

RAPPORT

Réalisé par :

BERREKSI Khadidja

TESSIER Manon

TOUAT Abdenour

HENDEL Lyna Maria

MOUSSA RABIOU Hamsatou

SOMMAIRE



1

Introduction

2

Etat des lieux

3

Résolution du problème

4

Exécution et détermination des phases

5

Conclusion



INTRODUCTION

01

INTRODUCTION

Dans la nuit du 29 au 30 octobre 2025, une violente tempête s'est abattue sur la région. En quelques heures, des rafales de vent et des pluies diluviennes ont ravagé les infrastructures électriques : câbles arrachés, poteaux effondrés, connexions souterraines endommagées.

Une petite ville jusque-là paisible s'est retrouvée soudainement plongée dans l'obscurité.

Au matin, la situation était critique : **plusieurs quartiers étaient plongés dans le noir.**

Les habitants, désemparés, tentaient de s'organiser et l'hôpital était le seul bâtiment encore partiellement alimenté grâce à un groupe électrogène pour assurer les soins d'urgence tant bien que mal.

Face à cette urgence, la mairie nous a contactés.

Notre mission était claire, mais loin d'être simple : **planifier la remise en service du réseau électrique** dans les plus brefs délais, en donnant la priorité aux bâtiments les plus essentiels (hôpitaux, habitations, écoles, tout en maîtrisant le coût et la durée des interventions.)

Derrière cette mission technique, c'est tout un enjeu humain qui se jouait : **rétablir la lumière, le chauffage et la sécurité** des habitants.

Pour y parvenir, nous devons répondre à une série de questions cruciales :

- Quelles infrastructures sont encore fonctionnelles ?
- Lesquelles doivent être remplacées ?
- Combien de temps et quel budget faudra-t-il mobiliser ?
- Et surtout, par où commencer ?

Ce rapport retrace l'ensemble de cette démarche, depuis la compréhension de la situation jusqu'à la priorisation des réparations en passant par la modélisation de la difficulté et la visualisation des résultats.

Chaque étape a été pensée pour servir un objectif unique :

reconnecter la ville à la lumière, de façon rapide, raisonnée et équitable.



ETAT DES LIEUX

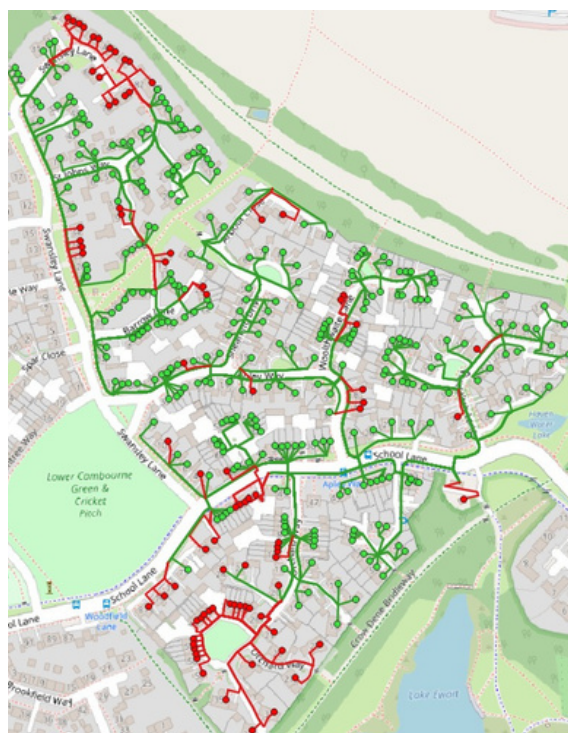
02

ETAT DES LIEUX



Au lendemain de la tempête, un premier travail d'évaluation a été lancé pour mesurer l'étendue des dégâts.

À partir des relevés fournis par la mairie et des données issues du terrain, nous avons cartographié la situation sur QGIS, afin d'obtenir une vue d'ensemble précise du réseau électrique de la ville.

