

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

Université Abderrahmane MIRA-
Bejaia
Faculté de Technologie
Département d'Architecture



جامعة عبد الرحمان ميرة – بجاية
كلية التكنولوجيا
قسم الهندسة المعمارية



**Gestion et organisation de chantiers dans le cadre d'un projet
d'infrastructure : Cas des tunnels ferroviaires Bejaia – Béni Mansour réalisés
par l'entreprise Cosider.**

Présenté par : Sadaoui Walid

Sous la direction de : Dr Boudina Tounsia

Dr Serikma	Département architecture de Bejaia	Président de jury
Dr.....	Département architecture de Bejaia	Rapporteur
Dr.....	Département architecture de Bejaia	Examineur
Mr.la fonction de l'invité ..	Invité

Date de soutenance : 15/06/2025

2024/2025

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 ()*
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : SADAOUI
Prénom : Walid
Matricule : 202033000816
Spécialité et/ou Option : Architecture
Département : Architecture
Faculté : Technologie
Année universitaire : 2024/2025

et chargé de préparer un mémoire de : Master

Intitulé: Gestion et organisation de chantiers dans le cadre d'un projet d'infrastructure : Cas des tunnels ferroviaires Bejaia – Béni Mansour réalisés par l'entreprise Cosider.

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaia le
14/12/2025

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

(*) Arrêté ministériel disponible sur le site www.univ-bejaia.dz/formation (rubrique textes réglementaires)

DÉDICACES

*Je dédie ce mémoire à mes **parents**,
pour leur amour, leur patience, leurs sacrifices et leur soutien sans faille tout
au long de mon parcours.*

*À mes **sœurs**, **Anaïs** et **Lina**,
pour leur tendresse, leur présence et leurs encouragements.*

*À mes **amis** **Bilal** et **Likou**,
pour leur amitié sincère, leur écoute et leur soutien constant, même dans les
moments les plus difficiles.*

À vous tous, cette étape est aussi la vôtre.

REMERCIEMENTS

*Avant toute chose, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes **parents**, pour leur amour, leur soutien moral constant et leur patience tout au long de mon parcours universitaire. Leur confiance et leurs encouragements ont été essentiels dans l'accomplissement de ce mémoire.*

*Je remercie également **tous les enseignants et encadrant** qui m'ont accompagné durant mes années d'étude, et en particulier ceux qui ont su transmettre leur passion pour le domaine de l'architecture et de la gestion de chantier.*

*Un grand merci aussi aux **professionnels de l'entreprise Tosider TP**, qui ont pris le temps de répondre à mes questions, de partager leur expérience et de me fournir des informations précieuses pour la réalisation de ce travail.*

*Enfin, je n'oublie pas toutes les **personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin**, que ce soit par leurs conseils, leur aide technique, ou simplement leur présence rassurante. Merci à vous tous.*

Résumé :

Ce mémoire traite de la gestion et de l'organisation de chantier dans le cadre d'un projet d'infrastructure en Algérie. À travers l'analyse du chantier de réalisation de trois tunnels ferroviaires entre Béni Mansour et Bejaia, réalisé par l'entreprise Cosider TP, le travail consiste à comprendre comment optimiser la planification, la coordination et le suivi des travaux. Deux projets internationaux en l'occurrence l'extension de la ligne orange du métro de Montréal et la ligne 15 Sud du Grand Paris Express ont été considérés comme références comparatives. Une enquête menée auprès des professionnels de terrain a permis de renforcer l'analyse et d'identifier les principaux freins et leviers d'amélioration de performance dans la gestion et l'avancement du projet. Le mémoire propose enfin une série de recommandations concrètes pour améliorer l'efficacité des chantiers actuels et futurs, en s'appuyant sur une meilleure organisation, l'intégration des outils numériques, et une gestion proactive des imprévus.

Mots-clés :

Gestion de chantier, organisation, infrastructure, tunnels ferroviaires, outils numériques, planification, comparaison internationale, imprévus, optimisation.

Abstract:

This thesis focuses on construction site management and organization within the framework of an infrastructure project in Algeria. It analyzes the construction of three railway tunnels between Béni Mansour and Bejaia, carried out by the company Cosider TP, with the aim of identifying ways to optimize planning, coordination, and project monitoring. Two international projects — the Orange Line extension of the Montreal Metro and the Grand Paris Express Line 15 South — were used as comparative references. A field survey conducted with professionals strengthened the analysis by highlighting key challenges and improvement opportunities. The study concludes with practical recommendations for enhancing current and future construction sites through better organization, digital tools integration, and proactive risk management.

Keywords:

Construction management, site organization, infrastructure, railway tunnels, digital tools, planning, international comparison, challenges, optimization.

Table de matières:

Chapitre Introductif	16
1.1 Introduction générale :	16
1.2 Problématique :	16
1.3 Hypothèses:	17
1.4 Objectifs de la recherche :	17
1.5 Méthodologie de recherche :	17
Chapitre 1 : Revue et littérature.....	21
2.1 Introduction :	21
2.2 Définitions et typologies de chantier :	21
2.2.1 Définition d'un chantier :	21
2.2.2 Typologie :	22
2.3 Phases et intervenants du chantier :	22
2.3.1 Phases du chantier :	22
2.3.2 Les intervenants sur chantier :	24
2.4 La planification des Travaux : outils et méthodes	26
2.4.1 Le diagramme de Gantt :	26
2.4.2 Le diagramme de PERT :	27
2.4.3 Comparaison entre le diagramme de Gantt et PERT :	29
2.5 La gestion des imprévus sur le chantier :	30
2.5.1 Définition des imprévus et aléas :	30
2.5.2 Typologies des imprévus :	31
2.5.3 Causes des imprévus :	31
2.5.4 L'impact des imprévus sur les projets BTP :	32
2.6 La gestion des imprévus :	33
2.7 Conclusion :	34
Chapitre 2 : Etat de l'art.....	37

3.1	INTRODUCTION:	37
3.2	Exemple 1 : Prolongement de la ligne du métro (Montréal vers Laval)....	37
3.2.1	Historique :	37
3.2.2	Description du projet :	38
3.2.3	Un chantier intéressant :	39
3.2.4	Approche Fast Track et gestion des délais :	42
3.2.5	Les défis rencontrés :	44
3.2.6	Les actions menées :	46
3.3	Exemple 2 : Le Grand Paris express	49
3.3.1	Introduction :	49
3.3.2	Présentation du Gand Paris Express : (Un projet hors norme)	50
3.3.3	Objectifs du Projet :	50
3.3.4	Une gouvernance centralisée face à un chantier d'une complexité exceptionnelle :	50
3.3.5	Lignes du Grand Paris Express :	51
3.3.6	Le Grand Paris express avance bien :	52
3.4	La ligne 15 du Grand Paris Express : une rocade stratégique.....	53
3.4.1	Le Tronçon 15 sud avance bien :	53
3.4.2	Chiffres clés du tronçon sud de la ligne 15 :	54
3.4.3	Organisation du creusement et acteurs mobilisés :	54
3.4.4	Organisation du creusement et acteurs mobilisés :	55
3.4.5	Etat d'avancement des travaux :	55
3.4.6	Défis rencontrés dans la réalisation du tronçon sud :	61
3.4.7	Actions mises en place pour faire face aux défis :	62
3.5	Synthèse comparative :	65
3.6	Conclusion	66
	Chapitre 3 : Cas d'étude.....	68

4.1	INTRODUCTION GENRAL :	68
4.2	Cas d'étude : REALISATION DE TROIS TUNNELS DES TRAVAUX DE DEDOUBLEMENT DE LA VOIE ET RECTIFICATION DE TRACE POUR AUGMENTATION DE LA VITESSE A 160 KM/H DE LA LIGNE BENI- MANSOUR/BEJAIA	68
4.3	Fiche d'identification du projet (Cas d'étude) :	71
4.4	Planning prévisionnel des travaux des trois tunnels :	75
4.4.1	Analyse et discussions sur les plannings prévisionnels :	76
4.5	Organigramme structurant de l'entreprise COSIDER M32 :	77
4.5.1	Présentation générale de COSIDER M32 :	77
4.5.2	L'organigramme détaillé du projet de réalisation des trois tunnels :..	78
4.6	Typologie d'un chantier modèle :	80
4.6.1	Les moyens matériels mobilisés :	80
4.6.2	Planning d'engagement du matériel :	82
4.6.3	Analyse du Planning d'engagement du matériel :	84
4.7	Moyen humains mobilisé :	85
4.7.1	Projection mensuelle 2025 des effectifs:	85
4.7.2	Répartition détaillée par fonction et département :	86
4.8	Implantation du Chantier :	87
4.8.1	Plan de base de vie :	87
4.8.2	Schéma d'accès :	92
4.9	Visite d'inspection de terrains:	96
4.10	Défis rencontrés dans le projet :	99
4.11	Analyse SWOT du cas d'étude :	102
4.12	Conclusion.....	103
	Chapitre 4 : Résultats de l'enquête et recommandations	105
5.1	Introduction:	105

5.2	Analyse comparative des projets : Tunnels de Bejaia, Prolongement de la Ligne Orange et Ligne 15 Sud du Grand Paris Express	105
5.3	Importance des outils numérique sur la gestion du chantier :	108
5.3.1	Informations générales sur les répondants :	109
5.3.2	Utilisation des outils numérique :	110
5.4	Synthèse globale des résultats de l'enquête.....	114
5.4.1	La gestion des défis sur les chantiers :	115
5.5	Synthèse globale sur la gestion des aléas.....	120
5.6	Recommandations :	120
5.6.1	Recommandations pour le cas d'étude :	120
5.6.2	Recommandations générales pour les chantiers Algériens.....	121
5.7	Conclusion :	123
	Conclusion générale :	125
	Références bibliographiques	127
	Annexes	129

Liste des figures:

Figure 1-Diagramme de Gant	27
Figure 2- Exemple de diagramme de PERT	29
Figure 3- Tracé du projet de prolongement du métro à Laval.	39
Figure 4- Méthode Traditionnelle.	43
Figure 5- Méthode Fast Track.	43
Figure 6- Planning de déroulement des travaux.	44
Figure 7-Carte des lignes du Grand Paris Express.	52
Figure 8-Carte schématique du tracé.....	55
Figure 9- Planning prévisionnel initial de la ligne 15 sud.....	56
Figure 10-Situation des 3 tunnels ferroviaires.	73
Figure 11-Planning prévisionnel du Tunnel El Mathen.....	75
Figure 12-Planning prévisionnel du Tunnel Sidi-Aich.....	76
Figure 13-Planning prévisionnel du Tunnel Takiertz.	76
Figure 14-Organigramme global de l'entreprise.....	78
Figure 15-L'organigramme détaillé du projet.....	79
Figure 16-Plan schématique de base de vie Cosider TP M32.	87
Figure 17-Schéma d'accès au tunnel Takeritz.	93
Figure 18-Schéma d'Entrée du tunnel Sidi-Aich.	94
Figure 19-Schéma de sortie du tunnel Sidi-Aich.	95
Figure 20-Schéma d'entrée du tunnel Semaoun.....	95
Figure 21-Schéma de sortie du tunnel Semaoun.....	96
Figure 22-Outils numérique utilisé	110
Figure 23-Fréquence d'utilisation des outils numériques	110
Figure 24-Gain d'efficacité dans le déroulement du travail	111
Figure 25-Respect des délais dans l'accomplissement des tâches	112
Figure 26-Catégorie d'imprévus rencontrés et leur importance	116
Figure 27-Fréquence des imprévus	116
Figure 28-Réactions aux imprévus de chantier	117
Figure 29-Impacts majeurs des imprévus sur les performances du projet	117
Figure 30-Retards moyens causés par les imprévus	118
Figure 31-Outils numérique utilisés pour la gestion des imprévus	118
Figure 32-Efficacité des outils numériques contre les imprévus	119

Liste des photos:

Photo 1-Vue plus générale; on aperçoit le CÉGEP au fond, juste au dessus du débouché du tunnel.....	41
Photo 2-:« Du haut de cette rampe, quarante mille camions de déblais vous contemplent! ».....	41
Photo 3- Ventilation et Eclairage des tunnels.....	48
Photo 4-Formation spécifique des pompiers aux interventions souterraine.	48
Photo 5-Surveillance continue et contrôle des protocoles de sécurité.	49
Photo 6- Derniers tours de coupe du tunnelier Marina.....	57
Photo 7- Mise en rame et roulage manuel.	57
Photo 8-Gare Villejuif – Institut Gustave-Roussy.	60
Photo 9-Gare Fort d'Issy-Vanves-Clamart (En cours).....	60
Photo 10-Profondeur importante de certaines stations	62
Photo 11-Aménagement de puits de Ventilations	64
Photo 12- Tunnelier de dernière génération.....	64
Photo 13- Etat actuels de la ligne ferroviaire.....	69
Photo 14-Accident ferroviaire sur la ligne.....	70
Photo 15-L'usure et corrosion des infrastructures.....	70
Photo 16-Photo satellite de base de vie.	88
Photo 17-Hébergement d'Exécution.	90
Photo 18-Atelier Mécanique.....	90
Photo 19-Central à Béton.....	91
Photo 20-Aire pour boîte d'Agrégats.	91
Photo 21-Sortie du tunnel Takiertz.....	93
Photo 22-Entrée du tunnel Sidi-Aich.	94
Photo 23-Monitoring Topographique.....	98
Photo 24-Coffrage de voûte.	98
Photo 25- Sols marécageux (sidi-Aich).	101
Photo 26-Sols rocheux (Takiertz).	101

Liste des tableaux:

Tableau 1- Tableau comparatif entre deux méthodes	30
Tableau 2-Liste des lignes du projet	51
Tableau 3-Les trois tronçons de la ligne 15 du Grand Paris Express	53
Tableau 4-Caractéristique du tronçon ligne 15 Sud	54
Tableau 5-Organisation du creusement du tunnel de la ligne 15 Sud par tronçons	54
Tableau 6-Les principales Phases du Calendrier des Travaux	56
Tableau 7-Liste des gares avec leurs taux d'avancement (Donnés 2021).....	58
Tableau 8-Synthèse comparative des deux (02) projets	65
Tableau 9-Caractéristique Technique des tunnels.	74
Tableau 10-Planning d'engagement de matériels de l'année 2025.	82
Tableau 11- Répartition des effectifs prévue en 2025.	85
Tableau 12-Composantes de la base de vie.	89
Tableau 13- Analyse SWOT du chantier de la ligne ferroviaire Beni Mansour - Bejaia.	102
Tableau 14- Comparaison du Cas d'étude et les deux exemples internationaux	106
Tableau 15- Synthèse des renseignements relatifs aux participants à l'enquête.	109

Liste des annexes:

Annexe 1-Planning prévisionnel des travaux	129
Annexe 2- Evolution des effectifs mois de novembre 2024.....	130
Annexe 3- Questionnaire mené pour l'enquete	131

Chapitre Introductif

Chapitre Introductif

1.1 Introduction générale :

Le secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP⁽¹⁾) est l'un des piliers du développement économique et social, notamment à travers les projets d'infrastructure qui façonnent le territoire et favorisent la mobilité. Dans ce contexte, la gestion et l'organisation de chantier constituent des enjeux majeurs pour garantir la réussite des projets, tant en matière de coûts, de délais que de qualité.

En effet, un chantier mal organisé peut entraîner des retards, des surcoûts, une dégradation de la qualité de l'ouvrage, voire des accidents. À l'inverse, une gestion efficace permet de coordonner les différents intervenants, de maîtriser les imprévus, d'optimiser les ressources et de respecter les exigences techniques et réglementaires.

Ce mémoire s'inscrit dans cette problématique et propose d'analyser les pratiques de gestion et d'organisation de chantier à travers un **cas concret : la réalisation de trois tunnels ferroviaires entre Bejaia et Béni Mansour**, menée par l'entreprise **Cosider TP⁽²⁾** dans le cadre du projet de doublement de la voie ferrée.

Cette étude vise à dégager les enseignements de ce projet, à les confronter à d'autres expériences internationales et à formuler des recommandations en vue d'optimiser la gestion des futurs chantiers d'infrastructure.

1.2 Problématique :

Comment optimiser la gestion et l'organisation des chantiers pour réduire les coûts et les délais sans négliger la qualité des travaux réalisés ?

Cette question se pose de manière particulièrement critique dans les projets d'infrastructure lourde, comme les tunnels ferroviaires, où la coordination entre de nombreux acteurs, la gestion des imprévus, les exigences techniques et les contraintes de sécurité rendent la conduite du chantier particulièrement complexe.

¹ BTP : Bâtiment et Travaux Publics

² TP : Travaux Publics

1.3 Hypothèses:

- Une gestion de chantier bien planifiée, intégrant des outils numériques adaptés, permet de réduire les délais et les coûts tout en assurant la qualité.
- La coordination efficace des intervenants et l'anticipation des imprévus constituent des éléments essentiels pour la réussite d'un projet d'infrastructure.
- L'adaptation des pratiques issues de projets internationaux au contexte local Algérien peut améliorer les performances globales des chantiers.
- Le suivi des performances et des rendements effectifs des moyens matériels.

1.4 Objectifs de la recherche :

- Étudier les fondements théoriques de la gestion et de l'organisation de chantier.
- Analyser un cas concret (chantier des tunnels ferroviaires de Bejaia – Béni Mansour) pour observer les pratiques appliquées.
- Identifier les points forts et les points faibles des méthodes utilisées.
- Comparer ces résultats avec ceux de projets internationaux (Montréal et Grand Paris Express).
- Proposer des recommandations pour améliorer la gestion de chantier dans les projets d'infrastructure en Algérie.

