

Contexte

Qu'est-ce qu'un réseau de chaleur ?
 → Une solution d'approvisionnement de la chaleur à l'échelle d'un quartier ou d'une ville. La chaleur est produite sur un ou plusieurs sites de production (P) et est ensuite distribuée sous forme d'eau chaude jusqu'aux consommateurs (C) via des sous-stations (échangeurs).

Qu'est-ce que l'optimisation ?
 → Une formulation mathématique d'un problème et sa résolution par des méthodes numériques adaptées, afin d'obtenir la (ou les) solution (s) satisfaisant un (ou des) objectif(s) tout en respectant d'éventuelles contraintes (linéaires ou non).

Positionnement

Optimisation simultanée
 → de sa configuration (localisation, nombre et choix des technologies de production, maillage du réseau entre les lieux de production et ceux de consommation)
 → son dimensionnement (puissance à installer en chaufferie, températures et débits dans le réseau primaire, aires d'échange des échangeur de chaleur en sous-station)

Résolution d'un problème d'optimisation MINLP (problème combinatoire non linéaire) en cherchant à minimiser le coût global à 30 ans, en régime stationnaire.

Structure potentielle :
 → Une production centralisée / plusieurs productions décentralisées
 → Connexion des consommateurs en parallèle ou en **cascade**

Formulation du modèle : choix de la superstructure du réseau

Existence:
 Canalisation : La distance existe toujours mais pas forcément la canalisation. $L_{ij} = Y_{L_{ij}} \cdot \text{Dist}_{ij}$ De plus, la canalisation est obligatoirement aller-retour. $Y_{L_{ij}} = Y_{L_{ji}}$

Débit
 Méthode du big M pour annuler le débit $0 \leq M_{ij} \leq Y_{L_{ij}} \cdot M_{max}$

Bilans d'énergie et de masse :
 - Entrée/sortie de la production
 - Entrée/sortie de nœud
 - Entrée/sortie d'échangeur

