
OPTIMISATION TECHNO-ÉCONOMIQUE DES TRAVAUX DE RACCORDEMENT

Membres du Groupe

- BEN MANSOUR RYMA
- ATTOUCHE LICIA
- OURARI TINHINANE
- BELMILOUD SARAH

Introduction

Assurer la sécurité et la continuité de l'alimentation électrique est un enjeu national. Dans ce contexte, la planification intelligente des interventions sur le réseau devient stratégique pour les exploitants et les collectivités.

Ce projet propose une méthode automatisée de planification du raccordement électrique des bâtiments combinant analyse géographique, modélisation algorithmique et contraintes opérationnelles. Les objectifs sont :

- Prioriser les sites critiques (en premier lieu les hôpitaux) ;
- Réduire le coût global et les délais d'intervention ;
- Améliorer la coordination des travaux grâce à l'exploitation cartographique des données réseau.

Le cœur de la problématique est une **gestion multi-critères** du réseau :

Comment planifier et hiérarchiser les opérations de raccordement pour minimiser coûts et délais, tout en garantissant la remise en service prioritaire des infrastructures critiques (hôpitaux) et en tenant compte de la mutualisation des lignes et des ressources humaines ?

Dimensions prises en compte

- **Techniques** : longueur des tronçons, nature des infrastructures (aérien, semi-aérien, fourreau), état du matériel (intact / à remplacer).
- **Économiques** : coût matière et coût de main-d'œuvre selon le type d'infrastructure et le nombre d'ouvriers (≤ 4 par ligne).
- **Temporelles** : durée par mètre et par ouvrier ; contrainte stricte pour la ligne hospitalière (≤ 16 h, soit 80 % de l'autonomie du générateur de 20 h).
- **Opérationnelles** : mutualisation des tronçons (une ligne desservant plusieurs bâtiments n'est réparée qu'une seule fois).