1.5 Méthodologie de recherche :

La méthodologie adoptée dans ce mémoire repose sur une approche **mixte** (à la fois théorique et pratique), structurée autour des étapes suivantes :

- **Analyse théorique :**

Une première partie du travail consiste à étudier les bases de la gestion et de l'organisation de chantier : les types de chantiers, les acteurs, les méthodes de planification (comme Gantt et PERT), les outils numériques, et la gestion des imprévus. Cela a permis de construire un cadre de référence pour analyser ensuite le cas concret.

- **Analyse comparative**

Pour enrichir l'étude, deux exemples internationaux ont été analysés :

- Le prolongement de la ligne orange du métro de Montréal (Canada),
 - La ligne 15 Sud du Grand Paris Express (France).
- Cette comparaison a permis de dégager des pratiques intéressantes et des pistes d'amélioration adaptées au contexte algérien.

- **Étude de cas**

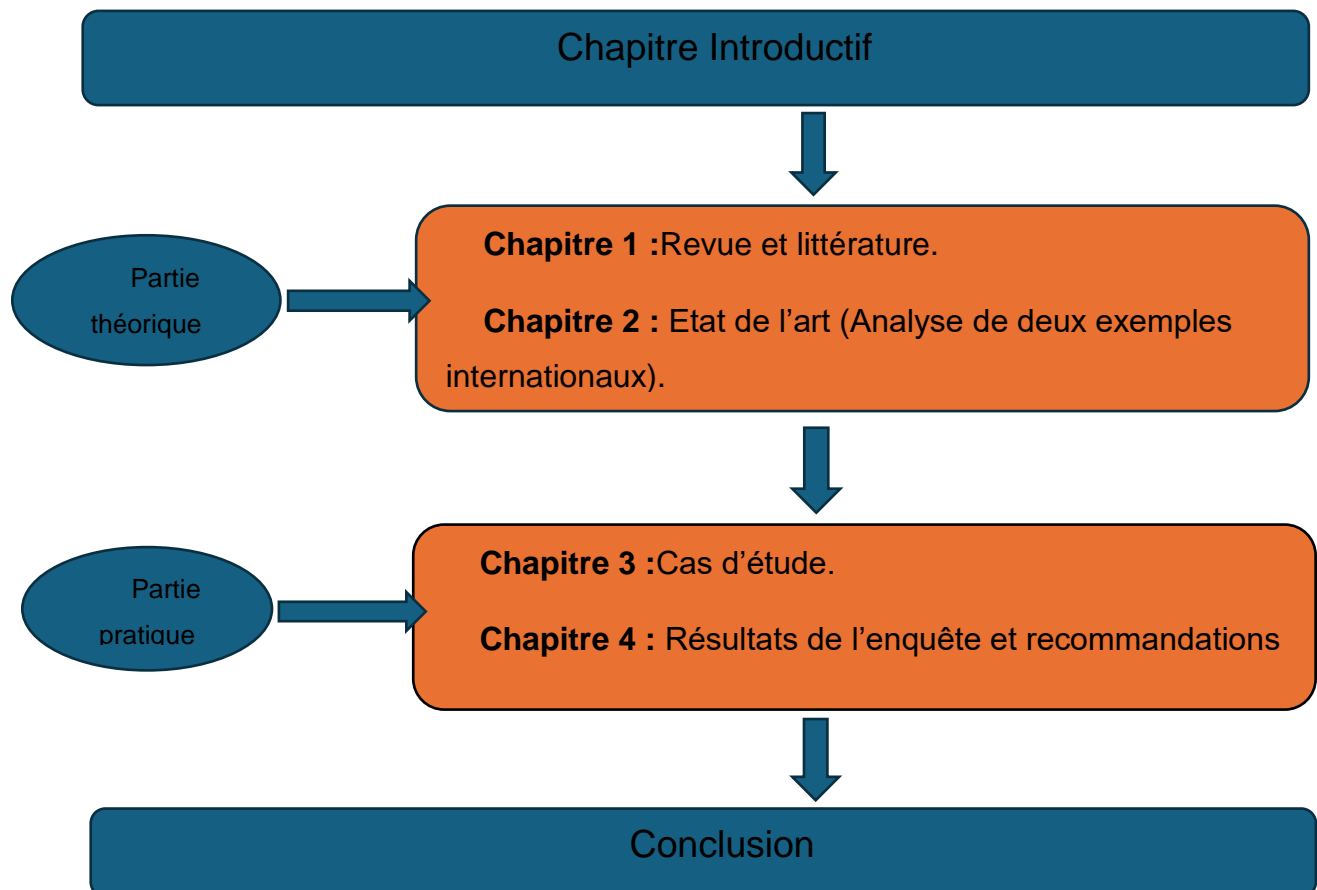
Le mémoire s'appuie sur un cas réel : la réalisation de trois tunnels ferroviaires entre Bejaia et Béni Mansour, menée par l'entreprise Cosider TP. Des documents techniques, des données internes, et des échanges avec des membres du chantier ont permis d'observer concrètement la manière dont ce projet a été organisé.

- **Enquêtes sur le terrain**

Deux questionnaires ont été élaborés et soumis aux professionnels de Cosider TP. Le premier portait sur l'usage des outils numériques dans la gestion quotidienne. Le second concernait la manière dont les imprévus et les contraintes sont gérés sur le chantier.

Cette démarche a permis d'avoir une vision globale du sujet, à la fois théorique et ancrée dans la réalité du terrain.

Structure du mémoire



Chapitre 1 : Revue et littérature.

Chapitre 1 : Revue et littérature

2.1 Introduction :

La réussite d'un projet de construction repose en grande partie sur la qualité de sa gestion et de son organisation. Le chantier, en tant que lieu d'exécution des travaux, constitue un espace complexe où interagissent une multitude d'acteurs, de ressources et de contraintes. Il est donc essentiel de comprendre ses caractéristiques fondamentales afin de pouvoir mettre en œuvre une organisation efficace et adaptée aux exigences du projet.

Ce chapitre vise à poser les bases théoriques nécessaires pour appréhender les enjeux de la gestion de chantier. Dans un premier temps, nous définirons le concept de chantier et proposerons une typologie en fonction de la nature des travaux, de l'environnement et du degré de complexité. Ensuite, nous analyserons les rôles et responsabilités des différents intervenants, ainsi que les interactions entre les parties prenantes. Une attention particulière sera portée aux imprévus et défis rencontrés sur les chantiers, en tant que sources fréquentes de perturbations, de surcoûts ou de retards.

Enfin, nous aborderons les principales méthodes de planification utilisées dans la gestion de projets, notamment les diagrammes de Gantt et les réseaux PERT, qui permettent de structurer les tâches, anticiper les risques et optimiser l'exécution des travaux.

L'objectif de ce chapitre est donc de fournir un socle de connaissances pour mieux comprendre les pratiques actuelles en matière de gestion de chantier, tout en identifiant les leviers d'optimisation pouvant contribuer à une meilleure maîtrise des coûts, des délais et de la qualité.

2.2 Définitions et typologies de chantier :

2.2.1 Définition d'un chantier :

Un chantier est un lieu où se déroulent des travaux de construction, de rénovation, de démolition ou d'aménagement dans le cadre de la réalisation d'un projet donné. Il peut concerner des bâtiments, des infrastructures, des routes, ou encore des installations industrielles. Le chantier regroupe l'ensemble de l'espace

physique et logistique où s'exécutent les opérations nécessaires à la concrétisation de l'ouvrage, incluant les zones de travail, de stockage, d'accès, et de vie.

2.2.2 Typologie :

La typologie des chantiers varie selon la nature du projet, les techniques mises en œuvre, les moyens engagés et les acteurs impliqués. On distingue principalement trois grandes catégories de chantiers :

A- Les chantiers de bâtiment :

Ce sont les plus courants. Ils regroupent les projets de construction, rénovation ou réhabilitation de bâtiments, qu'il s'agisse de maisons individuelles, d'immeubles collectifs, de locaux commerciaux, de bâtiments administratifs ou scolaires. Ils impliquent souvent de nombreux corps de métiers : maçonnerie, électricité, plomberie, charpente,...etc.

B- Les chantiers de travaux publics (TP) :

Ils concernent les infrastructures destinées à l'utilité publique, telles que les routes, les ponts, les réseaux d'assainissement, les voies ferrées, les barrages, les aéroports, ou les lignes de transport en commun. Ces chantiers demandent souvent une coordination complexe entre différents acteurs publics et privés.

Ce type de chantier concerne la construction d'installations à vocation industrielle : usines, raffineries, centrales énergétiques, entrepôts logistiques, plateformes pétrolières,...etc. Ils impliquent des exigences techniques particulières, des normes de sécurité renforcées et des processus spécifiques à chaque secteur industriel.

Chaque type de chantier présente des enjeux organisationnels propres, en termes de gestion des délais, des coûts, des risques, des ressources humaines et matérielles, ce qui justifie une approche adaptée de la gestion et de l'organisation selon la nature du projet.

2.3 Phases et intervenants du chantier :

2.3.1 Phases du chantier :

La réalisation d'un chantier suit une progression structurée, divisée en plusieurs phases distinctes. Chaque étape mobilise des acteurs spécifiques et nécessite des

actions adaptées pour assurer la bonne exécution du projet. On distingue généralement les phases suivantes :

A- Phase de préparation :

Cette première étape est cruciale, car elle conditionne la réussite du chantier. Elle comprend l'étude et la conception du projet, le choix des entreprises, l'élaboration du planning, ainsi que l'obtention des autorisations administratives nécessaires. Elle mobilise principalement la maîtrise d'ouvrage (MOA), l'architecte, les bureaux d'études techniques, et parfois un économiste de la construction. C'est durant cette phase que les premières décisions de gestion sont prises et que les bases organisationnelles du chantier sont définies.

B- Phase de réalisation :

Cette phase correspond à l'exécution concrète des travaux sur le terrain. Elle implique l'intervention coordonnée de multiples corps d'état (gros œuvre, second œuvre, techniques, etc.). La coordination est assurée par un conducteur de travaux, un ingénieur de chantier ou un représentant de la maîtrise d'œuvre d'exécution (MOEX). La gestion quotidienne du chantier, le respect des délais, des coûts, et de la qualité sont au cœur des préoccupations à ce stade.

C- Phase de réception :

À l'issue des travaux, une phase de vérification est engagée afin de s'assurer de la conformité de l'ouvrage avec les exigences contractuelles et réglementaires. C'est la phase de réception, durant laquelle la maîtrise d'œuvre vérifie la qualité des réalisations et établit, le cas échéant, une liste de réserves à corriger. Cette étape est essentielle, car elle engage la responsabilité des entreprises et conditionne la livraison officielle du chantier.

D- Phase de clôture :

Enfin, la dernière phase concerne la remise en état du site. Elle comprend le démontage des installations provisoires (bases vie, échafaudages, clôtures,...etc.), le nettoyage général du chantier, et la restitution du terrain dans un état conforme aux engagements pris. Cette étape marque la fin opérationnelle du projet et sa transmission définitive à la maîtrise d'ouvrage.

2.3.2 Les intervenants sur chantier :

Le bon déroulement d'un chantier repose sur la coordination de nombreux acteurs, chacun ayant des rôles précis à différentes étapes du projet. Le secteur du BTP est un milieu collaboratif dans lequel chaque intervenant contribue à l'avancement de l'ouvrage.

A- La maîtrise d'ouvrage :

Le maître d'ouvrage est le commanditaire du projet, qu'il soit public ou privé. C'est lui qui définit les objectifs, le budget, le calendrier, et les exigences du chantier. Il peut confier la réalisation de l'ouvrage à une équipe de maîtrise d'œuvre, mais reste le responsable final.

B- La maîtrise d'œuvre :

La maîtrise d'œuvre assure la conception, le suivi technique et administratif des travaux pour le compte de la maîtrise d'ouvrage. Elle regroupe différents professionnels selon la complexité du projet :

- **L'architecte** : responsable de la conception architecturale, du dépôt du permis de construire et du suivi esthétique et technique du projet. Il est obligatoire pour certains types de chantiers (au-delà de 150 m²).
- **L'urbaniste** : intervient en amont dans les projets d'aménagement urbain, en lien avec les documents réglementaires comme les PLU⁽³⁾.
- **L'économiste de la construction (ou métreur)** : évalue les quantités, les coûts et les budgets nécessaires à la réalisation.
- **Le géomètre-expert** : effectue les relevés topographiques, établit les plans de bornage et les délimitations foncières.
- **Les bureaux d'études techniques (BET)** : apportent une expertise en structure, fluides, acoustique, thermique,...etc., pour garantir la faisabilité et la conformité technique du projet.

C- Les entreprises de travaux :

³ : PLU : Plan Local d'Urbanisme.

Les travaux sont réalisés par des entreprises spécialisées, organisées en deux grandes catégories :

- **Les entreprises de gros œuvre** : elles assurent la structure du bâtiment (terrassement, fondations, maçonnerie, charpente, béton armé,...etc.).
- **Les entreprises de second œuvre** : elles interviennent une fois la structure achevée pour rendre le bâtiment habitable et fonctionnel (étanchéité, électricité, plomberie, menuiserie, peinture, revêtements,...etc.).

Dans les travaux publics, on retrouve également des entreprises de terrassement, de voirie, d'assainissement, ou encore de génie civil.

D- Les intervenants transversaux :

Certains acteurs jouent un rôle de contrôle, de coordination ou de sécurité, indispensables au bon déroulement du chantier :

- **Le contrôleur technique** : il vérifie la conformité des ouvrages aux normes de sécurité et de solidité. Il garantit la normalisation des risques dans le cadre de l'obtention de garantie décennale auprès des organismes assureurs
- **Le coordinateur SPS ⁽⁴⁾** : il veille à prévenir les risques professionnels sur le chantier. Obligatoire sur les chantiers où plusieurs entreprises interviennent.
- **Le conducteur de travaux ou coordinateur de chantier** : il planifie, suit et coordonne les travaux sur le terrain. Il gère les délais, les équipes, les ressources, et les imprévus.

E- Les autres acteurs spécifiques :

- **L'architecte d'intérieur** : spécialisé dans l'aménagement et la conception des espaces intérieurs, notamment dans les projets de rénovation ou d'agencement.
- **L'architecte-paysagiste** : intervient sur l'intégration de l'ouvrage dans son environnement naturel (espaces verts, traitement des abords).

⁴ : **SPS** : Sécurité et Protection de la Santé

- **Les sous-traitants** : entreprises mandatées par les titulaires du marché pour réaliser certaines tâches spécifiques.
- **Les tiers riverains** : bien qu'extérieurs au projet, ils peuvent être concernés, notamment lorsque le chantier empiète sur leur propriété (ex : survol par grue).

2.4 La planification des Travaux : outils et méthodes

La planification est une étape cruciale dans la gestion d'un chantier. Elle permet de structurer les différentes phases du projet, d'anticiper les besoins en ressources et de respecter les délais impartis. Deux outils majeurs sont couramment utilisés dans le secteur du BTP pour cette tâche : le diagramme de Gantt et le diagramme de PERT⁽⁵⁾.

2.4.1 Le diagramme de Gantt :

Le diagramme de Gantt est un outil de planification visuelle qui représente les tâches d'un projet sur une échelle temporelle. Chaque tâche est illustrée par une barre horizontale dont la longueur correspond à sa durée prévue. Cet outil permet de visualiser l'enchaînement des tâches, leurs durées et les éventuels chevauchements.

Les avantages:

- **Clarté visuelle** : offre une vue d'ensemble du projet et de l'avancement des travaux.
- **Identification des dépendances** : met en évidence les relations entre les différentes tâches.
- **Suivi de l'avancement** : facilite la mise à jour et le suivi du projet en temps réel.

Exemple d'application :

Dans le secteur du BTP, le diagramme de Gantt est utilisé pour planifier les différentes étapes d'un chantier, de la préparation du site à la livraison finale. Il

⁵ **PERT** : Program Evaluation and Review Technique

permet de coordonner les interventions des différents corps de métier et de s'assurer du respect des délais.

Selon Prium Transition, un diagramme de Gantt bien conçu permet d'identifier précisément l'ordre dans lequel chaque tâche doit être réalisée, les liens existants entre les différentes tâches et les délais pour chacune des tâches. Avec l'ensemble de ces éléments, un diagramme de Gantt bien réalisé doit permettre de faire ressortir le chemin critique.

Dans le diagramme de Gantt ci-dessous, le chemin critique est identifié en rouge.