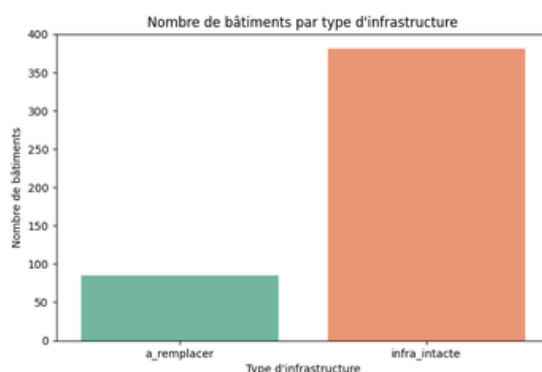


visualisation des infrastructures fonctionnelles et endommagées.

Sur cette carte, chaque bâtiment est **associé une ou plusieurs infrastructures de raccordement**.

L'analyse a rapidement mis en évidence deux types de situations :

- Les infrastructures intactes, toujours fonctionnelles après la tempête.
- Les infrastructures à remplacer, gravement endommagées ou totalement hors service.



Les chiffres montrent que **85** infrastructures doivent être remplacées, tandis que **381** demeurent intactes et opérationnelles.

Cette première visualisation nous a permis de comprendre la structure du réseau et l'ampleur des réparations à prévoir.

PRÉREQUIS A LA RÉOLUTION DU PROBLÈME

Maintenant que nous avons bien compris le problème, nous avons entamé notre mission pour proposer une solution structurée, organisée en plusieurs étapes.

ETAPE NETTOYAGE ET PRÉPARATION DES DONNÉES

Une étape essentielle et nécessaire a été de nettoyer et fiabiliser les données fournies par le client.

Le client nous a transmis trois jeux de données distincts :

1. **Le dataset principal**, contenant les bâtiments et les infrastructures associées. Le client nous a signalé que certaines informations n'étaient pas correctes, notamment la colonne nb_maisons, qui comportait des erreurs dans certaines lignes.
2. **Le fichier des bâtiments**, contenant les informations fiables sur le nombre de maisons et le type de bâtiment. Ce fichier a été fourni pour corriger les erreurs du dataset principal.
3. **Le fichier des infrastructures**, donnant des détails sur le type de chaque infrastructure (aérien, fourreau, etc.).

Attribut	Type	Descripti	Exemple
id_batim	Texte	Identifia	E000003
nb_mais	Nombre	Nombre	1
infra_id	Texte	Identifia	P007113
infra_typ	Texte	Type	a_rempl
longueu	Nombre	Longueu	12.19

1. DATASET PRINCIPAL

Attribut	Type	Descrip	Exempl
id_bati	Texte	Identifi	E00016
type_ba	Texte	Type	habitati
nb_mai	Nombr	Nombr	8

2. FICHIER DES BÂTIMENTS

Attribut	Type	Description	Exemple
id_infra	Texte	Identifiant	P000719
type_infra	Texte	Type	aerien

3. FICHIER DES INFRASTRUCTURES

01

Correction des erreurs signalées par le client

Remplacer les valeurs incorrectes de la colonne nb_maisons du dataset principal par les valeurs fiables fournies dans le fichier batiments.csv.

02

Filtrage des bâtiments

Exclure les bâtiments encore opérationnels afin de ne conserver que ceux nécessitant une intervention.

03

Fusion des fichiers

Combiner le dataset principal avec les fichiers des bâtiments et des infrastructures pour créer un dataset unique, complet et cohérent.

04

Suppression des doublons

Retirer toutes les lignes répétées pour garantir l'unicité et la fiabilité des données.

05

Création de fichiers distincts si nécessaire

Générer des fichiers supplémentaires pour séparer certaines informations et faciliter l'analyse.

Consolidation des données pour la mission

DONNÉES OPÉRATIONNELLES FOURNIES PAR LE CLIENT

Pour planifier correctement les travaux et estimer les coûts, le client nous a fourni des informations supplémentaires sur les infrastructures et le personnel. Ces informations viennent compléter notre dataset et permettent de comprendre combien coûte chaque type d'infrastructure, combien de temps il faut pour les construire et quelles sont les contraintes à respecter.

