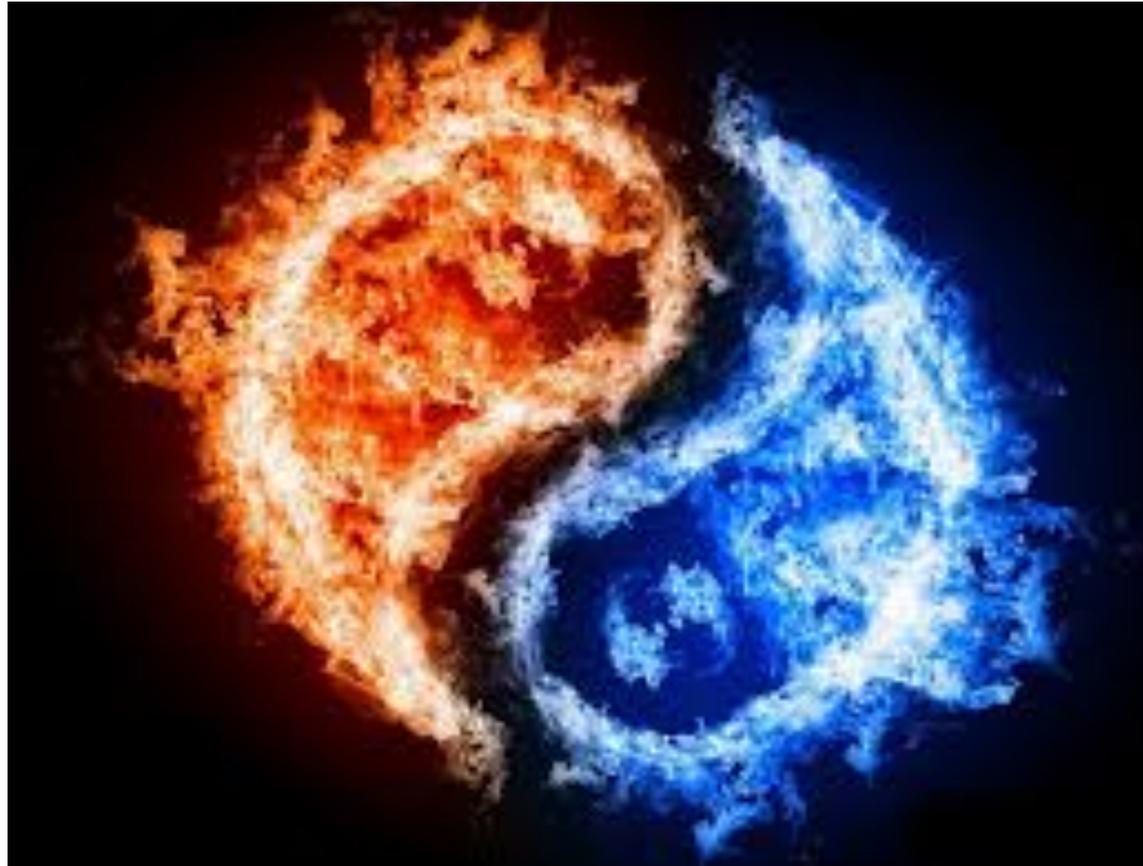
2. Réflexions complémentaires

1. Contraintes
2. Coût d'investissement
3. Réseaux de froid

3 Conclusion



Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production



Centrale de production

Constituant d'un réseau de chaleur : 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 (50 %) ou des ENR & R ;
 - Gaz, fioul ou charbon.
 - Ordures ménagères et biomasse, géothermie, solaire.

Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

Dimensionnement global

- 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 :

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{utile}} + P_{\text{pertes}}$$

P_{utile} donnée par la courbe de charge.

P_{pertes} dépend de l'étendue du réseau et de son isolation.

Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

Dimensionnement global

Durée d'utilisation équivalente à pleine puissance [h]

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

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

Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

Dimensionnement global

Contenu CO₂ du réseau [Méthode SNCU]

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

- En 2011 : 0.189 kg/kWh (Elec : 0.180 ; gaz : 0.234 ; charbon : 0.384)
- RT2012 : majoration du Cepmax en fonction du contenu de CO₂ du réseau

Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

Dimensionnement global

Part d'énergie renouvelable et de récupération [%]

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

- 50% permet subvention (fond de chaleur, TVA réduite sur combustible...)
- En 2015 : 50% réseaux (2005 26%)
- RT2012 : Réseau vertueux (ok)

Technologies retenues :

- Énergies fossiles : c.f cours Combustion Industrielle, 2eannée ;
- ENR & R : c.f idem + cours Biomasse, 3eannée ;
- Géothermie : c.f cours Géothermie, 3eannée.



Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

Energies 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

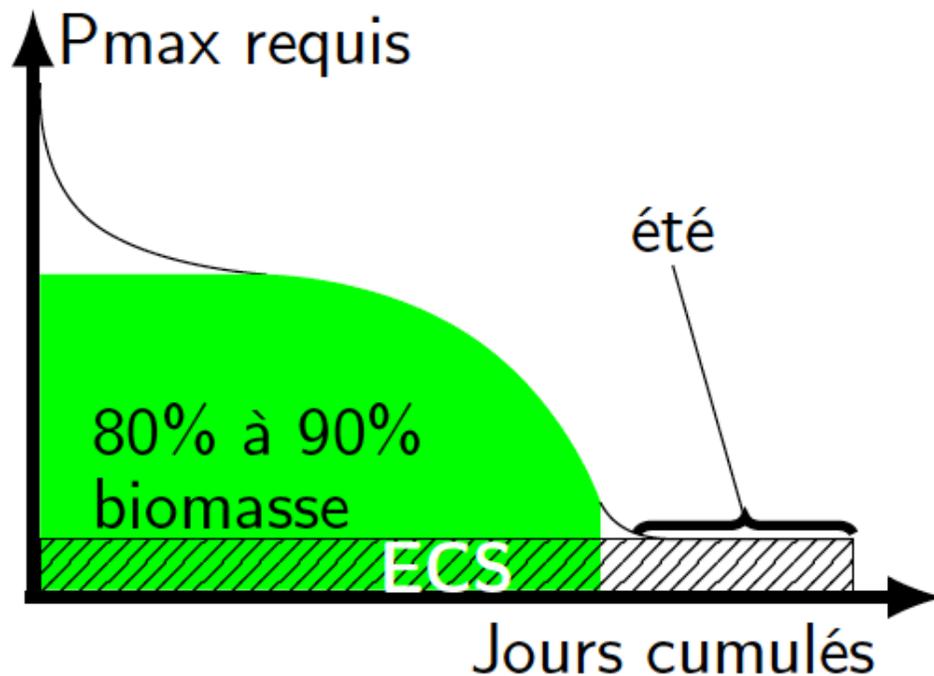
Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

Biomasse

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.

Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production Biomasse



Mix énergétique :
Biomasse+appoint (énergie fossile)

Biomasse inadaptée aux fortes variations
de puissance :

- Points hivernales
- Faible consommation en été (ECS)

Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

Géothermie

Points Clés :

- 2 puits : puits de production (eau chaude vers chaufferie), 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.

Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

Géothermie

Points Clés :