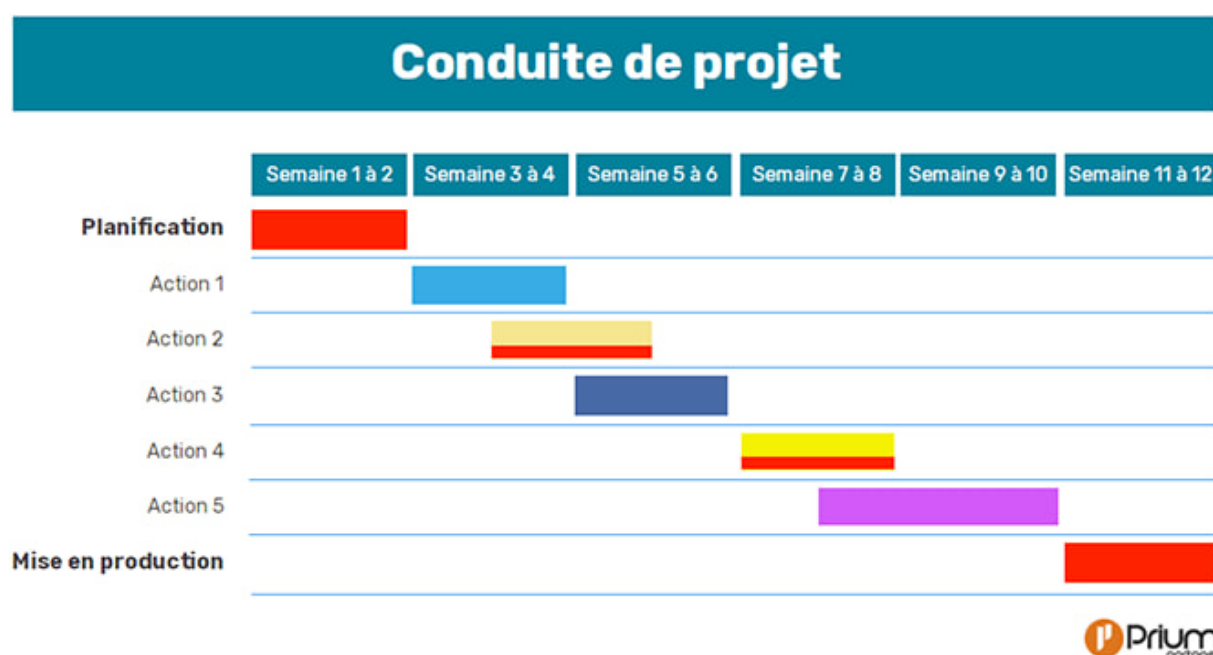


Figure 1-Diagramme de Gant (Source : Prium transition)

2.4.2 Le diagramme de PERT :

Le diagramme de PERT est un outil d'ordonnancement qui représente les tâches d'un projet sous forme de réseau. Chaque tâche est un nœud du réseau, relié aux autres par des flèches indiquant les dépendances. Le PERT permet d'identifier le chemin critique, c'est-à-dire la séquence de tâches déterminant la durée minimale du projet.

Avantages principaux:

- **Simplifier les projets complexes** : Le PERT aide les chefs de projet à mieux maîtriser les projets ambitieux en structurant clairement les tâches à réaliser et leurs relations.
- **Coordination interservices**: elle permet d'impliquer simultanément plusieurs départements ou experts, en extrayant et en intégrant les données techniques et organisationnelles de chacun, ce qui améliore la coordination globale.
- **Évaluation des scénarios** : Le PERT offre la possibilité d'explorer différents scénarios en simulant les durées et ressources nécessaires pour chacun. Cela permet d'anticiper les éventuelles difficultés et de tester différentes hypothèses d'organisation avant la mise en œuvre réelle.

Construction du diagramme PERT :

La création d'un diagramme de PERT se déroule en plusieurs étapes clés :

1. **Préparer les tâches** : Lister toutes les tâches nécessaires à la réalisation du projet.
2. **Établir un réseau** : Construire le réseau en reliant les tâches entre elles à l'aide de flèches et de cercles. Les flèches représentent les tâches à accomplir, et les cercles divisés en trois parties indiquent :
 - En haut à gauche : la date de livraison de la tâche au plus tôt.
 - En haut à droite : la date de livraison de la tâche au plus tard.
 - La moitié du bas : le repère de l'étape.
3. **Déterminer les dates au plus tôt** : Choisir le moment le plus précoce possible pour commencer chaque tâche, en tenant compte des tâches précédentes.
4. **Déterminer les dates au plus tard** : Identifier la date limite à laquelle chaque tâche doit être terminée pour ne pas retarder le projet.

5. **Déterminer la marge libre d'une tâche** : Calculer la différence entre les dates au plus tard et au plus tôt pour chaque tâche, afin d'identifier les marges de manœuvre.
6. **Élaborer le chemin critique** : Identifier la séquence de tâches qui détermine la durée minimale du projet. Toute modification de ces tâches affectera directement le calendrier global.

Exemple de diagramme PERT :

Ce schéma au-dessous illustre un diagramme de PERT avec les durées des tâches, les dates au plus tôt et au plus tard pour chaque étape, ainsi que le chemin critique représenté en rouge.

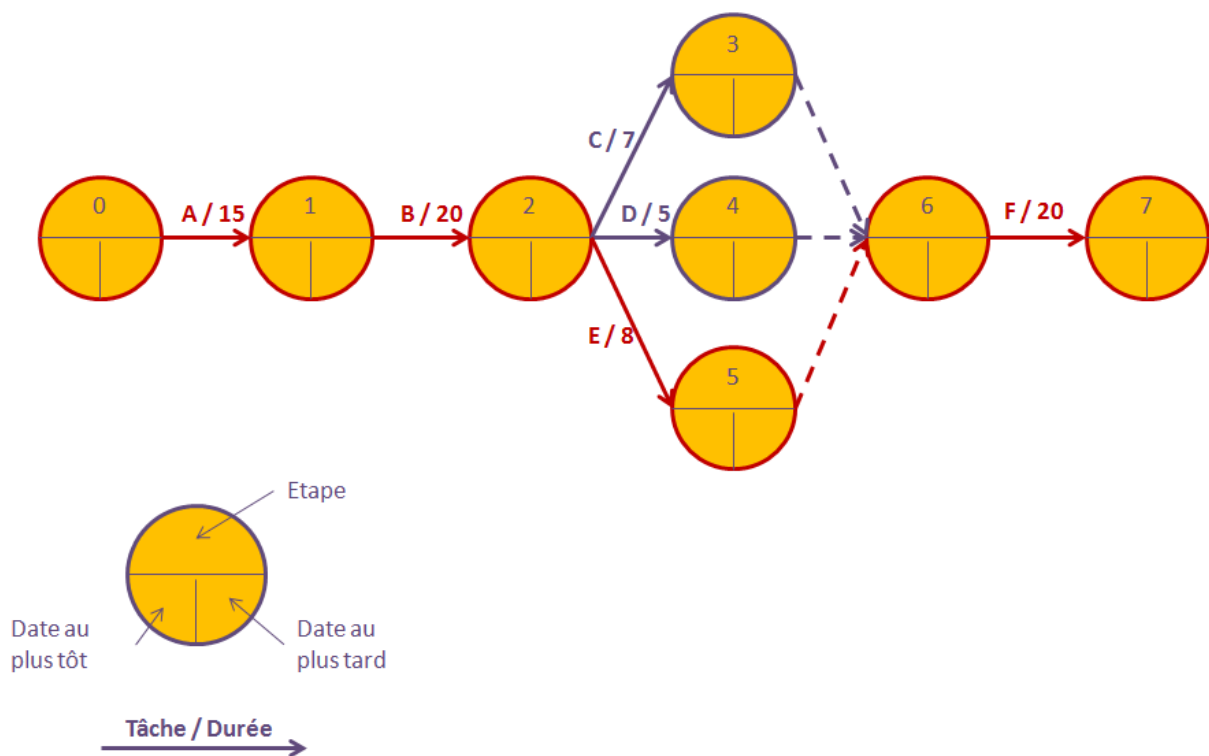


Figure 2- Exemple de diagramme de PERT (Source : Appvizer)

2.4.3 Comparaison entre le diagramme de Gantt et PERT :

La planification des travaux sur un chantier peut reposer sur plusieurs outils. Les deux plus connus sont le diagramme de Gantt et le diagramme de PERT. Chacun possède ces avantages et ces limites, et leur usage dépend du type de projet, de sa complexité et du niveau de précision souhaité.

Tableau 1-Tableau comparatif entre deux méthodes (Source : Prium transition, appvizer)

Critère	Diagramme de Gantt	Diagramme de PERT
Objectif principal	-Visualiser les tâches dans le temps sous forme de barre.	-Modéliser les relations logiques entre les tâches.
Forme	-Représentation linéaire (barres horizontales).	-Réseau de nœuds et d'arcs (logique d'antériorité).
Lecture	-Simple et accessible à tous.	-Plus technique, demande un apprentissage.
Utilité	-Suivi de projet, communication, échéances.	-Planification détaillée, analyse des risques et scénarios.
Coordination	-Moins précis dans les interdépendances.	-Très précis sur les dépendances entre tâches.
Chemin critique	-Non visible directement.	-Oui, facilement identifiable.
Souplesse face aux imprévus	-Moins souple : nécessite souvent un ajustement manuel.	-Très souple : permet de tester différents scénarios (what-if).
Usage recommandé	-Projets simples ou linéaires, avec peu d'interactions complexes.	-Projets complexes, avec plusieurs tâches parallèles et interactions techniques.

2.5 La gestion des imprévus sur le chantier :

2.5.1 Définition des imprévus et aléas :

Dans le domaine du BTP, les **imprévus** (ou aléas) désignent tous les événements non planifiés susceptibles d'affecter le déroulement normal d'un

chantier. Ils peuvent perturber les délais, augmenter les coûts ou impacter la qualité des travaux.

Selon le Guide de gestion des risques dans les projets de construction publié par le Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance (France), "les aléas sont des événements incertains pouvant affecter l'atteinte des objectifs du projet en termes de délais, de coûts, de qualité ou de sécurité." (Source : Ministère de l'économie, Guide de gestion des risques projets de construction)

2.5.2 Typologies des imprévus :

Dans le domaine du bâtiment et des travaux publics (BTP), les imprévus sont fréquents et peuvent perturber le bon déroulement des travaux, tant au niveau du planning que des coûts ou de la qualité d'exécution. Ces imprévus peuvent prendre des formes variées, telles que :

- Des conditions météorologiques défavorables, (Exemple : pluies torrentielles, vents violents ou températures extrêmes.).
- Des découvertes archéologiques sur le site.
- Des erreurs dans les plans ou les calculs.
- Des retards dans la livraison des matériaux.
- Ou encore des conflits entre les différents intervenants.

Ces situations illustrent les principales catégories d'aléas susceptibles d'affecter la gestion d'un chantier. Afin de mieux les anticiper et les traiter, plusieurs typologies sont proposées dans la littérature spécialisée. La classification suivante regroupe les imprévus selon leur nature, tout en s'appuyant sur des références professionnelles et académiques reconnues.

2.5.3 Causes des imprévus :

A- Facteurs externe :

- **Météo** : Le changement climatique augmente la fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes, tels que les tempêtes, les inondations ou les vagues de chaleur. Ces phénomènes peuvent ralentir ou même arrêter totalement la progression des travaux, entraînant des retards coûteux.

- **Problèmes avec les fournisseurs et sous-traitants :** Des livraisons tardives de matériel ou un manque de main-d'œuvre qualifiée peuvent perturber le planning prévu. De plus, les aléas logistiques, comme des transports bloqués ou des ruptures d'approvisionnement, compliquent encore davantage la situation.

B- Facteurs internes :

- **Modifications des normes ou lois :** Les changements dans les règles de sécurité ou les codes du bâtiment peuvent nécessiter des ajustements imprévus aux projets. Ces mises à jour réglementaires peuvent obliger à revoir les plans ou à refaire certains travaux, allongeant ainsi les délais et augmentant les coûts.
- **Défaillances dans la gestion de projet :** Une mauvaise planification ou une gestion inefficace des équipes peut rapidement désorganiser un chantier. Cela inclut des ressources mal allouées ou des équipes mal coordonnées, ce qui entraîne des retards et des dépassements de budget.

C- Facteurs règlementaires :

- **Modifications des normes ou lois :** Les changements dans les règles de sécurité ou les codes du bâtiment peuvent nécessiter des ajustements imprévus aux projets. Ces mises à jour réglementaires peuvent obliger à revoir les plans ou à refaire certains travaux, allongeant ainsi les délais et augmentant les coûts.

2.5.4 L'impact des imprévus sur les projets BTP :

- **Sur les délais :**

Les imprévus, qu'ils proviennent de conditions météorologiques difficiles, de retards logistiques ou d'erreurs dans la planification, peuvent rapidement désorganiser l'avancement d'un chantier. Parfois, il suffit d'un seul jour de retard pour que l'ensemble du calendrier soit bouleversé, chaque tâche étant souvent liée à la précédente. Ce phénomène est encore plus marquant dans les projets de grande envergure, où la coordination entre les différentes phases est essentielle au respect des délais initiaux.

- **Sur les coûts :**

Les imprévus sur un chantier ne se limitent pas à des retards : ils entraînent souvent des surcoûts difficiles à absorber. Le besoin d'acheter des matériaux en urgence, de réorganiser les équipes ou de mobiliser des ressources supplémentaires pour rattraper le temps perdu peut rapidement faire grimper la facture. Ces dépenses, rarement anticipées, grignotent peu à peu la marge bénéficiaire du projet. Lorsqu'elles se répètent sur plusieurs opérations, elles peuvent même compromettre l'équilibre financier de l'entreprise.

- **Sur la qualité de travail :**

Lorsque le temps manque pour compenser un retard, les équipes sont souvent contraintes de travailler dans l'urgence, au détriment des exigences de qualité. Les solutions rapides ou improvisées, bien qu'utiles sur le moment, augmentent le risque d'erreurs, de malfaçons ou de finitions peu soignées. Ces compromis, dictés par la pression des délais, ne se limitent pas à l'impact immédiat sur le chantier : ils peuvent aussi affecter la satisfaction du client, la réputation de l'entreprise et, à terme, sa capacité à décrocher de nouveaux marchés.

- **Sur les relations clients et réputation :**

Les retards à répétition et les dépassements de budget nuisent inévitablement à la relation de confiance avec le client. Ces situations peuvent donner l'image d'une gestion approximative, voire d'un manque de fiabilité, poussant certains clients à se tourner vers d'autres prestataires pour leurs projets futurs. En parallèle, la réputation de l'entreprise peut en pâtir sur le marché, rendant plus difficile la conquête de nouveaux clients ou la conclusion de partenariats. Dans un secteur aussi concurrentiel que le BTP, une réputation fragilisée peut avoir des effets durables et freiner le développement de l'activité.

2.6 La gestion des imprévus :

- ❖ **Anticipation et préparation :**

- **Planification minutieuse :** Identifier les risques potentiels dès le début du projet est essentiel pour éviter les mauvaises surprises. Prenez le temps d'analyser chaque étape du projet, d'anticiper les obstacles possibles et de

préparer des plans d'action correspondants. Une bonne planification est la base d'une gestion efficace des imprévus.

- **Outils de gestion de risques** : Utiliser des outils pratiques pour créer des scénarios alternatifs en cas d'imprévu. Simuler différentes situations permet de mieux comprendre les impacts possibles et d'avoir des solutions prêtes à être mises en œuvre rapidement.

❖ **Communication efficace :**

- **Informez rapidement et clairement**: Maintenir une communication transparente avec toutes les parties prenantes est crucial pour éviter les malentendus et les pertes de temps. Assurez-vous que chacun soit informé des changements ou imprévus, et mettez en place des canaux de communication rapides pour faciliter les échanges d'informations.

❖ **Flexibilité et adaptabilité :**

- **Faire preuve d'ingéniosité** : Lorsque les plans initiaux ne fonctionnent plus, il est essentiel de rester créatif et ouvert à de nouvelles perspectives. Adopter une approche flexible vous permet de trouver des solutions alternatives rapidement, tout en minimisant les impacts négatifs sur le projet.

❖ **Documentation et suivi :**

- **Conserver une trace détaillée** : Documenter chaque imprévu, les décisions prises et les solutions appliquées est indispensable pour garder une vision claire du projet. Cela permet également de créer un historique fiable qui pourra être utilisé comme référence pour gérer des situations similaires à l'avenir et éviter de répéter les mêmes erreurs.

2.7 Conclusion :

À travers ce premier chapitre, nous avons posé les bases essentielles pour comprendre les enjeux liés à la gestion et à l'organisation d'un chantier. La diversité des typologies de chantiers, les différentes phases d'exécution ainsi que la multiplicité des intervenants illustrent la complexité inhérente à tout projet de construction. Face à cette réalité, une planification rigoureuse apparaît comme un levier fondamental pour maîtriser les délais, les coûts et la qualité des travaux. Les

outils comme le diagramme de Gantt ou celui de PERT, bien qu'ayant chacun leurs spécificités, s'imposent comme des instruments clés dans cette démarche.

Par ailleurs, l'analyse des imprévus — qu'ils soient climatiques, techniques, humains ou administratifs met en évidence l'importance de la réactivité et de l'anticipation dans la conduite de projet. Loin d'être des exceptions, ces aléas font partie intégrante de la réalité de terrain, et leur impact peut compromettre l'équilibre financier, la qualité des ouvrages, voire la satisfaction du client. C'est pourquoi leur gestion ne peut être improvisée : elle doit reposer sur une stratégie claire, une communication fluide entre les acteurs du chantier, et une capacité d'adaptation constante.

En somme, cette revue bibliographique met en lumière les multiples paramètres à prendre en compte pour optimiser la gestion d'un chantier. Il sert de fondation pour les réflexions à venir, qui porteront sur l'analyse de cas concrets, les apports du numérique, et les pistes d'amélioration possibles dans une optique de performance durable.