Coût et durée des infrastructures

Chaque type d'infrastructure a ses particularités :

- **Aérien** : infrastructures visibles, suspendues ou sur pylône, plus rapides à installer, mais avec un coût moyen. Chaque mètre coûte 500 € et nécessite 2 heures de travail par ouvrier.
- **Semi-aérien** : structures partiellement aériennes, un peu plus complexes à installer, coût plus élevé (750 € / m) et prend 4 heures par ouvrier par mètre.
- **Fourreau** : conduits enterrés ou protégés, plus difficiles à mettre en place, le coût est le plus élevé (900 € / m) et demande 5 heures de travail par ouvrier par mètre.

Ces chiffres servent à calculer le coût total pour chaque infrastructure et à prévoir le temps nécessaire à la construction, selon le type et la longueur.

Informations sur le personnel

Pour chaque infrastructure :

- Un ouvrier travaille 8 heures pour 300 €.
- Au maximum 4 ouvriers peuvent travailler simultanément sur une même infrastructure.
- Dans notre modèle, les ouvriers peuvent se téléporter, ce qui simplifie le calcul du temps, car il n'y a pas de déplacement entre les infrastructures.

Contraintes spécifiques et sécurité

- **Hôpital** : le générateur n'a que 20 heures d'autonomie. Pour ne pas prendre de risque, nous prévoyons une marge de 20 % sur le temps de construction pour toutes les opérations qui concernent l'hôpital.
- **Phases de construction** : les travaux se font par phases pour mieux gérer le budget et le temps :
 - **Phase 0** : hôpital (priorité absolue)
 - **Phase 1** : environ 40 % du coût total des infrastructures
 - **Phases 2, 3 et 4** : environ 20 % du coût total chacune



RÉSOLUTION DU PROBLÈME

03

CRÉATION DE LA METRIQUE: 1ERE APPROCHE

1ÈRE APPROCHE

Au début du projet, nous ne disposions que de très peu d'informations. Pour chaque bâtiment, nous avons uniquement le nombre de maisons qui y étaient reliées, sans savoir s'il y avait réellement des habitants dans chacune d'elles.

Nous avons donc décidé de travailler simplement avec le nombre de maisons, en le considérant comme une estimation du nombre d'habitants potentiels à raccorder.

Notre jeu de données se composait alors de trois éléments essentiels :

- les bâtiments,
- les infrastructures qui les relient,
- et le nombre de maisons associées à chaque bâtiment.

Avec ces informations, nous avons voulu trouver un moyen simple de prioriser les réparations. L'idée était d'identifier quelles infrastructures permettraient de réparer le plus grand nombre de maisons/prises avec le moins de coût possible.

Pour cela, nous avons formulé une première mesure de "difficulté" d'une infrastructure, en partant de deux critères évidents :

- plus une infrastructure est longue, plus elle est coûteuse et longue à réparer,
- plus elle dessert de maisons, plus elle bénéficie à de foyers une fois réparée.

Nous avons donc défini une formule toute simple :

$$\text{Difficulté(infrastructure)} = \frac{\text{Longueur de l'infrastructure}}{\text{Nombre de maisons connectées}}$$

Cette première approche, bien qu'assez basique, nous a permis d'obtenir un premier ordre d'idée : elle nous aide à repérer les infrastructures qui rapportent "le plus d'impact avec le moindre coût possible".

O II
= III O HETIC
II =

CRÉATION DE LA METRIQUE: 2ÈME APPROCHE

05

2ÈME APPROCHE

Pour obtenir des réponses à nos interrogations, nous avons mené une discussion avec le client.

Ce dernier nous a précisé que le nombre d'habitants correspond au nombre de maisons; Ainsi la réparation d'une infrastructure ne garantissait pas automatiquement l'accès à l'électricité. Il était donc nécessaire d'établir un ordre de priorité

A partir de ces informations là nous avons donc compris qu'il n'était pas pertinent d'utiliser la métrique de la difficulté. De ce fait nous avons décidé de baser notre approche sur la métrique de la difficulté du bâtiment.

En effet pour qu'un bâtiment dispose de l'électricité il faut que toutes les infrastructures menant à ce bâtiment soient réparées.