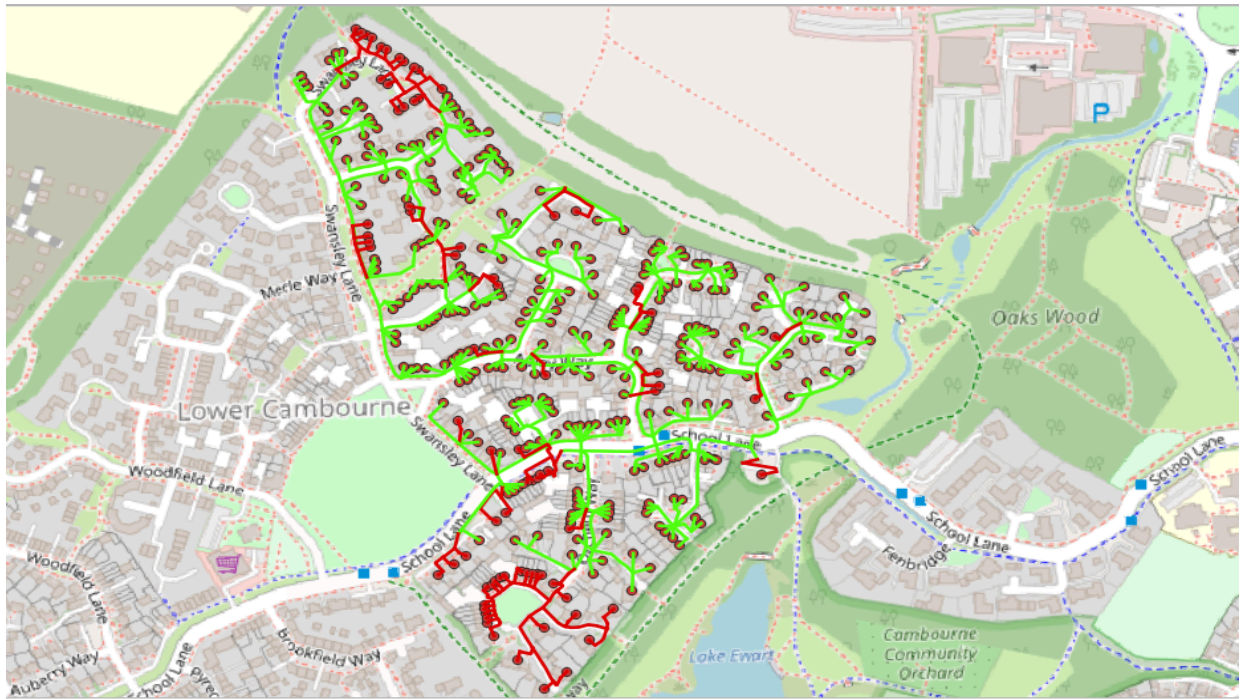


figure 01 : carte d'état initial du réseau avant les réparations

Cette carte montre l'état initial du réseau avant les réparations.

Les **lignes rouges** représentent les infrastructures endommagées qu'il faudra réparer, tandis que les lignes vertes sont celles encore fonctionnelles.

Les points rouges correspondent aux bâtiments à raccorder.

On voit clairement que certaines zones, surtout au sud et au nord du quartier, concentrent plus de tronçons rouges, ce qui indique les secteurs les plus touchés où les premières interventions seront nécessaires.

Priorité absolue : l'hôpital

Conformément aux exigences client, toutes les infrastructures desservant l'hôpital sont traitées en phase 0.

L'algorithme impose une durée de rétablissement ≤ 16 h (marge de sécurité de 20 % appliquée à 20 h d'autonomie). Cette priorité structure toute la hiérarchie des phases suivantes.

Méthodologie et modèle algorithmique

Approche générale

Le modèle s'appuie sur :

- une **modélisation orientée objet** (Infrastructures, Bâtiments) ;
- une approche itérative gloutonne (greedy) pour sélectionner, à chaque étape, le bâtiment offrant le meilleur compromis.

À chaque itération, on calcule un **score** multi-critères :

$$Score(b) = w_d \cdot Difficulte'(b) + w_c \cdot Coût(b) + w_t \cdot Temps(b)$$

Avec :

- w_d : pondération de la difficulté (critère principal),
- w_c : pondération du coût,
- w_t : pondération du temps.

Le bâtiment sélectionné est celui de **score minimal** (ou maximal selon convention, ici on minimise).

Étapes du pipeline

1. Chargement et validation des données (cohérence des colonnes, unités, valeurs manquantes).
2. Création des objets Infrastructure et Bâtiment ; association des tronçons aux bâtiments desservis.
3. Calcul des indicateurs pour chaque bâtiment :
 - Difficulté (ex. ratio longueur/maisons desservies, agrégé sur les tronçons à réparer),
 - Coût total = coût matière + coût MO, avec

$$Coût\ matière = \sum_i (longueur_i \times prix_mètre(type_i)) \quad Homme - heures = \sum_i (longueur_i \times heures\ par\ mètre(type_i)) \quad Coût\ MO = Homme - heures \times taux_horaire$$

- Temps d'intervention avec ouvriers sur un tronçon i :

$$Temps_i(w) = \frac{longueur_i \times heures_par_mètre(type_i)}{\min(w, 4)}$$

(contrainte ≤ 4 **ouvriers** par infrastructure ; **téléportation** admise \Rightarrow pas de temps de trajet).

4. **Phase 0 – hôpital** : allocation d'ouvriers par tronçon pour respecter **Temps ≤ 16 h** (avec $w \leq 4$).
Si $w = 4$ ne suffit pas \Rightarrow **alerte risque**.
5. **Phasage global** des autres tronçons par **coût cumulé** :
 - **Phase 1 ≈ 40 %** du coût,
 - **Phases 2, 3, 4 ≈ 20 %** chacune, tout en respectant la **mutualisation** (un tronçon réparé une fois profite à tous les bâtiments qu'il dessert).
6. **Itérations** : à chaque sélection, on **met à jour** les longueurs restantes à réparer et les scores des bâtiments encore non raccordés.