Chapitre 2 : Etat de l'art

Chapitre 2 : Etat de l'art

3.1 INTRODUCTION:

L'optimisation de la gestion et de l'organisation des chantiers constitue un enjeu majeur dans le secteur de la construction. Réduire les coûts et les délais tout en garantissant une qualité optimale des travaux repose sur une planification rigoureuse, une coordination efficace des ressources et l'adoption de bonnes pratiques éprouvées. Pour mieux comprendre ces enjeux et identifier des stratégies applicables, il est essentiel d'analyser des projets similaires qui ont fait face à des défis comparables.

Dans cette partie, nous nous intéressons à des exemples concrets de chantiers ayant nécessité une organisation complexe et une gestion optimisée. L'objectif est d'identifier les méthodes, outils et approches qui ont permis d'améliorer la productivité et la performance des travaux.

Le premier cas étudié est le prolongement de la ligne Orange du métro de Montréal vers Laval, un projet d'infrastructure majeur qui a nécessité une coordination rigoureuse entre les différents acteurs, une gestion efficace des risques et une maîtrise des coûts et délais. Ce projet, réalisé dans un environnement urbain dense, constitue un exemple pertinent en matière de gestion et d'organisation de chantier.

Un second projet sera également analysé afin d'élargir la perspective et de comparer différentes approches en matière de gestion de chantier. Ces études de cas permettront de mettre en lumière les facteurs clés de succès et les bonnes pratiques pouvant être transposées au contexte du chantier de construction des tunnels ferroviaires de Bejaia.

À travers cette analyse comparative, nous chercherons ainsi à dégager des recommandations et des stratégies pouvant contribuer à l'amélioration de l'organisation des chantiers et à l'optimisation des performances en termes de coûts, délais et qualité.

3.2 Exemple 1 : Prolongement de la ligne du métro (Montréal vers Laval)

3.2.1 Historique :

L'idée du prolongement du métro vers Laval a été évoquée pour la première fois le 21 octobre 1989 lors d'une conférence de presse, tenue peu avant les élections provinciales. À cette occasion, le Premier ministre Robert Bourassa, accompagné des ministres Marc-Yvan Côté et Lise Bacon, ainsi que de Gilles Vaillancourt futur maire de Laval ont présenté le projet initial. Celui-ci prévoyait un prolongement de la ligne 2 jusqu'au boulevard St-Martin, incluant la construction d'un stationnement incitatif près de la carrière Demix. Initialement programmés pour 1991, les travaux ont été reportés de cinq (05) ans sous le gouvernement de Robert Bourassa.

En octobre 1998, l'Agence Métropolitaine de Transport (AMT) reçoit le mandat de superviser la construction de deux nouvelles stations entre la station Henri-Bourassa et le secteur du cégep Montmorency à Laval, avec un budget estimé à 179 millions de dollars. Après plusieurs études préliminaires menées entre 1998 et 2000, le ministre des Transports, Guy Chevrette, autorise en juin 2000 la réalisation du projet, dont le coût total est alors évalué à 378,8 millions de dollars (taxes incluses), entièrement financé par le ministère des Transports du Québec.

La construction du projet est confiée à un seul groupement d'entreprises selon la formule IAGC⁽⁶⁾. En juin 2001, le contrat est attribué au Groupement SGTM², qui collabore avec la Société de transport de Montréal (STM) en tant que sous-traitant exclusif. Le tracé final inclut trois stations et les travaux débutent en octobre 2001.

Après plusieurs révisions budgétaires, le coût du projet atteint 803,6 millions de dollars en 2004, entraînant des retards dans l'ouverture des stations. Finalement, l'inauguration officielle du prolongement du métro à Laval a lieu le 26 avril 2007, avec un coût final de construction de 745 millions de dollars.

3.2.2 Description du projet :

Le prolongement du métro de Montréal vers Laval consiste à ajouter trois nouvelles stations en continuité de la ligne 2 (Orange), à partir de la station Henri-Bourassa. Ce projet inclut également la construction de stationnements incitatifs ainsi que l'aménagement de huit (08) structures auxiliaires.

La première station située sur le territoire lavallois, Cartier, se trouve au niveau du boulevard du même nom. Elle est suivie de la station De la Concorde, implantée à

⁶IAGC : Ingénierie, Approvisionnement et Gestion des Constructions

l'intersection du boulevard de la Concorde et de la voie ferrée du train de banlieue « Blainville/Montréal », offrant ainsi une correspondance avec ce dernier. Enfin, la station terminale Montmorency est localisée à proximité du collège Montmorency.

Ce prolongement ajoute 5,2 kilomètres de tunnels au réseau du métro de Montréal. De plus, 1 807 places de stationnement incitatif sont aménagées, dont 465 places à la station Cartier et 1 342 places à la station Montmorency. Le projet comprend également l'implantation de plusieurs infrastructures, notamment une avant-gare et une arrière-gare, un accès au garage Saint-Charles ainsi que huit structures auxiliaires, telles que des sorties de secours.

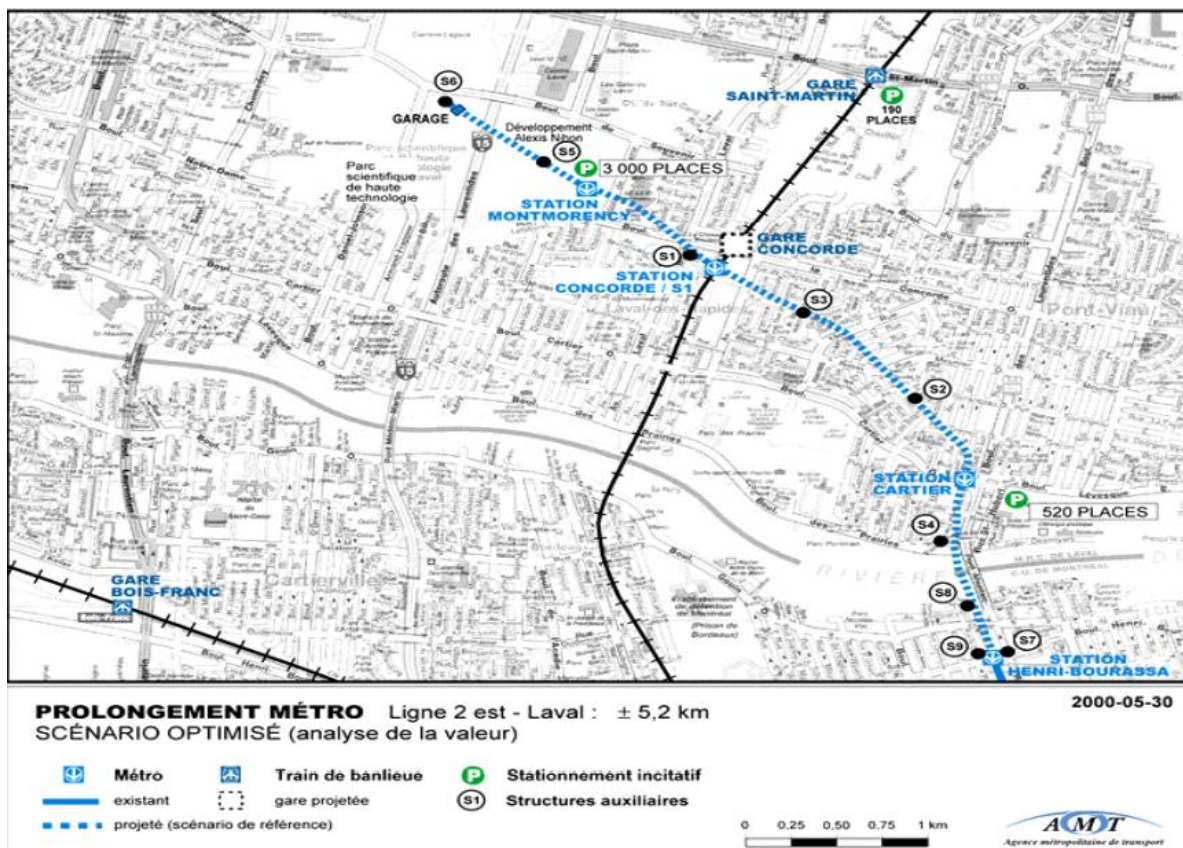


Figure 3- Tracé du projet de prolongement du métro à Laval. (Source : *Le métro de Laval – Aux grands maux, les grands moyens !*, Dossier, Société de transport de Montréal, adaptée par l'auteur)

3.2.3 Un chantier intéressant :

Le prolongement du métro à Laval, au Québec, représente l'un des projets urbains les plus ambitieux de son époque. Ce chantier de grande envergure se distingue non seulement par son ampleur, mais aussi par l'introduction de nombreux équipements

et matériaux innovants pour l'époque, nécessitant une organisation rigoureuse et des moyens techniques considérables.

Les chiffres illustrent l'ampleur du projet :

- Main-d'œuvre : Plus de 700 travailleurs mobilisés au pic des activités.
- Sites de construction : 11 chantiers majeurs répartis entre Montréal et Laval.
- Excavation des tunnels : 5,2 km creusés avec une cadence de 5 à 7 dynamitages par jour entre 2002 et 2004.
- Matériaux et logistiques : 400 000 m³ de roc excavé, nécessitant jusqu'à 250 camions par jour pour l'évacuation.
- Béton et acier : Entre 1 500 et 2 000 m³ de béton coulés quotidiennement et 17 000 tonnes d'acier d'armature utilisées.
- Rails : 25 km de voies ferrées posés.

Ce chantier s'est imposé comme un véritable défi technique et logistique, nécessitant une gestion optimale des ressources, des délais et des contraintes opérationnelles. L'intégration de nouvelles technologies et de méthodes modernes en a fait une référence en matière d'organisation et d'innovation dans le domaine de la construction d'infrastructures de transport en milieu urbain.



Photo 1-Vue plus générale; on aperçoit le CÉGEP au fond, juste au dessus du débouché du tunnel. (Source : EBC inc , www.ebcinc.com)



Photo 2-:« Du haut de cette rampe, quarante mille camions de déblais vous contemplent! ». (Source : EBC inc , www.ebcinc.com)

3.2.4 Approche Fast Track et gestion des délais :

Le prolongement de la ligne Orange du métro de Montréal vers Laval a nécessité une **planification rigoureuse** et une **gestion optimisée des délais** afin de garantir la livraison du projet dans les temps tout en maîtrisant les contraintes techniques et logistiques. Compte tenu de l'ampleur du chantier et de la complexité de son environnement urbain, la **méthode Fast Track** a été adoptée pour accélérer les travaux tout en assurant une coordination efficace entre les différentes parties prenantes.

A. Adoption de la méthode Fast Track : Un choix stratégique

L'approche Fast Track consiste à chevaucher certaines phases du projet au lieu de les exécuter de manière linéaire. Dans le cas du prolongement du métro vers Laval, cette stratégie a permis de lancer la construction avant que tous les plans détaillés ne soient finalisés, ce qui a considérablement réduit la durée globale du chantier.

Ce choix s'est imposé pour plusieurs raisons :

- **Réduction des délais** : En débutant les travaux avant la finalisation complète des études, le projet a pu avancer plus rapidement et éviter des retards inutiles.
- **Optimisation des ressources** : Une meilleure coordination des équipes et des moyens matériels a permis de fluidifier l'exécution des travaux.
- **Gestion des contraintes urbaines** : En raison de l'environnement dense du chantier, il était crucial de limiter l'impact sur la circulation et la vie urbaine en raccourcissant la durée des perturbations.
- **Réponse aux attentes sociales et politiques** : Le projet étant une priorité pour la région, il était impératif de respecter les engagements pris en matière de délais et de mise en service.

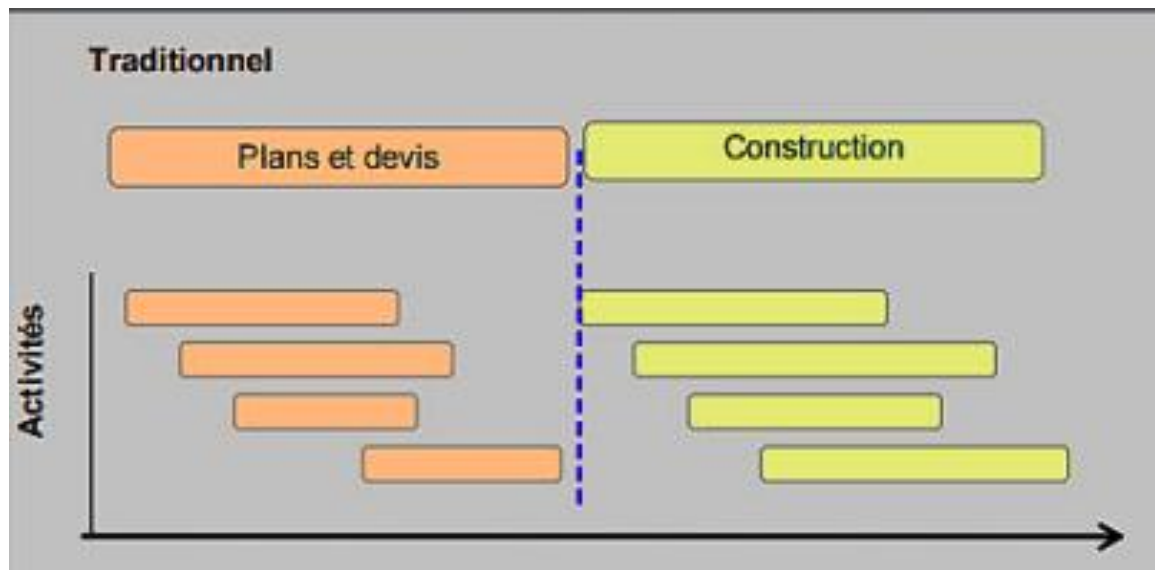


Figure 4- Méthode Traditionnelle. (Source : *Prolongement du métro de Montréal vers Laval*, document partagé sur Scribd, <https://fr.scribd.com/doc/11206471/Prolongement-Du-metro-de-Montreal-Vers-Laval>)

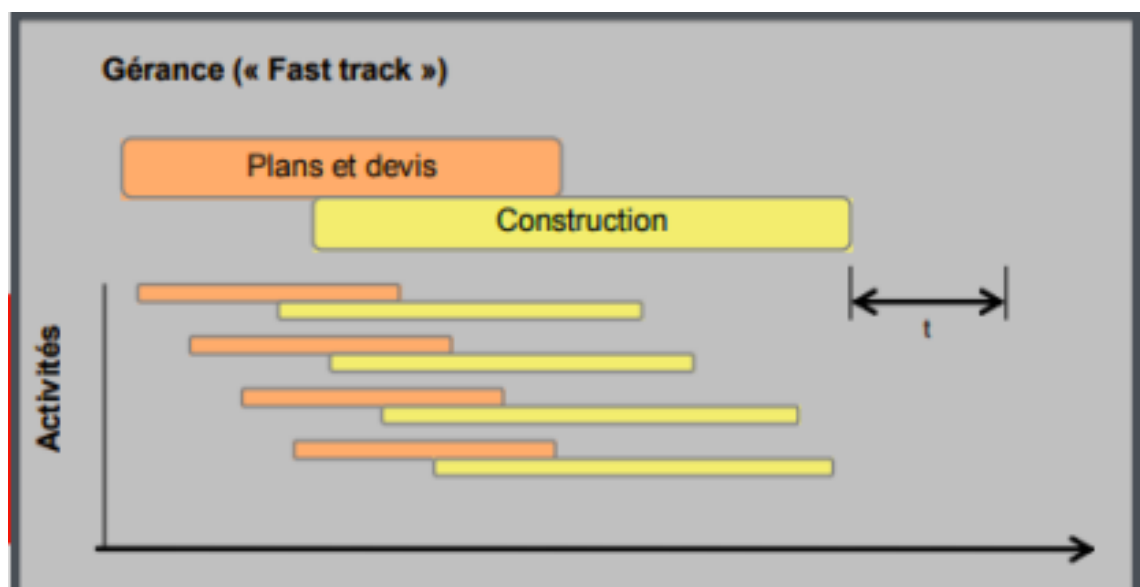


Figure 5- Méthode Fast Track. (Source : *Prolongement du métro de Montréal vers Laval*, document partagé sur Scribd, <https://fr.scribd.com/doc/11206471/Prolongement-Du-metro-de-Montreal-Vers-Laval>)

B. Un respect strict du planning et une année d'essais :

Malgré les défis inhérents à cette méthode, la gestion rigoureuse du chantier a permis de **maintenir le projet dans les délais prévus**. Grâce à une coordination efficace entre les équipes, les différentes phases de construction ont été réalisées sans retards majeurs, démontrant la pertinence de l'approche Fast Track.

Une fois les travaux achevés, une **année complète d'essais** a été menée avant la mise en service du prolongement. Cette période a permis de tester l'ensemble des équipements, d'assurer la fiabilité des infrastructures et de garantir un fonctionnement optimal du métro avant son ouverture au public.

Ce chantier illustre ainsi comment une **planification efficace** et une **stratégie d'exécution accélérée** peuvent permettre de relever des défis techniques et logistiques majeurs, tout en garantissant la qualité et la performance du projet.