Échangeur de chaleur
 $H_{hxj} = K_{hx} \cdot A_{hxj} \cdot LMTD_j$

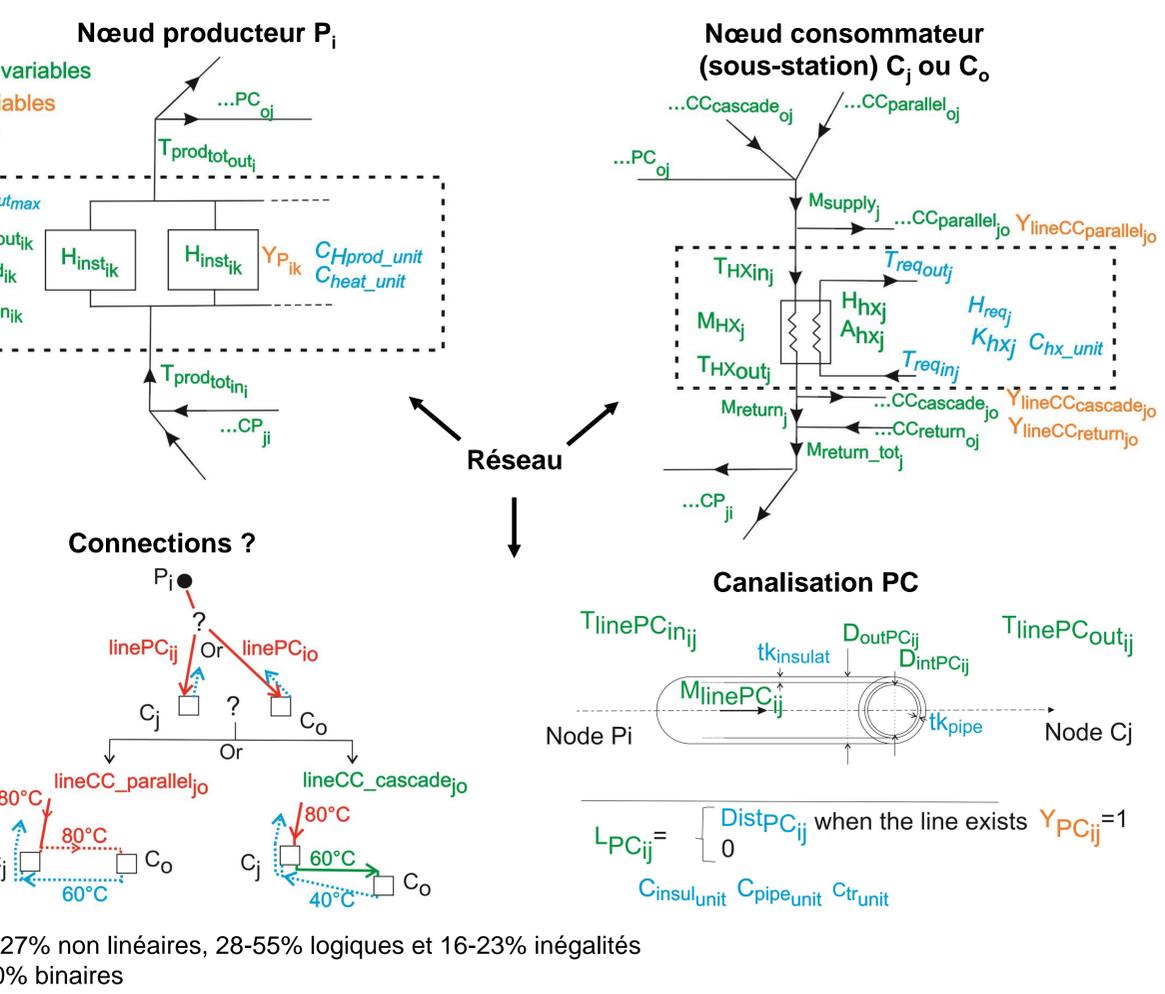
Puissance de pompage
 $H_{pumpPCij} = \gamma \cdot \frac{L_{PCij} \cdot M_{PCij}^\alpha}{D_{PCij}^\beta}$

Perte thermique
 $T_{linePCoutij} = T_{ext} + (T_{linePCinij} - T_{ext}) \cdot \exp(-FRAC_{interPCij})$
 $FRAC_{interPC(i,j)} = \frac{\pi \cdot D_{outPCij} \cdot L_{linePCij}}{R_{totalPCij} \cdot M_{linePCij} \cdot c_p}$

Coût total
 $C_{total} = (C_{pump} + C_{heat}) \cdot f_{opex} + (C_{Hinst} + C_{HX} + C_{line}) \cdot f_{capex}$

Analyse du degré de liberté

configuration	Nombre de variables	Nombres d'équations
P1/C3	109	103
P10/C100	60 652	46 755