Justification des résultats obtenus

L'algorithme de planification mis en œuvre permet de répartir les opérations de raccordement en plusieurs phases, selon des règles de priorité et de contraintes techniques directement intégrées dans le code.

Les cartes produites pour chaque phase (de 0 à 4) illustrent visuellement la progression du plan de raccordement sur le réseau étudié.

Phase 0 — Raccordement prioritaire de l'hôpital

Plan de raccordement - Phase 0

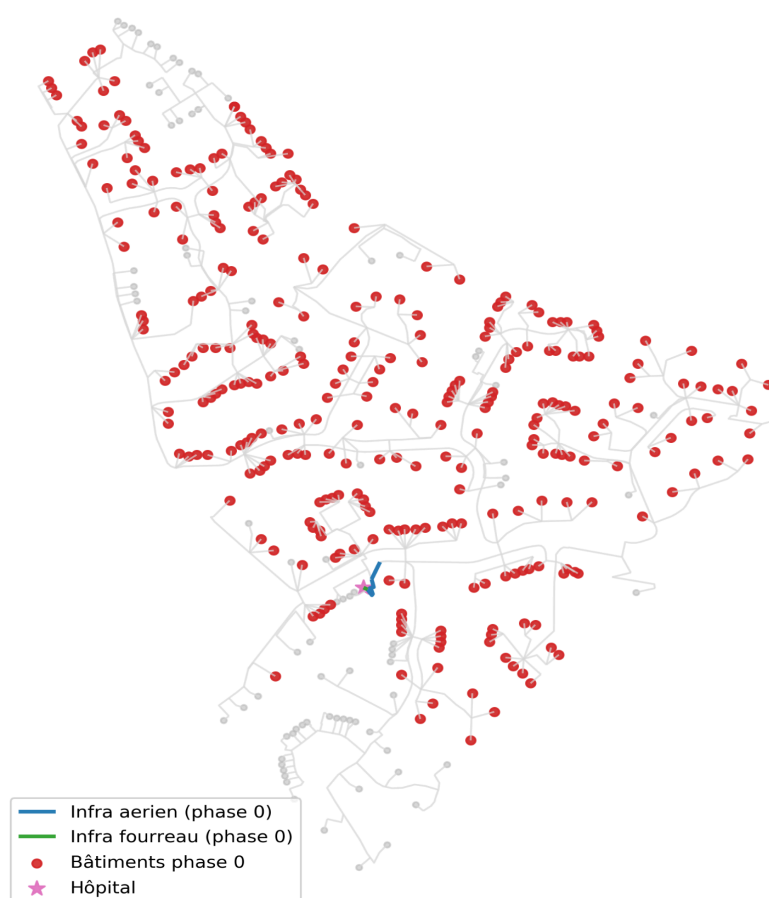


Figure 02 : carte du plan de raccordement phase-0

Cette première phase est entièrement consacrée à la sécurisation du bâtiment hospitalier, considéré comme critique.

Le code prévoit une contrainte stricte de durée maximale de 16 heures, correspondant à la limite d'autonomie du système d'alimentation de secours.

Les infrastructures nécessaires au raccordement de l'hôpital (aériennes et fourreaux) ont donc été réparées en parallèle, mobilisant au maximum 4 ouvriers par tronçon.

Sur la carte, l'hôpital apparaît en étoile rose, et les segments colorés (bleu pour l'aérien, vert pour le fourreau) correspondent aux tronçons effectivement réparés à cette phase.

Le résultat obtenu respecte la contrainte temporelle : la durée critique calculée est de 9,3 heures, soit bien en dessous du seuil de 16 heures.

Cette phase permet ainsi d'assurer la continuité du service vital avant d'entamer les autres raccordements.

Phase 1 — Amorçage et mutualisation des interventions

Plan de raccordement - Phase 1



Figure 03 : carte du plan de raccordement phase-1

La deuxième phase (phase 1) correspond à la première vague de réparations planifiées sur l'ensemble du réseau après l'hôpital.