Nous avons défini une métrique qui nous permettait d'obtenir un premier algorithme : structuré de la manière suivante :

$$\text{Difficulté}(\text{bâtiment}) = \sum (\text{Difficulté des infrastructures menant à ce bâtiment})$$

Ce qui nous permettait d'avoir un 1er algorithme où :

- Lister l'ensemble des bâtiments à réparer
- On crée une liste vide qui va recueillir les bâtiments au fur et à mesure qu'on les répare et va ainsi correspondre à notre ordre de priorité
- Tant que la liste des bâtiments à réparer n'est pas vide, on calcule leur difficulté de réparation, on sélectionne le bâtiment avec la difficulté la plus faible, on le "répare", c'est à dire qu'on répare toutes ses infrastructures, on le range dans la liste des priorités et on recommence
- Une fois que tout est réparé on regarde la liste de priorité grâce à un coefficient et on peut déterminer les différentes phases de reconstruction.

O II
= III O HETIC
II =

CRÉATION DE LA METRIQUE: 3EME APPROCHE

06

3ÈME APPROCHE

La troisième approche a été basée sur la réflexion autour de l'urgence de réparation. En effet, dans les données supplémentaires qui ont été fournies par le client, il est apparu que tous les bâtiments n'étaient pas du même type. Parmi ceux-ci se trouvent notamment un hôpital et une école.

Notre première idée a donc été de créer une colonne supplémentaire dans notre dataset afin d'accorder à chaque type de bâtiment un coefficient de priorité qui serait combiné à la métrique de calcul de la difficulté.

Ainsi, la métrique est devenue:

$$\text{Difficulté}(\text{bâtiment}) = \frac{\text{Difficulté}(\text{infrastructure})}{\prod \text{coefficient de priorité}}$$

Nous avons fait des tests avec plusieurs coefficients différents et il est apparu un problème majeur: dans de nombreux cas, même en choisissant un coefficient plus petit pour l'hôpital, la priorité était quand même accordée à d'autres bâtiments avant celui-ci. Nous avons pensé à introduire des coefficients négatifs, mais cela restait un choix arbitraire avec ses limites.

Le client nous a ensuite rappelé très justement que l'hôpital devait être prioritaire nous avons donc décidé de traiter celui-ci dans une phase d'urgence, la phase 0, et de nous occuper des autres cas ensuite.

O II
= IIO HETIC
II =

CRÉATION DE LA METRIQUE: APPROCHE FINALE

07

APPROCHE FINALE

Avant de pouvoir planifier les réparations, il était essentiel de comprendre la structure du réseau et de traduire les informations fournies par le client en règles de calcul exploitables.

L'objectif n'était pas seulement de manipuler des données, mais de modéliser la réalité d'un chantier : **des ouvriers, du matériel, des priorités**, et des contraintes de **temps** et de **coût**.

RAPPEL DE LA STRUCTURE GÉNÉRALE

Le réseau étudié relie des bâtiments à un système central, à travers des infrastructures physiques.

Chaque infrastructure correspond à un câble ou conduit transportant un flux (électricité, fibre, etc.) depuis une source principale.

Ces infrastructures peuvent être de trois types :

- **Aériennes**
- **Semi-aériennes**
- **Fourreaux**

Chaque type a donc ses propres caractéristiques, coût, durée de pose, et **niveau de difficulté**.

Pour rappel le client nous a transmis des données essentielles pour modéliser le chantier :

Type d'infrastructure	Coût du matériel (€ / m)	Temps de pose (h / m)
Aérien	500	2
Semi-aérien	750	4
Fourreau	900	5

Ces valeurs représentent le **coût matériel** et le **temps de travail** nécessaire pour chaque mètre posé ou remplacé.

Elles permettent d'estimer le coût et la durée totale de chaque infrastructure à partir de sa longueur réelle

- Coût matériel = coût par type * longueur
- Temps de travail = temps de pose par type * longueur



Prise en compte des contraintes humaines

Au-delà des matériaux, il fallait aussi modéliser la réalité du travail humain sur le terrain.

