

Présentation du Projet PRONTO : Chaud pour Décider ?

IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire

20 mai 2025

Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Modélisation et Contraintes
- 3 Résultats et Scénarios
- 4 Organisation et Conclusion
- 5 Annexes et Liens Utiles

Introduction

Objectif de la Présentation

Présenter les résultats du projet PRONTO, qui vise à optimiser le dimensionnement des réseaux de chaleur en maximisant l'efficacité économique tout en respectant les contraintes physiques et structurelles.

Modélisation et Contraintes

- **Ensembles et Paramètres** : V (sommets), E (arêtes), V_0 (sources).
- **Paramètres** : Coûts fixes et variables, pertes thermiques, demandes de pointe, etc.
- **Contraintes** : Structure d'arbre, unidirectionnalité, satisfaction de la demande, équilibre du flux, capacité maximale.

Fonction Objective

Maximiser le revenu tout en minimisant les coûts de production, maintenance, investissement, et pénalités.

Contraintes

Contraintes

- **Contrainte 1** : Garantit la structure d'arbre au réseau

$$\sum_{i,j \in V} X_{i,j} = |V| - 1 \quad (1)$$

- **Contrainte 2** : Traduit l'unidirectionnalité du réseau

$$\forall i, j \in V \text{ tels que } e_{i,j} \in E \text{ et } i < j : \quad X_{i,j} + X_{j,i} \leq 1 \quad (2)$$

- **Contrainte 3** : Modélise la satisfaction de la demande

$$\eta_{i,j} \times P_{i,j}^{IN} - P_{i,j}^{OUT} = \delta_{i,j} \times X_{i,j} \quad (3)$$

Avec :

$$\begin{cases} \eta_{i,j} = 1 - \theta_{i,j}^{var} l_{i,j} \\ \delta_{i,j} = d_{i,j} \beta \lambda + l_{i,j} \theta_{i,j}^{fix} \end{cases} \quad (4)$$

Contraintes

Contraintes

- **Contrainte 4** : Assure l'équilibre du flux

$$\forall j \in V \setminus V_0 : \sum_{i \in V, i \neq j} P_{i,j}^{\text{OUT}} = \sum_{i \in V, i \neq j} P_{j,i}^{\text{IN}} \quad (5)$$

- **Contrainte 5** : Assure que le flux entrant ne dépasse pas la capacité maximale

$$\forall i, j \in V \text{ tels que } e_{i,j} \in E : P_{i,j}^{\text{IN}} \leq X_{i,j} C_{i,j}^{\text{max}} \quad (6)$$

- **Contrainte 6** : Assure qu'il n'y a aucun flux entrant dans la source

$$\forall j \in V_0, \quad \begin{cases} \sum_{i \in V, i \neq j} P_{i,j}^{\text{IN}} = 0 \\ \sum_{i \in V, i \neq j} X_{i,j} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Contraintes

Contraintes

- **Contrainte 7** : Fixe la capacité de production maximale de la source

$$\forall j \in V_0 : \sum_{i \in V, i \neq j} P_{j,i}^{\text{IN}} \leq Q_j^{\text{max}} \quad (8)$$

- **Contrainte 8** : Rend le réseau acyclique

$$\forall i \in V \setminus V_0 : \sum_{j \neq i} X_{j,i} \geq 1 \quad (9)$$

- **Contrainte 9** : Spécifie le domaine de définition des variables

$$\begin{cases} X_{i,j} \in \{0, 1\} \\ P_{i,j}^{\text{OUT}} \in \mathbb{R}_+ \\ P_{i,j}^{\text{IN}} \in \mathbb{R}_+ \end{cases} \quad (10)$$

Fonction Objective

Composantes de la Fonction Objective

- Revenu :

$$\sum_{i,j \in V, e_{i,j} \in E} D_{i,j} X_{i,j} \lambda c_{i,j}^{rev} \quad (11)$$

- Coût de production de chaleur :

$$\sum_{v \in V_0} \sum_{j \in V} p_{v,j}^{IN} \frac{T_v^{IN} c_v^{heat}}{\beta} \quad (12)$$