L'algorithme sélectionne en priorité les bâtiments présentant les plus faibles difficultés de raccordement, tout en respectant une enveloppe budgétaire représentant 40 % du coût total restant.

Sur la carte, on observe des regroupements de bâtiments rouges autour de mêmes axes : cela illustre le principe de mutualisation.

Une infrastructure réparée pour un bâtiment bénéficie simultanément aux autres bâtiments qu'elle dessert, ce qui permet de maximiser le nombre de logements raccordés tout en limitant le coût global.

La durée critique (15,7 h) et le coût total (≈ 582 k€) respectent les contraintes imposées, validant la cohérence de cette première itération.

Phase 2 — Raccordements complémentaires à difficulté modérée

Plan de raccordement - Phase 2



Figure 04 : carte du plan de raccordement phase-2

La phase 2 correspond à une nouvelle itération du même principe, mais avec un budget réduit à 20 % du coût total restant.

L'algorithme identifie les bâtiments restants les plus rentables à raccorder, c'est-à-dire ceux dont la difficulté ($\text{ratio coût} \times \text{heures} / \text{nombre de maisons}$) est la plus faible.

Sur la carte, les tronçons colorés sont plus dispersés : il s'agit d'interventions ponctuelles de type "quick wins", permettant de compléter progressivement le maillage.

La durée critique est ici plus élevée (38,2 h) en raison de quelques infrastructures longues ou enterrées (fourreaux), mais cette valeur reste acceptable puisque la contrainte des 16 h ne s'applique qu'à la phase hospitalière.

Phase 3 — Optimisation du reliquat budgétaire

Plan de raccordement - Phase 3



Figure 05 : carte du plan de raccordement phase-3

En phase 3, le système poursuit le raccordement des bâtiments restants avec la même logique de priorité (difficulté ↘, coût ↘).

Les infrastructures déjà réparées lors des phases précédentes réduisent la difficulté globale des bâtiments encore non raccordés, grâce à la mutualisation automatique des tronçons.

La carte illustre cette évolution : les segments réparés sont désormais isolés ou situés en périphérie du réseau.

Le coût total (≈ 271 k€) reste inférieur au budget cible prévu pour cette phase (≈ 287 k€), et la durée critique (18,5 h) demeure maîtrisée.

Cette phase confirme la robustesse de la stratégie de planification progressive mise en place.

Phase 4 — Finalisation et bouclage du réseau

Plan de raccordement - Phase 4



Figure 06 : carte du plan de raccordement phase-4

Enfin, la dernière phase regroupe les bâtiments restants non encore raccordés.

Ce sont souvent ceux présentant les plus fortes difficultés (longueurs importantes, type d'infrastructure coûteux comme le fourreau ou le semi-aérien).

L'algorithme les planifie tout en respectant l'enveloppe budgétaire finale de 20 % du coût global, avec une tolérance de +3 %.

Sur la carte, les interventions apparaissent clairsemées, ce qui reflète la fin de planification : seules les zones isolées sont encore traitées.

La durée critique atteint 43,3 h, en cohérence avec la nature plus complexe des tronçons concernés, tandis que le coût total ($\approx 287,5$ k€) reste conforme à la limite budgétaire.