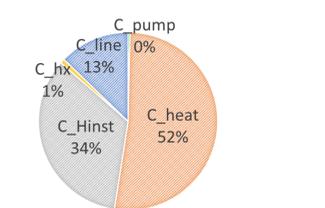


Cas d'étude

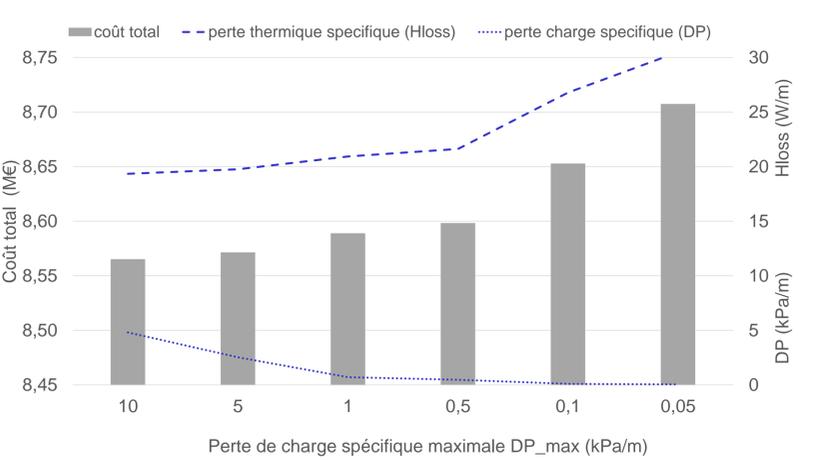
Données d'entrée

- Disposition spatiale fixée
- Besoin imposé à 80 kW pour chaque consommateurs
- Régime de distribution dans le réseau secondaire
 - HT entre 50°C ($T_{reqin} = \text{retour}$) et 70°C ($T_{reqout} = \text{départ}$)
 - BT entre 30°C et 50°C

Répartition des coûts (cas 1)

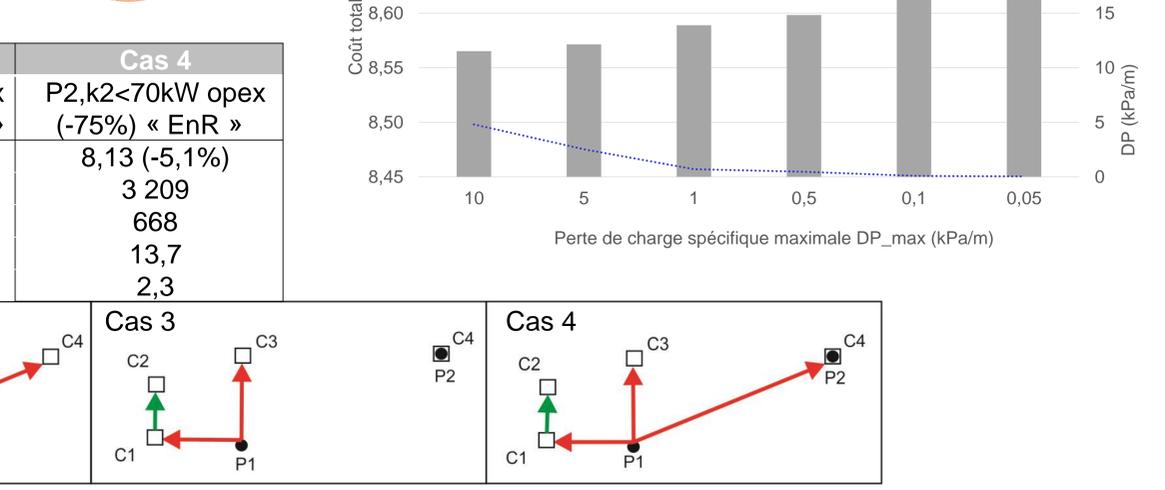


Résultats équilibre perte de charge/perte thermique (cas 1)



Résultats comparaison de configuration

input data	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
C_{tot} M€	8,56	8,49 (-0,3%)	8,22 (-4%)	8,13 (-5,1%)
E_{tot} MWh	3 240	3 231	3 164	3 209
L_{tot} m	668	668	300	668
H_{loss} W/m	19	17	15,3	13,7
DP kPa/m	4,8	4,7	4,2	2,3



Conclusion

Le code développé permet d'optimiser simultanément la configuration et le dimensionnement d'un réseau de chaleur. Ce cas d'étude illustre, grâce à la prise en compte précise (équations non linéaires, en plus de la combinatoire) l'équilibre des pertes de charges vis-à-vis des pertes thermique dans le dimensionnement, point nécessaire notamment lors du passage au réseau dit basse température. Elle met en évidence aussi l'avantage d'optimiser de façon innovante la configuration : approvisionnement en cascade des consommateurs, production centralisées / décentralisées / isolées et l'introduction d'EnR.

Perspectives

- Étude académique sur un réseau conséquent (>10km, > 5 MW)
- Consolidation de la base de données économique avec un industriel
- Validation des données entrée à l'aide d'un réseau existant
- Evolution du code en multi-période et Intégration de stockage

Les auteurs souhaitent remercier l'ITE INEF4 pour le soutien au projet THERMENERGY