Le client nous a indiqué plusieurs contraintes importantes :

- Un ouvrier est payé **300 €** pour **8 heures** de travail, soit **37,5 €** de l'heure.
- On ne peut pas dépasser 4 ouvriers par infrastructure en simultanée, pour des raisons logistiques.
- Les ouvriers sont considérés comme "téléportables" : ils peuvent se déplacer instantanément d'un site à l'autre.
- Il y a un nombre illimité d'ouvriers disponibles, donc plusieurs infrastructures peuvent être réparées en parallèle.

La vraie question devient donc :

Combien d'ouvriers faut-il affecter à chaque infrastructure pour minimiser le temps total sans faire exploser les coûts ?

Et c'est là qu'intervient une subtilité :

le coût humain ne change pas selon le nombre d'ouvriers si on suppose qu'ils sont tous payés au temps passé.

Exemple :

Une infrastructure nécessite **8 heures** de travail au total.

- Si 1 ouvrier travaille seul : il mettra **8 heures** → **coût = 8 h × 37,5 € = 300 €**
- Si 2 ouvriers travaillent ensemble : ils mettront 4 heures chacun → **4 h × 2 × 37,5 € = 300 €**

Le coût reste identique, mais le temps total diminue.

C'est pourquoi le modèle suppose qu'on utilise toujours le nombre maximal d'ouvriers (4) par infrastructure,

afin de réduire le temps au minimum tout en maintenant un coût stable.

Cette approche permet de simuler un chantier efficace mais réaliste, où le facteur temps devient prioritaire sur le facteur coût.

Donc pour chaque infrastructure combine trois éléments essentiels :

- Le coût matériel : prix unitaire au mètre × longueur
- Le temps de travail : durée unitaire au mètre × longueur
- Le coût de la main-d'œuvre : temps total × coût horaire

donc la formule générale est :

Coût total matériel de l'infrastructure = (Prix au mètre × Longueur) + (Temps total × 37,5)

Coût humain = 4 × coût pour 8h + coût prorata

avec :

$$\text{cout pour 8h} = 300$$

$$\text{cout prorata} = (\text{temps infra mod } 32) \times 37,5$$

Indice de difficulté et ordre de réparation

Pour hiérarchiser les réparations, on a introduit un indice de difficulté.

Cet indice mesure la "rentabilité" ou la "complexité" de la réparation d'une infrastructure :

$$\text{Difficulte} = \frac{\text{Cout total} \times \text{Duree}}{\text{Nombre de maisons alimentees}}$$

- Une infrastructure longue et coûteuse mais qui dessert peu de maisons aura un indice élevé → elle est priorisée plus tard.
- Une infrastructure simple mais qui rétablit rapidement plusieurs maisons aura un indice faible → elle est priorisée en premier.

Cette logique permet d'obtenir un ordre de réparation optimal, basé sur un équilibre entre impact, coût et temps, et non sur le hasard.