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

Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

Energie 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

Constituant d'un réseau de chaleur : Centrale de production

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

Plan

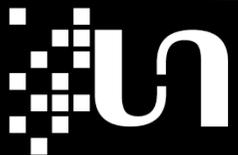
1. Constituants d'un réseau

1. Centrale(s) de production
2. Réseau(x) de distribution
3. Sous-stations

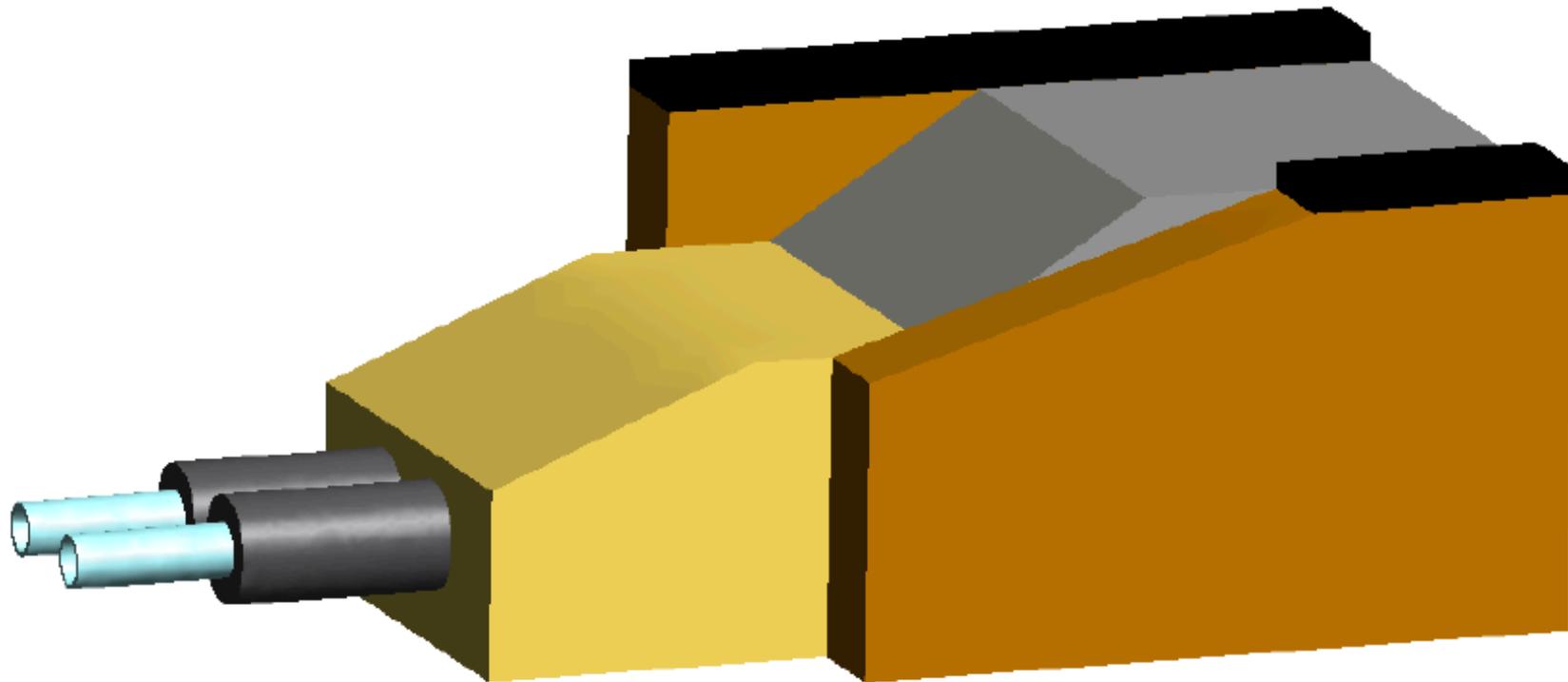
2. Réflexions complémentaires

1. Contraintes
2. Coût d'investissement
3. Réseaux de froid

3 Conclusion



Constituant d'un réseau de chaleur : Réseau(x) de distribution



Constituant d'un réseau de chaleur : Réseau(x) de distribution

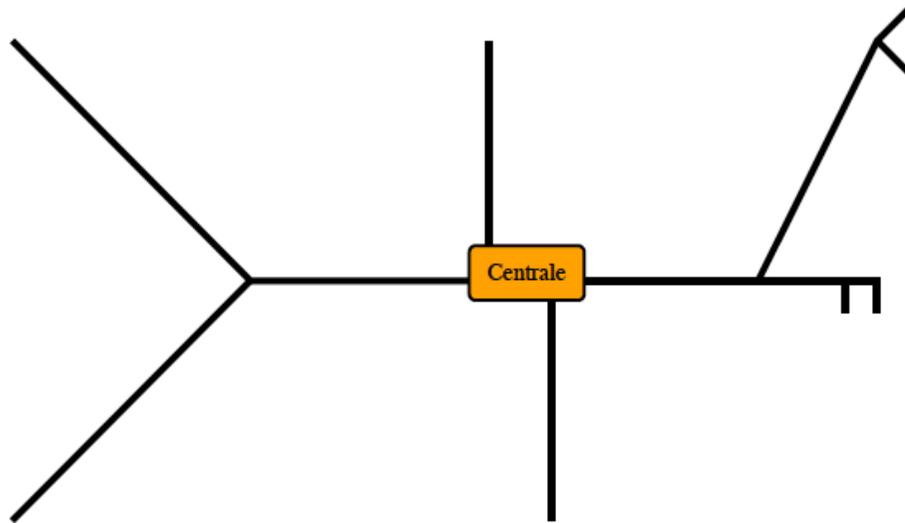
Généralités