- Coût de maintenance :

$$\sum_{i,j \in V} c_{i,j}^{om} l_{i,j} X_{i,j} \quad (13)$$

Fonction Objective

Composantes de la Fonction Objective

- Coût total d'investissement fixe :

$$\sum_{i,j \in V} c_{i,j}^{fix} l_{i,j} \alpha X_{i,j} \quad (14)$$

- Coût total d'investissement variable :

$$\sum_{i,j \in V} \alpha c_{i,j}^{var} P_{i,j}^{IN} l_{i,j} \quad (15)$$

- Coût de pénalité pour la demande non satisfaite :

$$\sum_{i,j \in V, i < j} (1 - X_{i,j} - X_{j,i}) P_{i,j}^{umd} D_{i,j} \quad (16)$$

Fonction Objective Complète

Fonction Objective Z

$$\begin{aligned} Z = & \text{Revenu (11)} - \text{Coût de production de chaleur (12)} \\ & - \text{Coût de maintenance (13)} - \text{Coût d'investissement fixe (14)} \\ & - \text{Coût total d'investissement variable (15)} \\ & - \text{Coût de pénalité pour la demande non satisfaite (16)} \end{aligned}$$

Résultats - Small Data (PULP)

- Valeur de la fonction objective : 25469948,48.

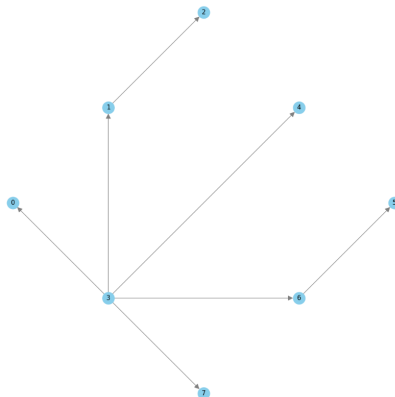
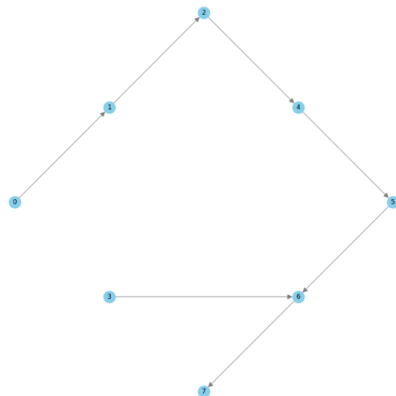


Figure – Graphe obtenu à l'aide de PULP pour le jeu de Small Data

Résultats - Small Data (ILS)

- Implémentation via ILS.



After 14 ILS iterations, the best solution is:
[3, 5, 4, 2, 1, 3]
with total cost: [26195180.72677859]

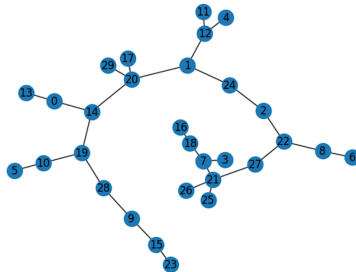
After 5 ILS iterations, the best solution is:
[0, 3, 4, 5, 6, 3]
with total cost: [27139969.56760589]

After 2 ILS iterations, the best solution is:
[5, 4, 2, 1, 0, 3]
with total cost: [25765736.92563972]

Figure – Résultats sur la Small Data avec ILS

Résultats - Big Data (ILS)

- Valeur de la fonction objective : $6,48.10^8$



After 4 ILS iterations, the best solution is:

[27, 11, 17, 20, 4, 8, 28, 9, 28, 16, 22, 14, 7, 18, 3, 19, 8, 1, 27, 10, 27, 28, 23, 28, 5, 14, 27, 17]
with total cost: [6.44654305e+08]

Figure – Résultat obtenu à l'aide de l'algorithme ILS pour le jeu de Big Data

Résultats - Big Data (PULP)

- Valeur de la fonction objective : $29858017,09 \simeq 2,99 \times 10^7$.

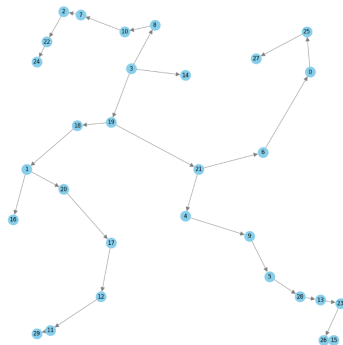


Figure – Graphe obtenu à l'aide de PULP pour le jeu de Big Data

Scénario 1 - Modifications des Contraintes

Nouvelles contraintes

- **Contrainte 1** : Garantit la structure du graphe.