EXÉCUTION ET DÉTERMINATION DES PHASES

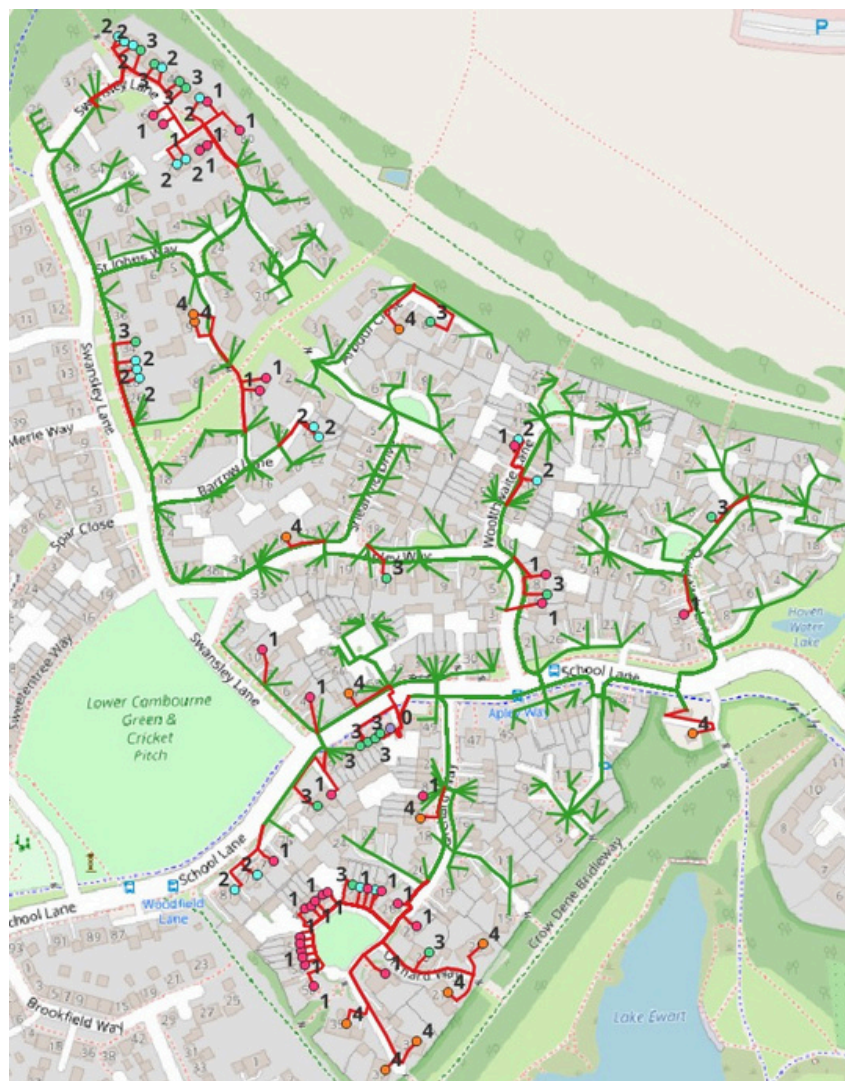
08

DÉTERMINATION DES PHASES

Le client a exprimé lors de notre dernière réunion une répartition des phases en fonction du pourcentage du budget total tel que:

- **Phase 0** : hôpital (priorité absolue)
- **Phase 1** : environ 40 % du coût total des infrastructures
- **Phases 2, 3 et 4** : environ 20 % du coût total chacune

C'est donc grâce à cette information que nous avons répartis les bâtiments par phase comme on peut le voir sur la simulation ci-dessous.



Répartition des bâtiments par phase en fonction du pourcentage du budget total

DÉTERMINATION DU COUT ET DU TEMPS PAR PHASE

Pour chaque phase, nous avons déterminé le coût et le temps mis pour la réparation.

Le coût est égal au coût total de réparation des infrastructures incluant le coût de la main d'œuvre et le coût des matériaux.

Le temps de chaque phase, quant à lui, correspond au temps de réparation de l'infrastructure la plus longue à réparer. En effet, dans un souci d'efficacité et de bien-être des citoyens affectés, nous lançons de manière simultanée la réparation de toutes les infrastructures d'une phase. Celle-ci se termine donc lorsque l'infrastructure la plus lente à être réparée est réparée.

PHASE 0 : L'HÔPITAL

Ainsi qu'expliqué dans la troisième approche, en examinant nos données, nous avons constaté qu'un des bâtiments affectés était un **hôpital**.

Avant de traiter les autres bâtiments, nous avons décidé de prioriser la reconstruction de cet établissement, étant donné son rôle critique pour la ville.

Le client nous a indiqué que le générateur de l'hôpital ne pouvait fonctionner que 20 heures avant de s'épuiser.

Or, le bâtiment nécessite plusieurs infrastructures pour fonctionner, dont trois doivent être remplacées : **P005500, P007990 et P007447**.

- P005500 nécessite **26.28** heures de réparation.
- P007990 nécessite **37.41** heures de réparation.
- P007447 nécessite **14.23** heures de réparation

Le client préfère être rassuré et nous informe qu'une marge de 20% de temps est préférable. Soit une limite de 16 heures pour réparer le générateur.