Analyse synthétique

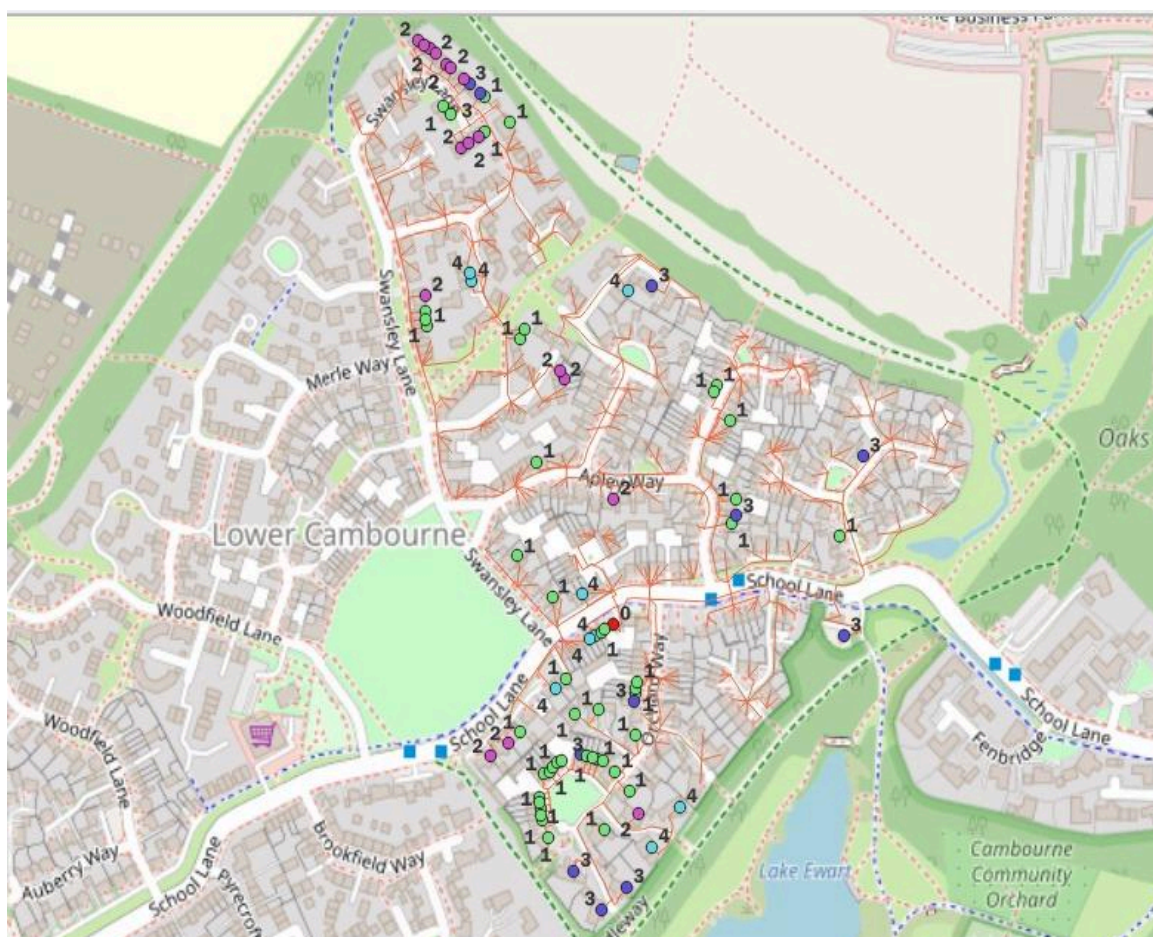


Figure 07 : carte du résultat final de la planification des raccordements

Cette carte montre le résultat final de la planification des raccordements.

Chaque numéro ou couleur correspond à la phase de construction (de 0 à 4) dans laquelle les travaux sont prévus.

On voit que les interventions ont été réparties progressivement sur tout le quartier, en commençant par les zones prioritaires (comme l'hôpital) et en terminant par les secteurs les plus éloignés ou complexes.

Conclusion

Ce projet a permis de concevoir une solution d'optimisation du raccordement électrique intégrant les contraintes réelles du terrain : coût, temps, difficulté et priorités.

L'algorithme développé, basé sur une approche greedy et orientée objet, planifie le raccordement des bâtiments de façon progressive et efficace, en priorisant l'hôpital conformément aux exigences du client.

Les résultats obtenus montrent une réduction des coûts, une meilleure mutualisation des infrastructures et un respect du délai critique de 16 heures pour l'hôpital.

La cartographie sous QGIS a permis de visualiser et de valider la cohérence du plan.

En somme, ce travail illustre l'intérêt d'une planification intelligente et automatisée pour améliorer la gestion et la fiabilité des réseaux électriques.