- Permet de livrer l'énergie produite par la centrale aux sous-stations.
- Fluide caloporteur :
 - Eau "chaude", entre 60C et 110C.
 - Eau surchauffée, à basse température $110C < T < 160C$ ou à haute température $180C < T < 220C$, avec de fortes pressions (> 30 bar).
 - Vapeur sèche, avec $200C < T < 300C$ et $20 \text{ bar} < P < 25 \text{ bar}$.
 - Autres fluides (huiles, CO₂ . . .)
- Canalisations linéaires, en caniveau enterré ou en tranchée, ou élévation (intérieure ou extérieure).

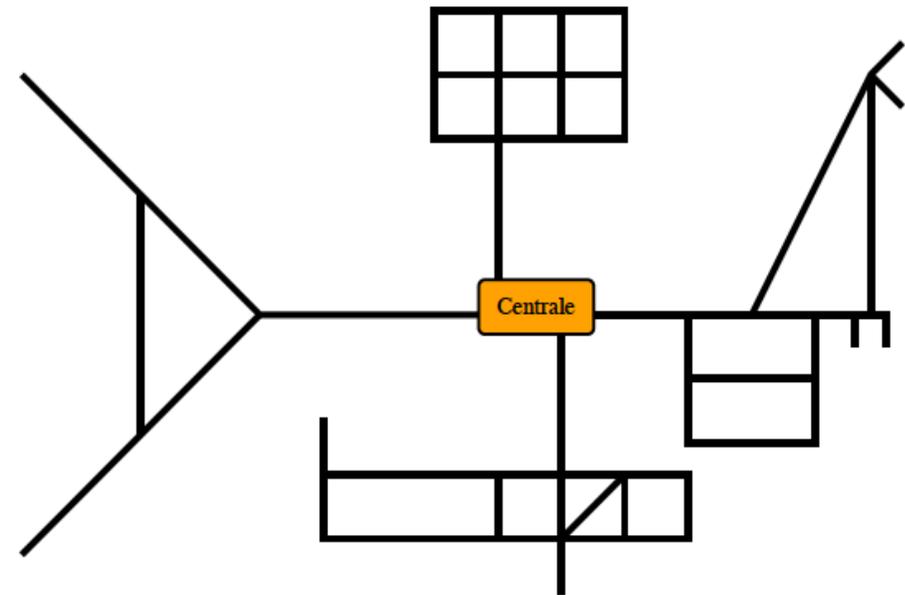


Constituant d'un réseau de chaleur : Réseau(x) de distribution

Généralités



(a) Ramifié.



(b) à mailles.

Constituant d'un réseau de chaleur : Réseau(x) de distribution

Dimensionnement global

- 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.