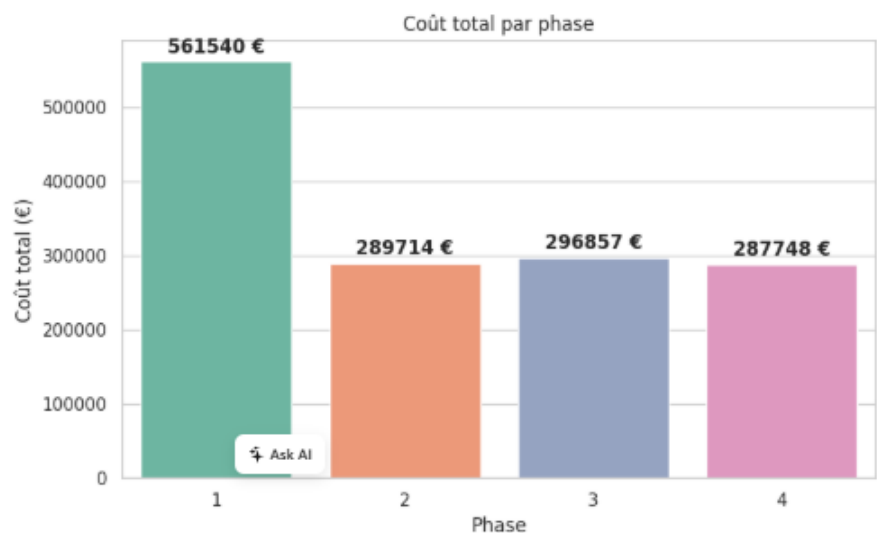
Nous décidons donc de mettre 2 ouvriers sur la première infrastructure, 3 ouvriers sur la seconde, et 1 ouvrier sur la dernière en simultanée pour un temps de réparation de 14.23 heures et un budget total de 21405.13€.

PHASE 1,2,3 ET 4: AUTRES BATIMENTS

Analyse par phase de construction

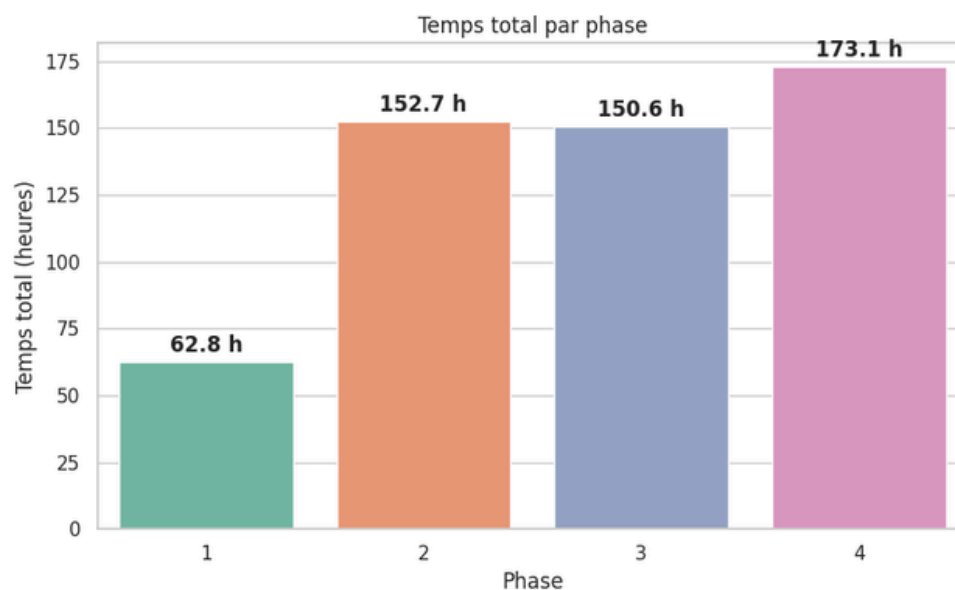
Pour visualiser l'avancement et l'impact de chaque phase, nous avons représenté les coûts totaux et les temps totaux à l'aide de graphiques (histogrammes) :

- **Coût total par phase** : somme du coût matériel et humain de toutes les infrastructures de la phase.



- **Temps total par phase** : temps maximum parmi toutes les infrastructures de la phase, car les travaux sont réalisés en parallèle.