$$\forall i \in V \setminus V_0 : \sum_{j \neq i} X_{j,i} \leq 1 \quad (17)$$

- **Contrainte 8** : Assure que la proportion des arêtes desservant les bâtiments de type t est supérieure ou égale à la limite définie par EquityThreshold (t) = μ_t .

$$\forall t : \sum_{i \in V \setminus V} \sum_{j \in V, i \neq j} X_{j,i} \times N_{i,t} \geq \mu_t \times \sum_{l, k \in V, l \neq k} X_{l,k} \quad (18)$$

Scénario 1 - Fonction Objective

La fonction objective

- Calcul de $d_{i,j}$:

$$\forall i, j \in V \text{ tels que } e_{i,j} \in E \text{ et } i \neq j : \quad d_{i,j} = \text{EdgesDemandPeak}(j) \quad (19)$$

- Calcul de $D_{i,j}$:

$$\forall i, j \in V \text{ tels que } i \neq j : \quad D_{i,j} = \text{SurfaceConsumption}(j) \times \text{Surface}(j) \quad (20)$$

Scénario 1 - Résultats

- Valeur de la fonction objective : 931591,54.

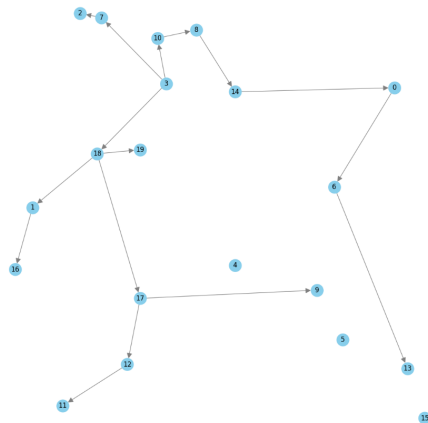


Figure – Graphe obtenu pour le scénario 1 de Equity

Scénario 2 - Construction des arêtes de secours

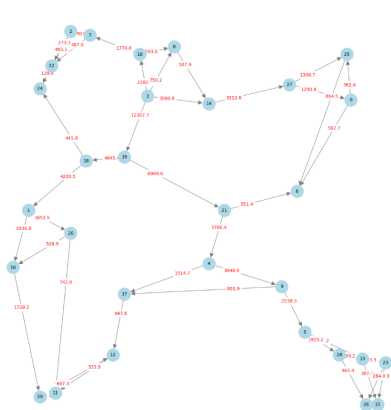


Figure – Tentative 1 : Contrainte de degré minimal

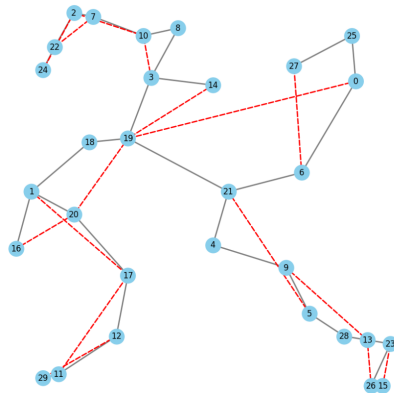


Figure – Tentative 2 : Choix d'un chemin alternatif à partir de l'ensemble des voisins

Scénario 2 - Construction des arêtes de secours

- **Objectif** : Améliorer la connectivité tout en minimisant les ajouts.

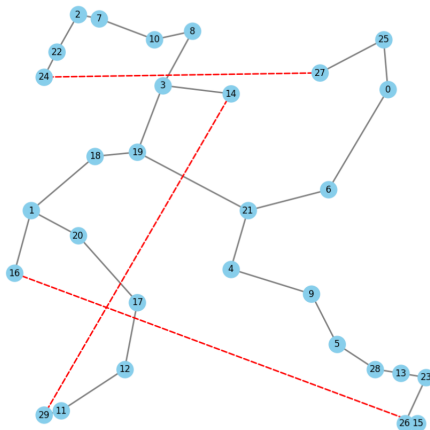


Figure – Tentative 3 : Utilisation de l'algorithme k -edge augmentation

Scénario 2 - Réorientation du graphe

- Réorientation du graphe en minimisant la somme des longueurs des arêtes.