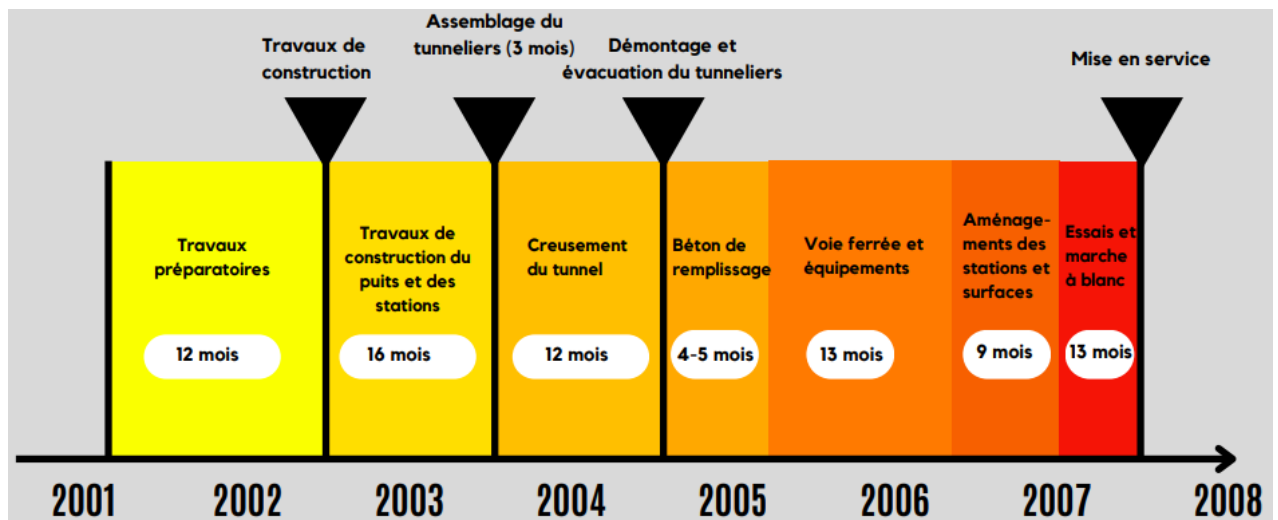


Figure 6- Planning de déroulement des travaux. (Source : *Prolongement du métro de Montréal vers Laval*, document partagé sur Scribd, <https://fr.scribd.com/doc/11206471/Prolongement-Du-metro-de-Montreal-Vers-Laval>)

3.2.5 Les défis rencontrés :

La construction de tunnels présente des défis majeurs liés à la sécurité, à la logistique et à la gestion des risques. Plusieurs contraintes techniques et environnementales doivent être prises en compte pour assurer la bonne exécution du projet tout en garantissant la protection des travailleurs et des infrastructures existantes.

1. Risques d'effondrement

L'excavation souterraine expose le chantier à des risques élevés d'effondrement, en particulier dans des terrains instables ou faiblement consolidés. L'application de la méthode autrichienne implique une surveillance continue du front de taille et la mise en place de soutènements adaptés (béton

projeté, cintres métalliques, boulonnage) pour garantir la stabilité de l'ouvrage et éviter les accidents.

2. Risques d'incendie

La cohabitation de machineries lourdes, de sources d'inflammation (soudure, moteurs diesel) et d'explosifs accroît significativement le risque d'incendie en milieu souterrain. La mise en place de dispositifs de prévention, tels que des systèmes de détection et d'extinction automatiques, ainsi que la formation des équipes aux protocoles d'urgence, est essentielle pour limiter ces dangers.

3. Risques d'inondation

Lorsque le tracé d'un tunnel traverse une zone aquifère ou un cours d'eau, comme c'est le cas sous la rivière des Prairies dans le projet de référence, le risque d'infiltration ou d'inondation devient un défi majeur. La gestion de ces risques repose sur l'application de techniques adaptées, telles que le drainage, le cuvelage étanche et le pompage en continu, afin de maintenir un environnement de travail sécurisé.

4. Ventilation et qualité de l'air

Les travaux souterrains sont souvent confrontés à des problèmes de ventilation, notamment en raison de l'accumulation de poussières, de gaz toxiques et de fumées d'explosifs ou de moteurs thermiques. Un système de ventilation performant est indispensable pour renouveler l'air, évacuer les contaminants et garantir des conditions de travail acceptables pour les ouvriers.

5. Utilisation d'explosifs et gestion des tirs de mine

Le recours aux explosifs pour l'excavation de tunnels exige des protocoles de sécurité stricts pour éviter les accidents et limiter les vibrations susceptibles d'endommager les structures environnantes. Chaque tir de mine doit être minutieusement planifié, en tenant compte des paramètres géologiques et des risques associés, tout en assurant la protection des travailleurs et des équipements.

6. Problématiques de communication en milieu souterrain

L'un des défis majeurs en construction souterraine est la mise en place d'un

système de communication fiable. En raison des interférences causées par les engins, les matériaux rocheux et la profondeur du tunnel, l'utilisation de technologies adaptées, telles que des réseaux filaires, des systèmes radio spécifiques ou des balises relais, est indispensable pour assurer une coordination efficace entre les équipes de terrain et les responsables du chantier.

3.2.6 Les actions menées :

Face aux nombreux défis posés par la construction souterraine, plusieurs actions ont été mises en œuvre pour assurer la sécurité des travailleurs, prévenir les risques et garantir le bon déroulement des opérations. Ces mesures reposent sur une approche proactive intégrant la planification, la formation, la surveillance continue et l'amélioration des protocoles en fonction de l'évolution du chantier.

- **Planification et prévention des risques**

Avant le début des travaux, une évaluation approfondie des risques a été réalisée par des experts en ingénierie et en sécurité afin d'anticiper les dangers spécifiques au chantier. Cette analyse a permis d'identifier les zones sensibles et d'adopter des mesures préventives adaptées, telles que la mise en place de soutènements renforcés, la gestion du risque incendie et l'optimisation des flux d'air pour garantir des conditions de travail sécurisées.

- **Mise en place d'une équipe de secours spécialisée**

Une équipe de secours dédiée, composée de six spécialistes en intervention d'urgence, a été déployée sur le site avec une équipe de relève disponible en permanence. Cette unité avait pour mission d'intervenir rapidement en cas d'incident, qu'il s'agisse d'un effondrement, d'un incendie ou d'une autre situation critique. Son rôle incluait également l'assistance médicale et l'évacuation des travailleurs en cas de nécessité.

- **Formation spécifique des pompiers aux interventions souterraines**

Compte tenu des conditions particulières des travaux en tunnel, les pompiers affectés à la surveillance du chantier ont bénéficié d'une formation spécialisée. Celle-ci portait notamment sur les techniques de lutte contre les incendies en milieu confiné, l'usage d'équipements de protection respiratoire et les procédures

d'évacuation adaptées aux tunnels. Ces sessions de formation ont permis d'accroître l'efficacité des interventions en cas d'urgence.

- **Exercices de simulation et gestion des situations d'urgence**

Afin de tester et d'améliorer les protocoles de sécurité, des exercices de simulation ont été réalisés régulièrement sur le chantier. Ces mises en situation ont permis aux équipes de se familiariser avec les procédures d'évacuation, de coordination des secours et de gestion des incendies. Ces simulations ont également servi à identifier d'éventuelles failles dans l'organisation des secours et à ajuster les dispositifs en conséquence.

- **Amélioration des systèmes de communication en milieu souterrain**

La transmission des informations en temps réel constituant un enjeu crucial pour la coordination des travaux et la gestion des situations d'urgence, un système de communication performant a été installée dans le tunnel. Ce dispositif comprenait des répéteurs de signal pour garantir une couverture constante, ainsi que des systèmes de communication d'urgence permettant une liaison instantanée entre les travailleurs et le poste de commandement du chantier.

- **Surveillance continue et contrôle des protocoles de sécurité**

Une surveillance rigoureuse a été mise en place tout au long du chantier grâce à des inspections régulières menées par des comités de sécurité. Ces inspections visaient à s'assurer du respect strict des protocoles établis et à identifier d'éventuels ajustements à apporter en fonction de l'évolution des travaux. La collecte de données en temps réel et les retours d'expérience ont permis d'améliorer continuellement les dispositifs en place et d'optimiser les mesures de protection des travailleurs.



Photo 3- Ventilation et Eclairage des tunnels. (Source : *Le métro de Laval – Aux grands maux, les grands moyens !*, Dossier, Société de transport de Montréal, adaptée par l'auteur)



Photo 4-Formation spécifique des pompiers aux interventions souterraine.
(Source : *Le métro de Laval – Aux grands maux, les grands moyens !*, Dossier, Société de transport de Montréal. adaptée par l'auteur)



Photo 5-Surveillance continue et contrôle des protocoles de sécurité. (Source : *Le métro de Laval – Aux grands maux, les grands moyens !*, Dossier, Société de transport de Montréal. adaptée par l'auteur)

3.3 Exemple 2 : Le Grand Paris express

3.3.1 Introduction :

L'aménagement des grandes métropoles contemporaines passe de plus en plus par la réalisation d'infrastructures de transport ambitieuses, capables de répondre à des enjeux croissants de mobilité, d'aménagement du territoire, et de développement durable. C'est dans ce contexte que s'inscrit le Grand Paris Express, l'un des projets de transport les plus vastes et complexes d'Europe, qui vise à transformer durablement la région Île-de-France. À travers la création de nouvelles lignes de métro et le prolongement de lignes existantes, ce projet vise à améliorer la qualité de vie des Franciliens, à renforcer la cohésion territoriale et à accompagner la mutation économique de la région.

3.3.2 Présentation du Gand Paris Express : (Un projet hors norme)

Le **Grand Paris Express** est un projet d'infrastructure majeur visant à transformer le réseau de transports publics en Île-de-France. Il comprend la **création de quatre (04) nouvelles lignes de métro automatique** (les lignes **15, 16, 17 et 18**) et le **prolongement de la ligne 14** au nord jusqu'à Saint-Denis Pleyel et au sud jusqu'à Orly. Ce nouveau réseau représente au total environ **200 kilomètres de lignes** supplémentaires, soit **l'équivalent du réseau actuel du métro parisien**, et **68 nouvelles gares**, dont **80 % offriront des correspondances** avec les lignes de métro, RER, tramway et bus existantes.

Prévu pour transporter **près de 3 millions de voyageurs par jour**, ce métro automatique de grande capacité permettra désengorger les lignes existantes et de **désenclaver les territoires périurbains** peu desservis, tout en facilitant les trajets de banlieue à banlieue **sans passer par Paris**.

3.3.3 Objectifs du Projet :

Ce projet d'intérêt général découle d'un large débat public qui a mobilisé plus de **22 000 participants**, et répond à plusieurs objectifs fondamentaux :

- **Fluidifier les déplacements** en banlieue, sans passer par Paris.
- **Réduire les inégalités territoriales** d'accès aux transports.
- **Réorganiser les mobilités** en Île-de-France de manière durable.
- **Dynamiser l'aménagement urbain** autour des nouvelles gares.
- **Créer des opportunités économiques**, notamment pour les PME et les territoires traversés.

3.3.4 Une gouvernance centralisée face à un chantier d'une complexité exceptionnelle :

La **Société des grands projets** (SGP), en charge de la maîtrise d'ouvrage, pilote ce chantier depuis 2016. Elle agit en concertation avec les acteurs locaux, les collectivités, et les opérateurs de transport, dans un esprit de dialogue permanent avec les riverains. La complexité du projet réside non seulement dans son ampleur technique (travaux souterrains en zone urbaine dense), mais aussi dans la coordination de multiples chantiers simultanés sur un territoire vaste et habité.

3.3.5 Lignes du Grand Paris Express :

Le Grand Paris Express comprend quatre nouvelles lignes de métro automatique et le prolongement d'une ligne existante, organisées pour desservir efficacement la petite et grande couronne de l'Île-de-France. Ces lignes sont pensées pour favoriser les déplacements de banlieue à banlieue, désengorger les axes existants et connecter les pôles majeurs de développement économique, scientifique et résidentiel.

Tableau 2-Liste des lignes du projet

Ligne	Longueur	Nombre de gares	Zones desservies	Particularités
Ligne 15	~ 75 km	39	-Boucle de paris(rocade sud, ouest, est)	-Ligne circulaire entièrement souterraine
Ligne 16	~ 29 km	10	-Seine-Saint-Denis, Clichy-sous-Bois, Noisy	-Relie des territoires prioritaires au métro parisien
Ligne 17	~ 26 km	9	-Parc des Expositions, Roissy-CDG	-Passe par l'aéroport Charles-de-Gaulle
Ligne 18	~ 35 km	10	-Versailles – Massy – Plateau de Saclay – Orly	-Axe stratégique pour la recherche et les grandes écoles
Ligne 14 (prolongement)	~ 28 km	12	-Saint-Denis Pleyel au nord, Orly au sud	-Renforce l'axe nord-sud du métro existant

La carte suivante permet de situer les lignes du Grand Paris Express et de comprendre leur maillage à l'échelle de la métropole francilienne.

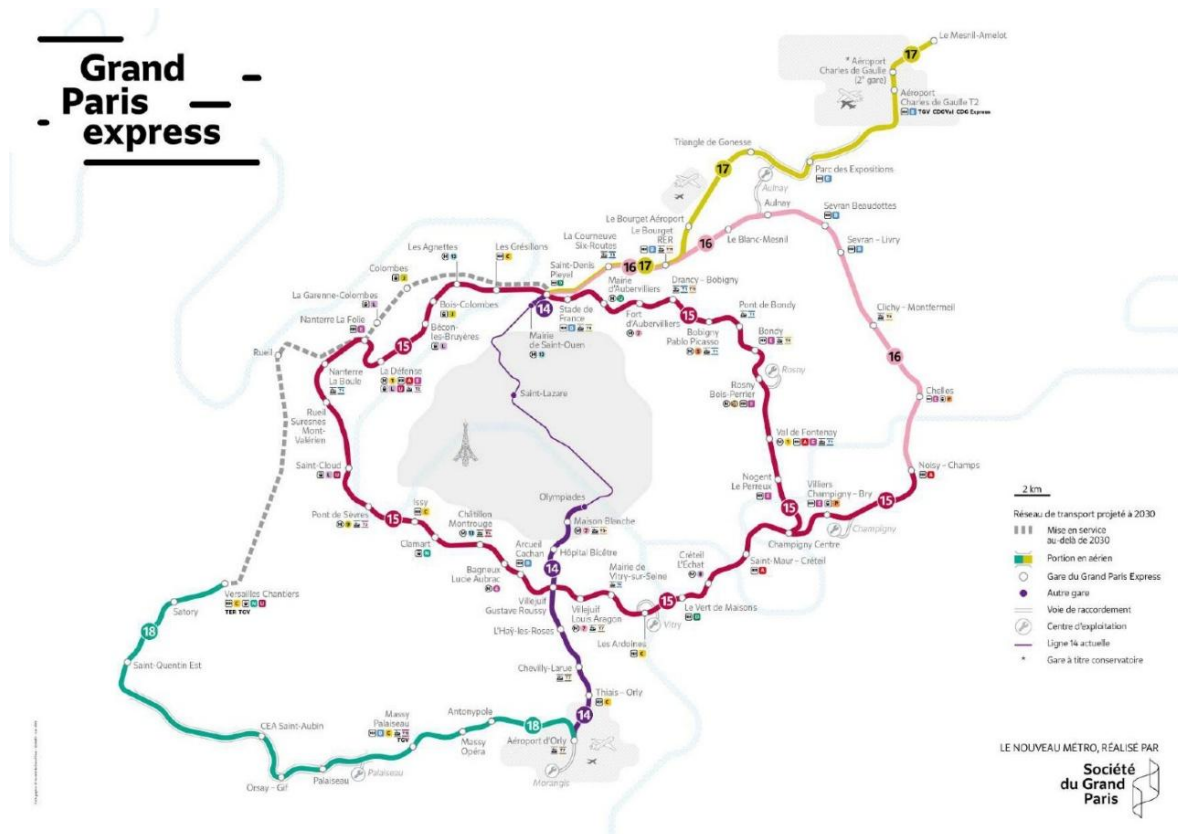


Figure 7-Carte des lignes du Grand Paris Express. (Source : Grand paris express, Adapté par l'auteur)

3.3.6 Le Grand Paris express avance bien :

Depuis le lancement des travaux en 2016, le Grand Paris Express a connu une avancée significative, traduisant l'ampleur du chantier en cours sur l'ensemble de l'Île-de-France. À ce jour :

- Sept (07) nouvelles gares ont été mises en service, notamment sur la ligne 14, prolongée vers **Saint-Denis Pleyel au nord** et l'**aéroport d'Orly au sud**.
- Plus de **110 kilomètres de galeries souterraines** ont été creusés grâce aux tunneliers.
- Environ **90 kilomètres de voies doubles** ont été posés, un indicateur clé du rythme de transformation du réseau.
- **Deux tunneliers sont actuellement en cours de creusement** :
 - **Awa**, sur la **ligne 18**, entre Massy et Orly.
 - **Virginie**, sur la **ligne 17**, dans la zone du triangle de Gonesse.

Ces avancées témoignent de la mobilisation continue des acteurs du projet, malgré la complexité du chantier, les défis techniques et les contextes urbains variés.

3.4 La ligne 15 du Grand Paris Express : une rocade stratégique

La ligne 15 constitue l'un des axes majeurs du Grand Paris Express. Elle est conçue comme une grande rocade souterraine qui contournera Paris en reliant directement les communes de la petite et moyenne couronne, sans passer par les lignes de métro radiales existantes. Ce projet vise à fluidifier les déplacements inter-banlieues, à désengorger les réseaux actuels et à accompagner le développement urbain de l'Île-de-France.