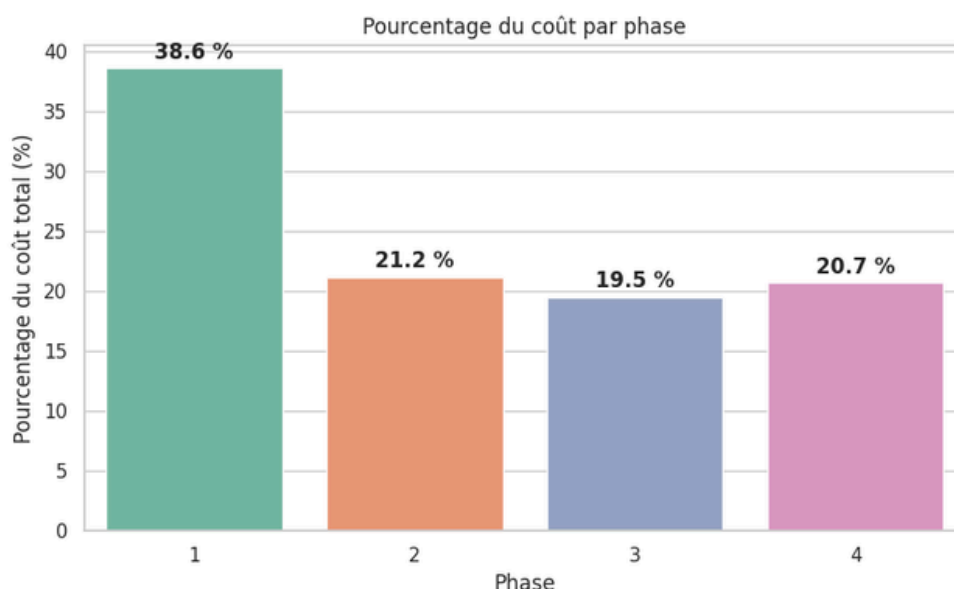
Attention : il ne faut pas additionner les durées de chaque infrastructure, car cela supposerait que les réparations se font les unes après les autres, alors qu'en réalité elles se déroulent simultanément.



Pourcentage du coût par phase

Le graphique ci-dessus montre la répartition du coût total du projet entre les différentes phases de construction.

- **Phase 1** représente la part la plus importante du budget avec 38,6 %, car elle inclut les infrastructures les plus critiques et coûteuses.
- **Phases 2, 3 et 4** consomment chacune entre 19,5 % et 21,2 % du coût total, reflétant des infrastructures moins coûteuses ou déjà partiellement réparées.



AU TOTAL

Le budget total est de 1 457 264€ hopital inclus et prendra 539,2 heures.



CONCLUSION

10

CONCLUSION

Ce projet de planification du raccordement électrique nous a permis de proposer une solution rationnelle et méthodique (en plusieurs phases) pour rétablir l'alimentation en électricité de la ville touchée par des intempéries.

Grâce à une approche progressive, nous avons pu affiner notre compréhension du problème et adapter nos méthodes en fonction des retours du client :

- Dans un premier temps, la préparation et le nettoyage des données qui afin d'obtenir une base fiable et exploitable.
- L'intégration d'informations complémentaires fournies au fur et à mesure par le client, telles que le type d'infrastructure, les coûts et le temps de réparation, le cas d'urgence de l'hôpital, a permis d'enrichir significativement notre analyse.
- La définition des priorités de reconstruction : notre réflexion s'est articulée autour de plusieurs points dont une première approche "naïve" fondée sur la difficulté des infrastructures. Puis une deuxième approche plus pertinente, basée sur la difficulté des bâtiments, intégrant la dépendance entre les infrastructures et leur impact réel sur le rétablissement de l'électricité. En fin face à la situation d'urgence représentée par l'hôpital, nous avons mis en place une planification prioritaire spécifique, tenant compte des contraintes temporelles critiques et des ressources disponibles, afin d'assurer la continuité d'un service vital pour la population. De ce fait nous avons traité de manière séparée le cas de l'hôpital dans les meilleurs délais.

MERCI

**O II
= II O HETIC
II =**