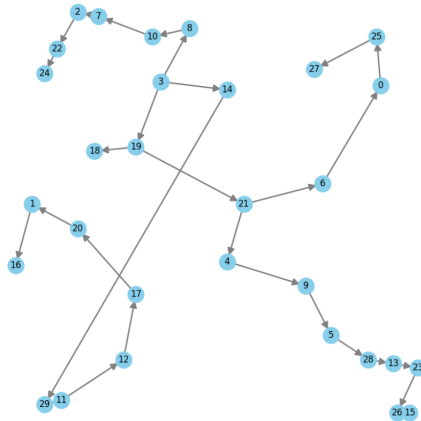


Figure – Simulation de la panne (18, 1) en utilisant l'arête de secours (14, 29)

Scénario 2 - Minimisation réorientation - Tentative 1

- **Objectif** : Minimiser le nombre des inversions de sens des arêtes.
- Méthode basée sur une pondération des chemins de secours.

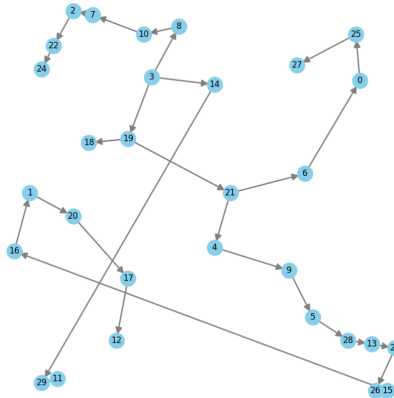


Figure – Simulation de la panne (18, 1) pour la tentative 1 de minimisation

Scénario 2 - Minimisation réorientation - Tentative 2

- Nouvelle stratégie de sélection d'arêtes de secours.
- Prise en compte du degré des nœuds et du coût total d'activation.

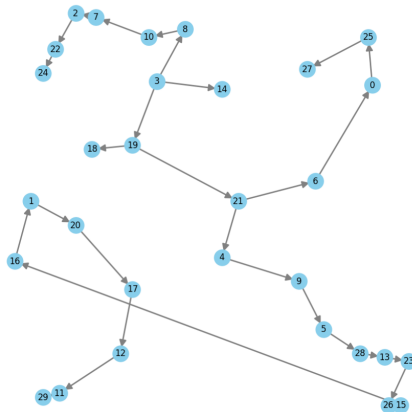


Figure – Simulation de la panne (18, 1) pour la tentative 2 de minimisation

Scénario 2 - Minimisation réorientation - Tentative 3

- **Approche** : Modélisation du problème comme un programme linéaire de minimisation.
- **Méthode** : Utilisation de la bibliothèque PULP pour résoudre le problème d'optimisation.

Fonction Objective

Minimiser la somme des poids des arêtes orientées :

$$\sum_{(i,j) \in D} Y_{i,j} w_{i,j}$$

Avec :

- D : Ensemble des arêtes du graphe pondéré.
- $w_{i,j}$: Poids de chaque arête (0 si même sens, 100 si sens inverse, 1 pour arête de secours).

Scénario 2 - Minimisation réorientation - Tentative 3

- **Résultats** : Solution optimale pour minimiser les changements de sens de flux, validée pour tous les scénarios de panne.

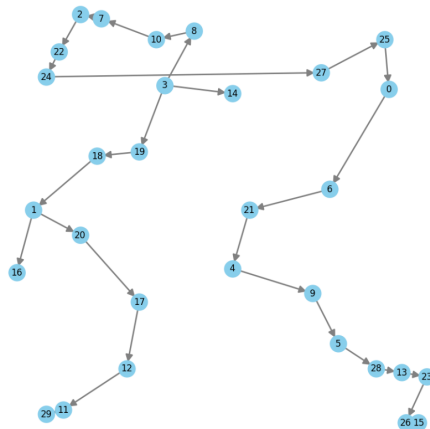


Figure – Simulation de la panne (19, 21) pour la tentative 3 de minimisation

Organisation

- Utilisation d'outils de collaboration : Google Drive, WhatsApp, Partage IMT, Discord.
- Diagramme de Gantt pour la gestion du temps et des tâches.

Conclusion

- Évaluation de la pertinence des scénarios.
- Limites des algorithmes approchés et nécessité de solveurs exacts.
- Pistes d'amélioration : optimisation multi-objectifs, positionnement optimal des réservoirs de secours.

Annexes et Liens Utiles

- **Annexes :**

- Google Colab
- Retours individuels des membres de l'équipe.

- **Liens Utiles :**

- PRONTO Documentation
- Références bibliographiques :
 - MathWorld - k-Connected Graph
 - SIAM Journal on Computing - Augmentation Problems
 - Journal of Research of the National Bureau of Standards - Optimum Branchings