Constituant d'un réseau de chaleur : Réseau(x) de distribution

Dimensionnement global

Densité thermique [MWh/ml.an]

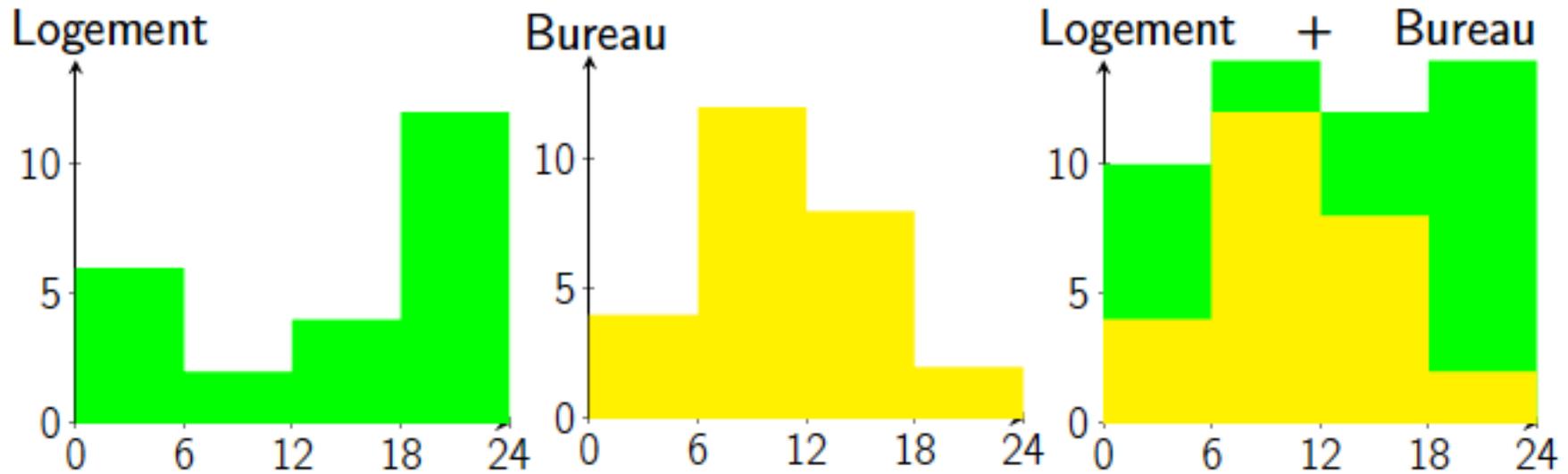
$$d = \frac{\text{Quantité de chaleur livrée sur une année [MWh]}}{\text{longueur de tranchée du réseau [ml]}}$$