Longue de près de **75 km** au total, la ligne 15 est divisée en **trois tronçons** indépendants mais complémentaires, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 3-Les trois tronçons de la ligne 15 du Grand Paris Express

Tronçon	Longueur	Nombre de gares	Mise en service prévue
Ligne 15 Sud	~37 km	16	-Quatrième trimestre 2026
Ligne 15 Est	~23 km	12	-Horizon 2030
Ligne 15 Ouest	~16 km	11	-Horizon 2030

Dans le cadre de ce mémoire, l'analyse portera plus particulièrement sur le tronçon sud, qui constitue le segment le plus avancé du projet, et dont le chantier illustre de manière exemplaire les défis liés à la gestion et à l'organisation d'un grand chantier d'infrastructure en milieu urbain dense.

3.4.1 Le Tronçon 15 sud avance bien :

Le tronçon sud de la ligne 15 est l'un des segments les plus emblématiques du Grand Paris Express. S'étendant sur **37 kilomètres** (dont **33 km** de tunnel voyageurs et **4 km** de raccordements techniques), il traverse **22 communes** et reliera à terme des pôles majeurs de l'Île-de-France comme Pont de Sèvres, Villejuif, Créteil et Champigny.

Ce chantier hors norme a mobilisé **10 tunneliers**, **5 groupements** d'entreprises et des **milliers de compagnons** pendant plus de **3 ans**. Le creusement du tunnel s'est achevé en décembre 2021 avec l'arrivée du **tunnelier Marina** à la gare **Créteil l'Échat**. La mise en service de la ligne est prévue pour 2025, après les phases d'aménagement et d'équipement actuellement en cours.

3.4.2 Chiffres clés du tronçon sud de la ligne 15 :

Tableau 4- Caractéristique du tronçon ligne 15 Sud

Caractéristique	Donnée
Longueur totale	37 km (33 km de tunnel voyageurs + 4 km techniques)
Nombre de gares	16
Nombre de communes traversées	22
Nombre de tunneliers mobilisés	10 (dont Ellen utilisé deux fois)
Diamètre du tunnel	Environ 10 mètres
Nombre d'anneaux constitués	18 500
Nombre de voussoirs posés	128 000
Nombre de groupements d'entreprises	5 principaux
Fin du creusement du tunnel	20 décembre 2021
Mise en service prévue	Fin 2026

3.4.3 Organisation du creusement et acteurs mobilisés :

Afin de coordonner efficacement un projet d'une telle ampleur, plus de 5000 personnes ont été mobilisées tout au long du chantier. Le creusement du tunnel a été réparti entre cinq groupements d'entreprises, chacun intervenant sur un tronçon bien défini de la ligne 15 Sud. Le tableau (tableau-5) suivant présente la répartition de ces groupements selon leur zone d'intervention.

Tableau 5- Organisation du creusement du tunnel de la ligne 15 Sud par tronçons

Groupe ment d'entreprises	Mandataire	Section concernée
Groupe ment CAP	Vinci Construction	De Fort d'Issy–Vanves–Clamart à Villejuif Louis-Aragon
Groupe ment Horizon	Bouygues Travaux	De Sèvres (Puits Ile de Monsieur) à Fort d'Issy–

	Publics	Vanves–Clamart et Villejuif à Créteil
Groupeement Eiffage – Razel-Bec	Eiffage	De Créteil l'Échat à Bry–Villiers–Champigny
Groupeement Alliance	Demathieu Bard	De Bry–Villiers–Champigny à Noisy–Champs
Groupeement Léon Grosse / Dacquin	Léon Grosse	Arrière-gare Noisy–Champs

3.4.4 Organisation du creusement et acteurs mobilisés :

Le tronçon sud de la ligne 15 s'étend sur environ 33 kilomètres, reliant Pont de Sèvres à Noisy-Champs. Ce tracé traverse plusieurs communes d'Île-de-France et comprend 16 gares souterraines, conçues pour assurer une meilleure interconnexion entre les réseaux de transport existants.



Figure 8-Carte schématique du tracé. (Source : Grand paris express, Adapté par l'auteur)

3.4.5 Etat d'avancement des travaux :

A- Calendrier "Prévisionnel initial :

Lors de la phase de planification, débutée à la **fin des années 2010**, les autorités en charge du projet anticipaient une mise en service de la **ligne 15 Sud** pour l'**année 2023**. Le schéma ci-dessous (figure-9) présente le **calendrier prévisionnel initial** tel qu'il avait été établi à l'époque.

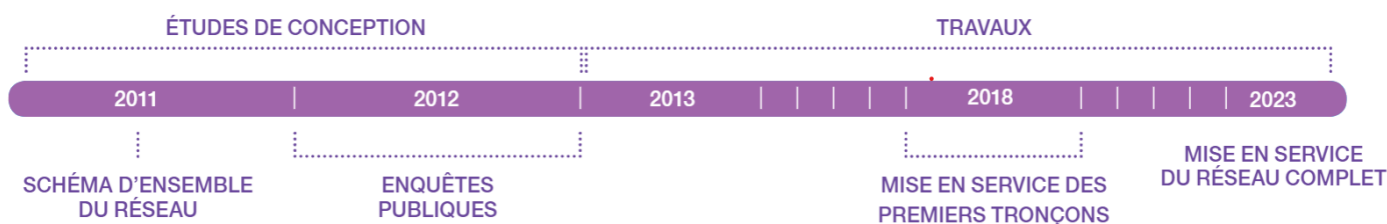


Figure 9- Planning prévisionnel initial de la ligne 15 sud. (Source : Grand paris express, Adapté par l'auteur)

Comme on peut le voir dans la figure, le projet a connu une première phase de conception entre **fin 2010 et fin 2012**, marquée notamment par la définition du **schéma d'ensemble du réseau** en 2011, puis par l'**enquête publique** en 2012. À partir de là, les **travaux proprement dits** ont été lancés et se sont étendus sur plus d'une décennie, de **fin 2012 jusqu'à fin 2023** selon le calendrier initial. Une **mise en service partielle** de certains tronçons était envisagée dès **2018**, avec pour objectif une **ouverture complète du réseau** à la **fin de l'année 2023**.

B- Calendrier des travaux :

Depuis le lancement des premiers travaux préparatoires en 2015, le tronçon Sud de la ligne 15 du Grand Paris Express a franchi plusieurs étapes importantes, allant du creusement des tunnels à l'équipement des gares. Le tableau 6 suivant retrace les principales phases du calendrier du projet :

Tableau 6-Les principales Phases du Calendrier des Travaux. (Source : Grand paris express, Adapté par l'auteur)

Date	Étape clé
Mars 2015	Premiers travaux préparatoires
Juin 2016	Démarrage des travaux de construction (génie civil)
Avril 2018	Lancement du premier tunnelier
Juillet 2021	Début des travaux d'aménagement et d'équipement
Décembre 2021	Fin du creusement du tunnel de la ligne 15 Sud
Novembre 2023	Premier roulage du Grand Paris Express au Centre d'exploitation de Champigny
Avril 2024	Dernière soudure des rails de la ligne
Été 2024 (en cours)	Premiers essais

Fin 2026	Mise en service prévue de la ligne 15 Sud
----------	---

Afin de mieux visualiser l'état d'avancement du projet, voici quelques images issues des différentes phases de réalisation du tronçon Sud de la ligne 15 :



Photo 6- Derniers tours de coupe du tunnelier Marina. (Source : Grand paris express, Adapté par l'auteur)



Photo 7- Mise en rame et roulage manuel. (Source : Grand paris express, Adapté par l'auteur)

C- Comparaison des deux calendriers :

En comparant les deux calendriers, on constate un **décalage notable** entre ce qui avait été prévu et ce qui a réellement été réalisé. Initialement, la mise en service complète de la ligne 15 Sud était programmée pour **fin 2023**. Or, selon l'état actuel du chantier, elle n'interviendrait pas avant **fin 2026**, soit **environ trois ans de retard**. Les travaux préparatoires, qui devaient commencer dès 2012, n'ont effectivement débuté qu'en **mars 2015**, et le **lancement du premier tunnelier** n'a eu lieu qu'en **2018**. Le **creusement du tunnel** s'est terminé en **2021**, bien au-delà des premières estimations.

Ces décalages illustrent les **difficultés fréquentes dans la conduite de grands projets urbains**, liées à la complexité technique, aux contraintes réglementaires et aux imprévus en phase d'exécution.

D- État d'avancement des gares :

En parallèle de l'équipement du tunnel, les travaux d'aménagement des 16 gares de la ligne 15 Sud progressent activement. Les bâtiments voyageurs émergent progressivement dans chaque commune concernée, avec des architectures singulières pensées en lien avec le contexte urbain. Cette section revient sur l'état d'avancement des équipements techniques et architecturaux.

Le tableau 7 au-dessous représente l'état d'avancement de chaque gare : (données de 2021)

Tableau 7-Liste des gares avec leurs taux d'avancement (Donnés 2021). (Source : Grand paris express, Adapté par l'auteur)

Nom de la Gare	Taux d'avancement
Noisy – Champs	79 %
Bry – Villiers – Champigny	96 %
Champigny Centre	58 %
Saint-Maur – Créteil	63 %
Créteil l'Échat	80 %
Le Vert de Maisons	73 %
Les Ardoines	98 %

Vitry Centre	97 %
Villejuif – Louis Aragon	93 %
Villejuif – Institut Gustave-Roussy	100 %
Bagneux	97 %
Arcueil – Cachan	93 %
Châtillon – Montrouge	92 %
Fort d'Issy – Vanves – Clamart	100 %
Issy RER	29 %
Pont de Sèvres	44 %

- Ces données datent de 2021, depuis certaines gares ont été achevées ou sont en phase de finition.
- Les écarts de pourcentage reflètent les particularités techniques et architecturales de chaque site, ainsi que les défis rencontrés localement (géologie, expropriations, accès...etc.).

À l'échelle de l'ensemble du tronçon sud, les équipements techniques en gare sont en cours d'installation :

- **Escaliers mécaniques** : 299 prévus, 183 posés.
- **Ascenseurs** : 157 prévus, **42 posés** (81 fabriqués). Accessibilité complète visée.
- **Portes palières** : 576 prévues. 10 gares sur 16 équipées à ce jour.



Photo 8-Gare Villejuif – Institut Gustave-Roussy. (Source : Grand paris express, Adapté par l'auteur)



Photo 9-Gare Fort d'Issy-Vanves-Clamart (En cours). (Source : Grand paris express, Adapté par l'auteur)

3.4.6 Défis rencontrés dans la réalisation du tronçon sud :

-Contraintes géotechniques et environnementales :

La complexité du sous-sol francilien, caractérisée par la présence de nappes phréatiques, de sols argileux et de carrières souterraines, a nécessité des études géotechniques approfondies et des adaptations des méthodes de construction. Par exemple, à Créteil l'Échat, des opérations de comblement des anciennes carrières ont été réalisées avant le creusement du tunnel.

- Complexité organisationnelle et coordination multi-acteurs :

La réalisation de la ligne 15 Sud implique la coordination de multiples acteurs : maîtres d'ouvrage, entreprises de construction, collectivités locales, et opérateurs de transport. Cette multiplicité d'intervenants a rendu la gestion du projet particulièrement complexe, nécessitant une organisation rigoureuse et une communication efficace entre les parties prenantes.

- Retards et replanification :

Des retards ont été enregistrés dans le calendrier initial du projet, notamment en raison de la pandémie de COVID-19, qui a perturbé les chaînes d'approvisionnement et les conditions de travail sur les chantiers. Ces imprévus ont conduit à une replanification des échéances et à une adaptation des méthodes de travail pour respecter les nouvelles contraintes sanitaires.

- Nuisances et acceptabilité sociale :

Les travaux ont généré des nuisances pour les riverains : bruit, poussière, perturbations de la circulation. Des efforts ont été déployés pour minimiser ces impacts, notamment par la mise en place de dispositifs d'information et de concertation avec les habitants. Cependant, des tensions ont parfois émergé, soulignant l'importance de la gestion de l'acceptabilité sociale dans les projets d'infrastructure de grande envergure.

- Diversité architecturale des gares et adaptation de la gestion de chantier :

Le projet de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express se distingue par la conception unique de chacune des 16 gares, confiée à différents architectes. Cette diversité architecturale a nécessité des adaptations spécifiques dans l'organisation des

travaux, tant au niveau des matériaux que de la coordination des équipes sur chaque site, ce qui a ajouté une couche de complexité dans la planification globale du chantier.

- Défis techniques du projet :

La réalisation de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express a été confrontée à plusieurs défis techniques majeurs, notamment en raison de :

- La **profondeur importante** de certaines stations (jusqu'à 75 mètres, comme à la station Vert de Maisons).
- La **densité urbaine** du tracé, nécessitant une adaptation constante aux contraintes du milieu construit (réseaux existants, proximité des bâtiments, etc.).
- La nécessité de maintenir **des cadences élevées** pour respecter le calendrier malgré ces contraintes.

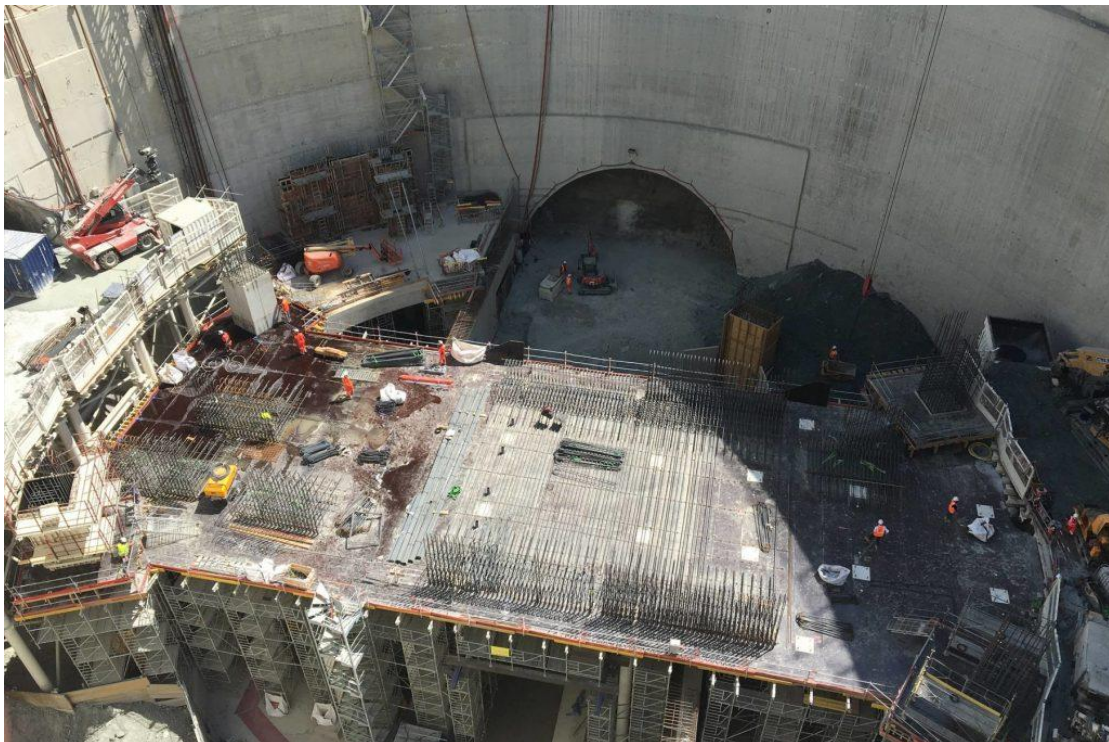


Photo 10-Profondeur importante de certaines stations (Source : chryso).

3.4.7 Actions mises en place pour faire face aux défis :

Face aux nombreux défis techniques, logistiques et humains, plusieurs solutions ont été déployées pour garantir l'avancement du chantier dans de bonnes conditions. Ces actions relèvent à la fois de l'ingénierie, de l'organisation de chantier, et de l'intégration urbaine.

- **Solutions techniques** :

- **Utilisation de bétons innovants** comme le **CHRYSO®Optima 1340**, permettant un maintien d'ouvrabilité prolongée et garantissant la qualité du béton dans les fondations profondes.
- **Mise en œuvre de tunneliers de dernière génération**, capables de creuser dans des sols variés avec un contrôle précis de la pression du terrain.
- **Aménagement de puits de ventilation** et d'accès temporaires, facilitant le travail en grande profondeur.

- **Gestion de chantier en milieu urbain** :

- **Travail de nuit ou en horaires décalés** pour limiter l'impact sur la circulation et les riverains.
- **Communication constante avec les habitants** (réunions publiques, bulletins d'informations, site web dédié) pour anticiper les nuisances.
- **Palissades acoustiques**, arrosage des zones de stockage pour réduire les nuisances sonores et la poussière.

- **Installation par phases des équipements en gare**:

- Équipements posés progressivement pour limiter les interférences :
 - 299 escaliers mécaniques (183 posés).
 - 157 ascenseurs (42 posés, 100% accessibilité visée).
 - 576 portes palières (10 gares équipées).
- Cette démarche permet une gestion fine des délais et une meilleure organisation des tâches entre entreprises.

- **Coordination organisationnelle** :

- **Pilotage multi-acteurs :**

- Travail conjoint entre les cinq (05) grands groupements d'entreprises.
- Suivi centralisé via outils numériques pour le reporting et la coordination.
- Optimisation des plannings et limitation des conflits d'intervention.



Photo 11-Aménagement de puits de Ventilations (Source : chryso).

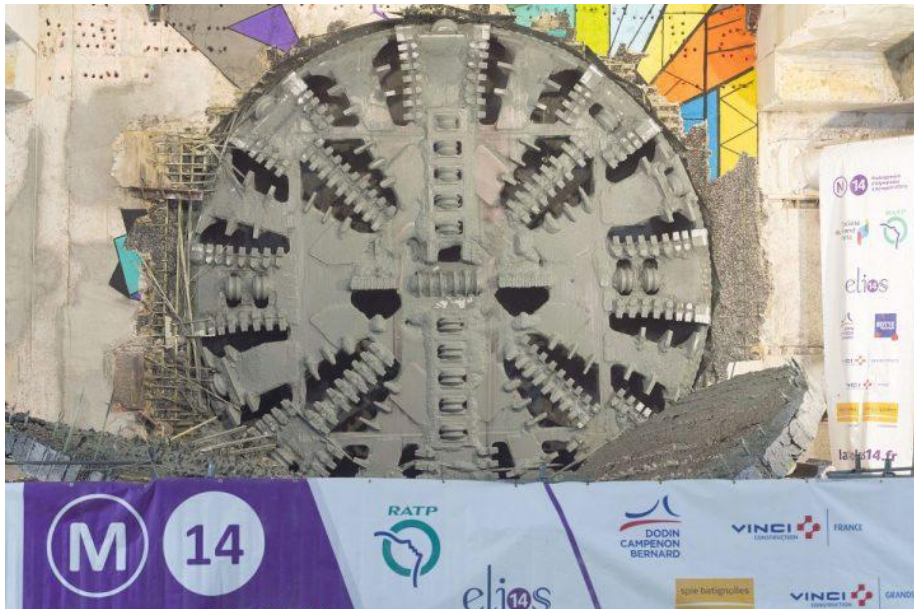


Photo 12- Tunnelier de dernière génération (Source: Vinci-construction)

3.5 Synthèse comparative :

Afin de mieux comprendre les enjeux contemporains liés à la gestion et à l'organisation de grands chantiers d'infrastructure, une comparaison entre deux (02) projets internationaux a été réalisée. Le tableau suivant synthétise les principales caractéristiques, défis et stratégies mises en œuvre dans le prolongement de la ligne orange du métro de Montréal et la ligne 15 Sud du Grand Paris Express.

Tableau 8-Synthèse comparative des deux (02) projets

Critères	Ligne orange Montréal (Canada)	Ligne 15 sud-Grand paris express
Méthodologie de gestion de projet	-Méthode Fast-Track utilisée pour accélérer la livraison : lancement des travaux avant finalisation complète des études.	-Planification classique mais rigoureuse, réajustée suite aux imprévus (COVID-19, retards).
Méthode de creusement	-Méthode autrichienne (NATM) avec soutènements progressifs.	-Utilisation de tunneliers de dernière génération pour le creusement continu et sécurisé.
Risques majeurs	-Effondrements, incendies, inondations, ventilation insuffisante.	-Contraintes géotechniques, coordination complexe, retards, nuisances urbaines.
Mesures de sécurité	-Surveillance continue du front de taille, prévention incendie, ventilation et drainage renforcés.	-Équipe de secours spécialisée, formations pompiers, exercices de simulation, suivi des protocoles.
Organisation de chantier	-Approche rapide avec Fast-Track, gestion par priorisation des zones critiques.	-Phasage fin, travail de nuit, suivi centralisé par outils numériques, coordination multi-acteurs.

Spécificités techniques	-Gestion des risques liés au passage sous la rivière des Prairies.	-Stations très profondes (jusqu'à 75 m), densité urbaine extrême, adaptation aux réseaux existants.
Aspects sociaux	-Moins mis en avant dans les sources disponibles.	-Acceptabilité sociale fortement prise en compte (concertation, dispositifs d'atténuation des nuisances).
Innovation	-Intégration efficace d'une méthode de gestion accélérée (Fast-Track) + méthode autrichienne.	-béton performant, coordination inter-entreprises, et pose progressive des équipements pour optimiser le chantier.

3.6 Conclusion

À travers l'analyse comparative de deux projets d'envergure internationale, le prolongement de la ligne orange du métro de Montréal et la ligne 15 Sud du Grand Paris Express, ce chapitre a permis de mettre en évidence la complexité croissante des chantiers urbains contemporains. Qu'il s'agisse de la gestion des risques techniques, de la coordination multi-acteurs, ou encore de la mise en place de solutions innovantes, ces projets illustrent la nécessité d'une organisation de chantier rigoureuse, flexible et adaptée aux spécificités du contexte.

L'exemple canadien a notamment démontré l'intérêt d'une gestion accélérée de type **Fast-Track**, permettant un gain de temps tout en maîtrisant les risques grâce à la méthode autrichienne de creusement. De son côté, le projet francilien a révélé l'importance d'une approche intégrée combinant innovation technique, communication avec les riverains et gestion fine de la diversité architecturale des gares.

Ces retours d'expérience internationale offrent ainsi un éclairage précieux sur les bonnes pratiques en matière de gestion de chantier, et constituent un cadre de référence utile pour aborder le cas d'étude analysé dans la suite de ce mémoire.

Chapitre 3 : Cas d'étude

Chapitre 3 : Cas d'étude

4.1 INTRODUCTION GENRAL :

Dans le cadre de notre travail de recherche portant sur la gestion et l'organisation de chantier, il nous a semblé pertinent de choisir un projet d'envergure afin d'analyser concrètement les différentes problématiques liées à la gestion technique, humaine, financière et temporelle d'un chantier. À cet effet, nous avons retenu comme cas d'étude **le chantier de réalisation de trois (03) tunnels ferroviaires dans la wilaya de Bejaia**, un projet régional majeur qui inscrit dans le programme de modernisation de la ligne ferroviaire reliant Bejaia à Beni Mansour.

Ce projet vise à **moderniser et sécuriser le transport ferroviaire** dans une région à fort potentiel économique et touristique, tout en améliorant la vitesse et la fluidité du trafic ferroviaire. La réalisation de ces tunnels représente un défi technique important en raison des contraintes géologiques, topographiques et environnementales spécifiques à la région.

À travers cette étude, nous chercherons à comprendre **comment ce chantier est organisé et géré à différentes échelles** : administrative, humaine, technique et logistique. Nous analyserons également les méthodes de creusement adoptées, la gestion des ressources, ainsi que les problèmes rencontrés et les solutions mises en œuvre pour les surmonter.

Ainsi, cette partie a pour objectif de **mettre en lumière les réalités pratiques de la gestion de chantier**, en comparant les données théoriques étudiées dans les parties précédentes avec les réalités de terrain observées sur ce projet spécifique.

4.2 Cas d'étude : REALISATION DE TROIS TUNNELS DES TRAVAUX DE DEDOUBLEMENT DE LA VOIE ET RECTIFICATION DE TRACE POUR AUGMENTATION DE LA VITESSE A 160 KM/H DE LA LIGNE BENI-MANSOUR/BEJAIA

A-Contexte historique et construction initial :

La ligne ferroviaire reliant **Bejaia à Beni Mansour** constitue l'un des ouvrages majeurs du réseau ferroviaire algérien mis en place à l'époque coloniale. Elle a été **concedée à la Compagnie de l'Est Algérien le 21 mai 1884**, dans le cadre de la

politique coloniale de développement des infrastructures de transport, visant notamment à **désenclaver la Kabylie** et à faciliter l'acheminement des richesses locales (produits agricoles, bois, minerais) vers le port de Bejaia.

Sa construction, rendue particulièrement complexe par la **topographie accidentée et montagneuse** de la région, a nécessité la réalisation de nombreux **ouvrages d'art** : tunnels, ponts, viaducs, murs de soutènement, afin de franchir les vallées profondes et les reliefs escarpés.

L'ouverture au trafic s'est faite en deux étapes :

- **Le 10 décembre 1888**, la première portion entre **Bejaia et Tazmalt** (81 km) est mise en service.
- Puis, **le 24 mars 1889**, la ligne est définitivement reliée à **Beni Mansour**, assurant ainsi la jonction avec la ligne ferroviaire Alger – Sétif.



Photo 13- Etat actuels de la ligne ferroviaire. (Source : TPF - Projet de duplication de la ligne ferroviaire Beni Mansour - Béjaïa, <https://tpf.pt/obra.php?s=ferrovias&p=duplicacao-da-linha-ferroviaria-beni-mansour-bejaia&lang=fr>)

B-Rôle et évolution de la ligne :

Depuis sa mise en service, cette ligne a joué un **rôle stratégique** pour la région et au-delà :

- **Économique** : transport de marchandises (produits agricoles, minerais, bois).
- **Social** : transport des passagers, reliant la Kabylie au reste du pays.
- **Portuaire** : connexion directe au port de Bejaia, facilitant les échanges commerciaux.

Cependant, avec le temps, la ligne a souffert de **l'usure des infrastructures**, des **limitations de vitesse** dues aux nombreux virages serrés, tunnels anciens, et d'une **sécurité devenue insuffisante** par rapport aux standards ferroviaires modernes.



Photo 14-Accident ferroviaire sur la ligne.(Source : L'Est Républicain, article du 8 avril 2024, <https://lestrepublicain.com/2024/04/08/accident-de-train-a-akbou-un-homme-mortellement-fauche/>)



Photo 15-L'usure et corrosion des infrastructures-(Source : TPF - Projet de duplication de la ligne ferroviaire Beni Mansour - Béjaïa, <https://tpf.pt/obra.php?s=ferrovias&p=duplicacao-da-linha-ferroviaria-beni-mansour-bejaia&lang=fr>)

C-Objectifs de modernisation :

Face aux défis posés par la vétusté de la ligne, les autorités ont lancé un projet ambitieux de **réhabilitation et de modernisation**, comprenant notamment :

- **Le doublement de la voie** pour augmenter la capacité de transport.
- **Le redressement du tracé**, afin de limiter les courbes et permettre une vitesse accrue.
- **La construction de nouveaux tunnels**, dont les trois (03) tunnels objet de notre cas d'étude, pour contourner les zones les plus délicates géologiquement.
- **L'élévation des standards de sécurité** et l'optimisation de la gestion du trafic ferroviaire.

Ce projet vise à permettre une **vitesse maximale de 160 km/h**, à sécuriser les transports et à **stimuler le développement économique de la région**, en la connectant plus efficacement au réseau national et aux grands ports du pays.

4.3 Fiche d'identification du projet (Cas d'étude) :**A-Information général sur le projet :**

- **Désignation du projet :**

Réalisation de trois tunnels (Figure 10) dans le cadre des travaux de dédoublement de la voie et rectification de tracé pour l'augmentation de la vitesse à 160 km/h sur la ligne ferroviaire Beni Mansour – Bejaia.

- Localisation géographique :

- Tunnel n°1 : **Takrietz**
- Tunnel n°2 : **Sidi-Aïch**
- Tunnel n°3 : **El-Maten**

- **Maître d'ouvrage :**

Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF).

- **Directeur du projet :**
Pole de Cosider TP-M-32
- **Maîtrise d'œuvre :**
Groupement PBB : SETIRAIL (chef de file) – SAETI – SIDEM
- **Ordre de service (O.D.S) :**
 - Démarrage initial : 18/06/2014
 - Reprise des travaux : 12/11/2019
- **Durée de réalisation :**
 - Marché initial : 60 mois
 - Avenant n°2 : 40 mois supplémentaires
 - Total : 100 mois
- **Date d'expiration du délai global : 16/12/2024**
- **Montant du marché :**
 - Montant initial : 5 051 992 106,90 DA (après rabais de 9%)
 - Montant total (après avenants) : 6 196 406 049,28 DA.
(Six milliards cent quatre-vingt-seize millions quatre cent six mille quarante-neuf dinars algériens et vingt-huit centimes)

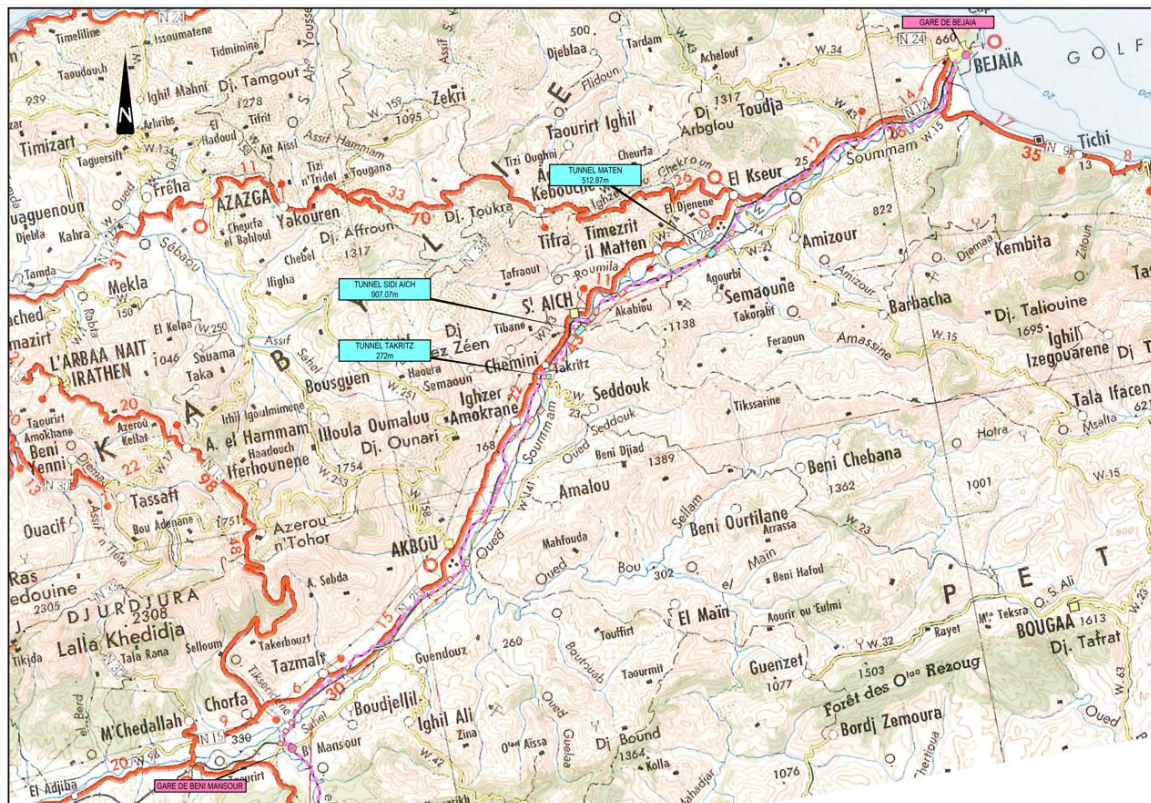


Figure 10-Situation des 3 tunnels ferroviaires. (Source : Cosider)

B. Consistance du projet :

Les données relatives à la gestion techniques du projet (études géotechniques, méthode de creusement, plannings d'avancement,...etc.) ont été obtenues auprès de l'entreprise de réalisation.

Les missions concrétisées par l'entreprise de réalisation dans le cadre de l'élaboration du **dossier d'exécution** sont les suivantes :

- Levés et implantations topographiques.
- Campagnes géotechniques complémentaire (sondages carottés, essais in situ et en laboratoire, rapport géotechnique).
- Elaboration des notes de calculs et des plans d'exécution et plannings
- **Ouvrages principaux :**

- Réalisation de trois (03) tunnels dans le cadre des travaux de dédoublement de la voie et de rectification de tracé pour augmenter la vitesse de circulation à 160 km/h sur la ligne Beni Mansour/Bejaia.

C. Travaux réalisés :

1. Installation de chantier (locaux et ateliers).
2. Soutènements définitifs des tranchées couvertes et des portails d'entrée des tunnels.
3. Creusement des tunnels.
4. Soutènements provisoires (cintres HEB, treillis soudés, béton projeté, ancrages).
5. Travaux d'étanchéité.
6. Réalisation des soutènements définitifs en béton armé.
7. Travaux de drainage définitif
8. Aménagements intérieurs et extérieurs des tunnels.

D. Caractéristiques techniques des tunnels :

Tableau 9-Caractéristique Technique des tunnels. (Source : Cosider)

Tunnel	PK de début	PK de fin	Longueur (ML)	Section circulaire définitive (R)	Volumes déblais souterrains (m³/ml)	Méthode d'excavation	Béton projeté/structure (m³/ml)	Acier pour béton armé (T/ml)	Cintres HEB 140 (ml/ml)
Takrietz	40+18 9.907	40+53 3.237	343.33	R= 5.88 m	122 m³/ml	Mécanique	7 m³/ml (projeté) + 18 m³/ml (structure)	2 T/ml	26 ml/ml
Sidi-Aïch	44+68 3.247	45+60 9.077	925.83	R = 5.88 m	122 m³/ml	Mécanique	7 m³/ml (projeté) + 18 m³/ml (structure)	2 T/ml	26 ml/ml
El-Maten	58+04 0.475	58+72 8.235	687.76	R = 5.88 m	122 m³/ml	Mécanique	7 m³/ml (projeté) + 18 m³/ml (structure)	2 T/ml	26 ml/ml

4.4 Planning prévisionnel des travaux des trois tunnels :

Afin d'assurer une meilleure gestion et un suivi rigoureux du projet, plusieurs plannings ont été établis par l'entreprise COSIDER M-32, en charge de la réalisation des tunnels. En effet, depuis le lancement des travaux, divers imprévus techniques et contextuels ont nécessité des ajustements successifs des délais et des étapes de réalisation.