- $d \approx 8$: 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

Constituant d'un réseau de chaleur : Réseau(x) de distribution

Dimensionnement global

Augmenter le foisonnement



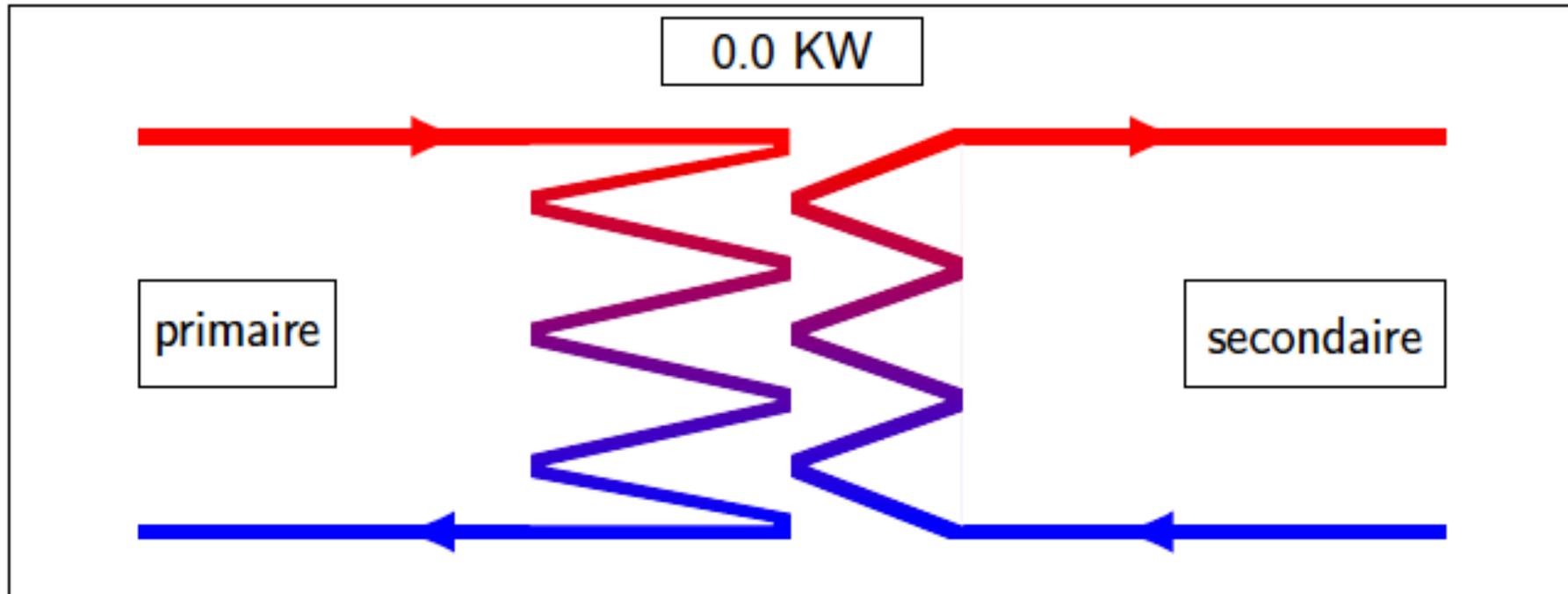
Plan

1. Constituants d'un réseau
 1. Centrale(s) de production
 2. Réseau(x) de distribution
 3. Sous-stations

2. Réflexions complémentaires
 1. Contraintes
 2. Coût d'investissement
 3. Réseaux de froid

- 3 Conclusion

Constituant d'un réseau de chaleur : Sous-stations



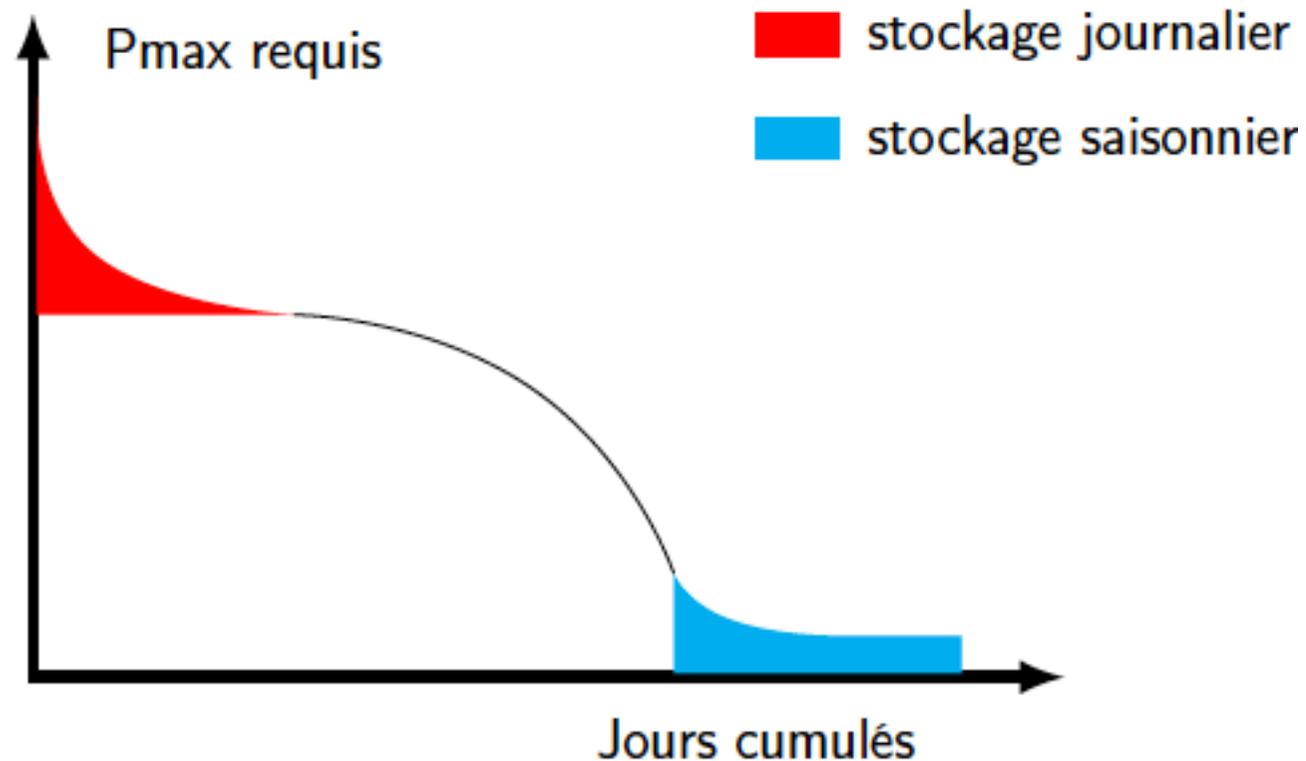
Constituant d'un réseau de chaleur : Sous-stations

- 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.

Constituant d'un réseau de chaleur :

Stockage thermique

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



Plan

1. Constituants d'un réseau
 1. Centrale(s) de production
 2. Réseau(x) de distribution
 3. Sous-stations

2. Réflexions complémentaires
 1. Contraintes
 2. Coût d'investissement
 3. Réseaux de froid

- 3 Conclusion

Contraintes

Centrale de production

- Établissement classé ;
 - => Rt installations de combustion (stockage, transport et utilisation du combustible . . .)
 - => Rt sécurité (incendie, pression, hygiène (ordures) . . .)
 - => Rt nuisances (bruit, pollution, odeurs . . .)
- Analyse technique réglementaire :
 - État d'usage, rendement(s) ;
 - Livrets de chaufferie, quotas CO2 ;
 - Travaux de rénovation prévus ou à prévoir ;
 - Gestion des ressources humaines.

Contraintes

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 :
 - État d'usage, ;
 - Analyse d'incidents ;
 - Travaux de rénovation prévus ou à prévoir ;
 - Gestion des ressources humaines.

Contraintes

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.

Plan

1. Constituants d'un réseau
 1. Centrale(s) de production
 2. Réseau(x) de distribution
 3. Sous-stations

2. Réflexions complémentaires
 1. Contraintes
 2. Coût d'investissement
 3. Réseaux de froid

- 3 Conclusion

Coût d'investissement

Quelques repères

- 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 e/ml,
 - petite ville ou nouveau quartier 300 e/ml.

Coût d'investissement

Quelques repères

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

Voici quelques exemples :

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

Coût d'investissement

Optimisation du coût

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 ;

Coût d'investissement

Optimisation du coût

- 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

Plan

1. Constituants d'un réseau
 1. Centrale(s) de production
 2. Réseau(x) de distribution
 3. Sous-stations

2. Réflexions complémentaires
 1. Contraintes
 2. Coût d'investissement
 3. Réseaux de froid

- 3 Conclusion

Coût d'investissement

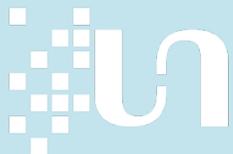
Optimisation du coût

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



Coût d'investissement

Optimisation du coût

- 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.

Notes : certains pays n'utilisent que des réseaux de chaleur et placent des machine à absorption dans chaque sous-stations

Plan

1. Constituants d'un réseau
 1. Centrale(s) de production
 2. Réseau(x) de distribution
 3. Sous-stations

2. Réflexions complémentaires
 1. Contraintes
 2. Coût d'investissement
 3. Réseaux de froid

3 Conclusion

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.