Le planning présenté ci-dessous représente **la dernière version actualisée**, établie par l'entreprise après avoir pris en compte l'ensemble des **contraintes rencontrées sur le chantier**, notamment celles liées aux conditions géotechniques, aux aléas climatiques, ainsi qu'aux défis organisationnels.

Ce planning a été élaboré à l'aide du **logiciel professionnel Primavera** en appliquant la méthode d'ordonnancement des tâches de GANTT. A cet effet, une équipe pluridisciplinaire bénéficiant d'une **solide expérience dans le domaine**. Composée d'**architectes, d'ingénieurs spécialisés en gestion de projets et en travaux ferroviaires** a été mobilisée pour l'établissement et l'actualisation continue des plannings,

Ainsi, ce document constitue une **référence essentielle pour le suivi des différentes phases** de construction des tunnels, en précisant les séquences d'exécution, la durée prévue pour chaque étape, ainsi que les périodes critiques du projet.

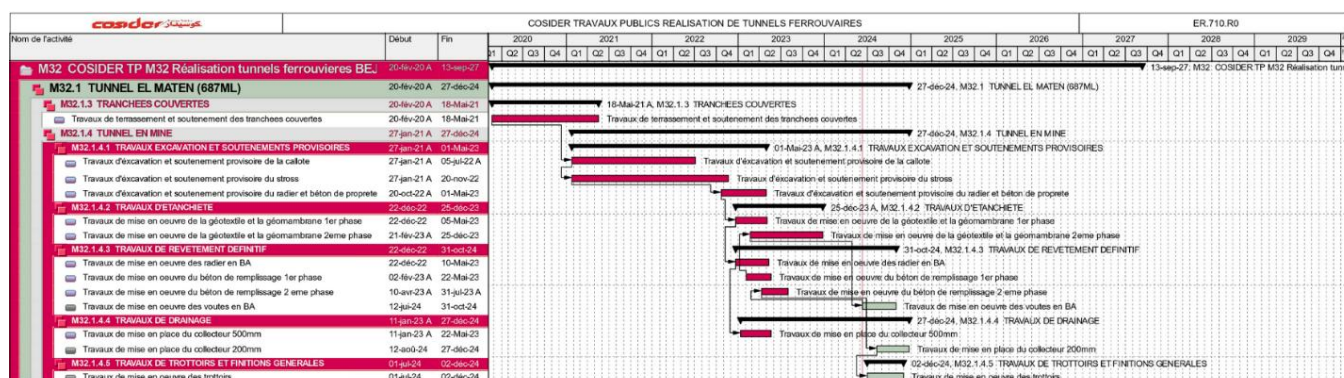


Figure 11-Planning prévisionnel du Tunnel El Mathen. (Source : Cosider)

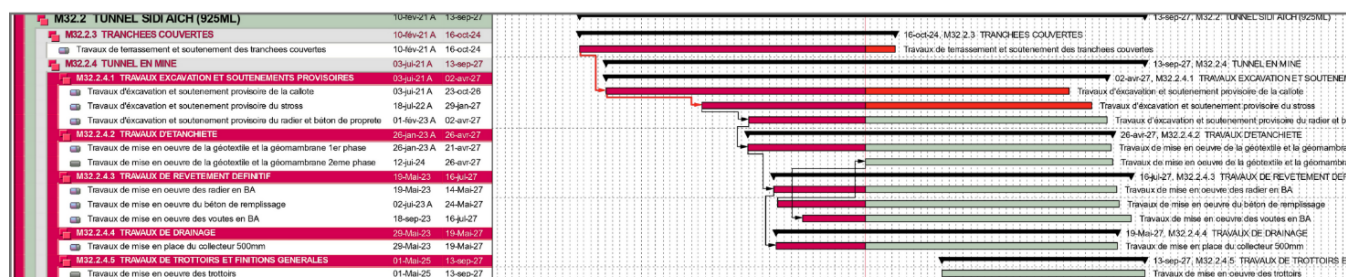


Figure 12-Planning prévisionnel du Tunnel Sidi-Aich. (Source : Cosider)

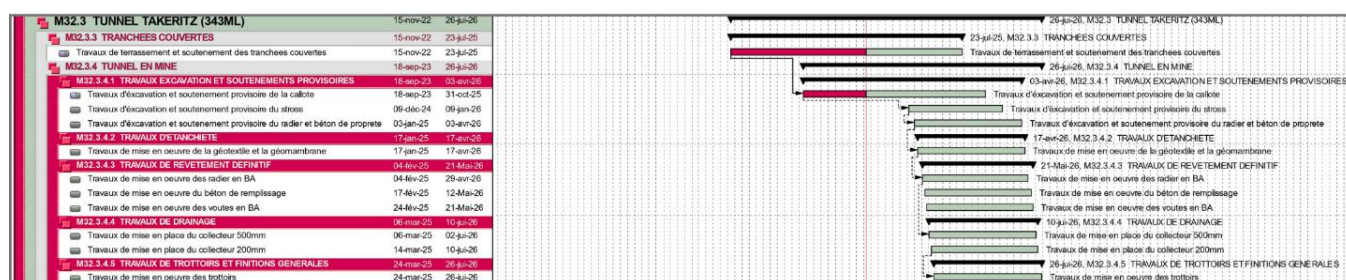


Figure 13-Planning prévisionnel du Tunnel Takiertz. (Source : Cosider)

Les planning précités en figures 10,11 et 12 sont jumelés et illustrés en (annexe-1) en format A3 pour plus de clarté et de lisibilité

4.4.1 Analyse et discussions sur les plannings prévisionnels :

L'analyse du planning présenté ci-dessus met en évidence l'état d'avancement contrasté des trois tunnels en cours de réalisation.

En effet, **le tunnel d'El- Maten apparaît comme le plus avancé** des trois. Selon le planning, **les travaux de creusement, de soutènement et d'étanchéité sont pratiquement achevés**, et **les travaux de finition sont en cours**, ce qui présage une prochaine livraison de cet ouvrage.

À l'inverse, **le tunnel de Sidi Aïch, qui est le plus long du projet (925,83 m)**, accuse un important retard. D'après le calendrier prévisionnel, **les travaux ont démarré en début d'année 2024**, mais sa finalisation **n'est prévue qu'en 2027**, ce qui reflète la complexité et l'envergure de ce tunnel.

Concernant **le tunnel de Takrietz, qui est pourtant le plus court (343,33 m)**, les travaux **n'ont pas encore commencé** et leur lancement est reporté à la fin de l'année 2025, pour une livraison prévue en 2026. Ce décalage est principalement lié **au manque de moyens matériels** nécessaires à la conduite simultanée de plusieurs ouvrages de grande envergure. L'entreprise se trouve ainsi contrainte de

mobiliser ses ressources de manière progressive, en fonction de la disponibilité des équipements et du personnel spécialisés.

Ce constat met en lumière **les défis majeurs** rencontrés sur ce chantier, notamment en matière de gestion des ressources humaines, techniques et matérielles, qui sont indispensables pour la réalisation d'infrastructures ferroviaires aussi complexes que ces tunnels.

Ainsi, ce planning, au-delà de sa fonction d'outil de gestion, reflète aussi **les réalités du terrain et les ajustements stratégiques** nécessaires à l'avancement du projet.

4.5 Organigramme structurant de l'entreprise COSIDER M32 :

4.5.1 Présentation générale de COSIDER M32 :

L'entreprise **COSIDER M32** est une filiale du groupe national COSIDER, spécialisée dans les grands travaux d'infrastructure, notamment les ouvrages ferroviaires, routiers et les travaux souterrains. Dans le cadre du projet de réalisation des trois (03) tunnels ferroviaires entre Bejaia et Beni Mansour, **la base de vie principale de l'entreprise est implantée à Fenaia (El-Kseur)**, un emplacement stratégique à proximité du chantier, permettant une gestion optimale des ressources humaines et matérielles.

COSIDER M32 dispose également de **bureaux permanents sur site**, dédiés aux études techniques, à la gestion du chantier et au suivi quotidien des travaux. **Une équipe pluridisciplinaire est mobilisée** : une partie de cette équipe est chargée des travaux de terrain (suivi et exécution), tandis qu'une autre partie travaille au sein des bureaux pour la coordination, la planification et la gestion administrative du projet.

Ainsi, **l'organisation de COSIDER M32 repose sur une complémentarité entre les équipes de bureau et celles mobilisées sur le terrain**, garantissant une bonne coordination et une efficacité dans la conduite de ce chantier complexe.

L'organigramme hiérarchique de gestion globale du projet est indiqué sur la (figure 14).

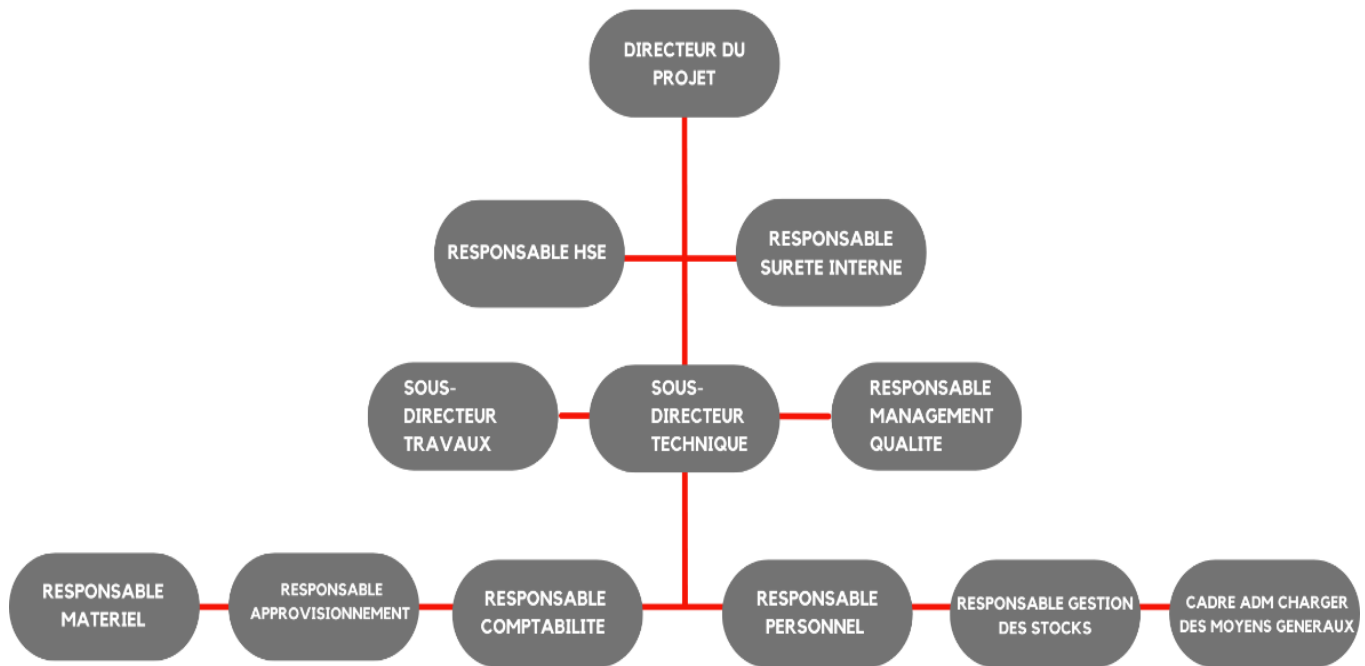


Figure 14-Organigramme global de l'entreprise. (Source : Cosider)

4.5.2 L'organigramme détaillé du projet de réalisation des trois tunnels :

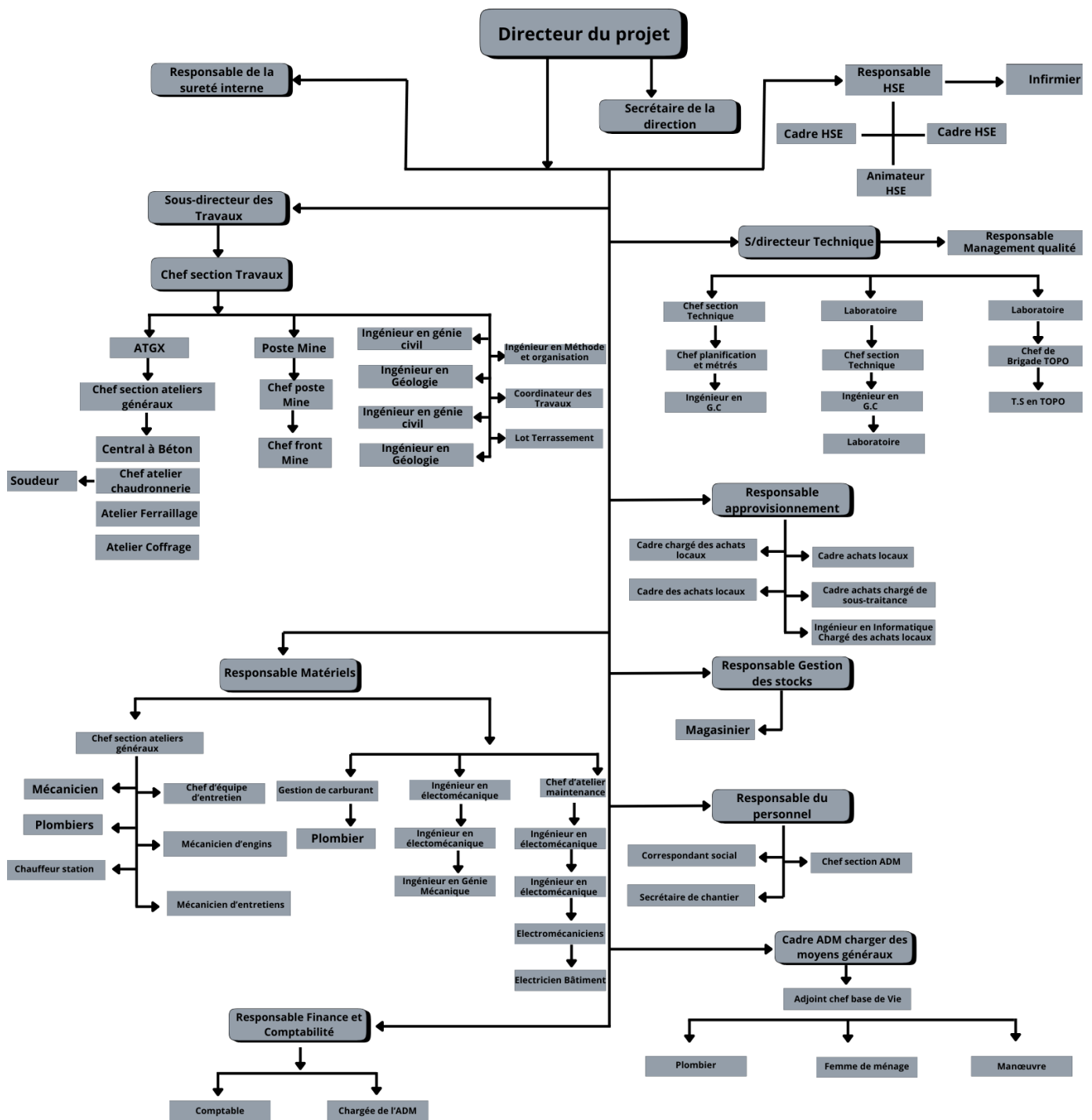


Figure 15-L'organigramme détaillé du projet. (Source : Cosider)

L'organigramme détaillé de l'entreprise (figure 15) illustre la répartition des différentes fonctions et équipes spécialisées qui interviennent dans la gestion et la réalisation de ses projets.

-On y retrouve notamment :

- **La Direction Générale**, qui supervise et valide les grandes décisions stratégiques.
- **Les directions techniques**, qui assurent les études, la planification et le suivi technique des travaux.
- **Les services spécialisés** (qualité, sécurité, environnement), chargés de veiller au respect des normes HSE ⁽⁷⁾ en vigueur.
- **Les équipes de production** (chefs de chantier, ingénieurs, conducteurs de travaux), directement impliquées sur le terrain.
- **Les services administratifs et financiers**, qui s'occupent de la gestion des ressources humaines, des marchés, de la logistique et du budget.

Chaque département a un rôle bien précis pour garantir une bonne exécution des projets, notamment :

- Assurer la bonne gestion des ressources humaines et matérielles.
- Respecter les délais fixés par le maître d'ouvrage (ANESRIF ⁽⁸⁾).
- Garantir la qualité et la sécurité des travaux exécutés.
- Anticiper et gérer les imprévus sur le chantier.

Cet organigramme détaillé témoigne donc de **la capacité organisationnelle de COSIDER M32 à prendre en charge des projets d'envergure**, grâce à une répartition claire des tâches et des responsabilités.

4.6 Typologie d'un chantier modèle :

4.6.1 Les moyens matériels mobilisés :

Pour la bonne exécution des travaux de réalisation des trois (03) tunnels ferroviaires sur la ligne Béni Mansour-Bejaia, **le chantier est doté de moyens matériels importants et adaptés** à la nature et à la complexité des ouvrages à réaliser. Ces équipements permettent d'assurer la continuité des travaux dans de bonnes conditions de sécurité, de qualité et de délais.

⁷HSE : Hygiène Sécurité et Environnement

⁸ANESRIF : Agence Nationale des Etudes et Suivi de Réalisations des Investissements Ferroviaires

Les principaux équipements mobilisés sur le chantier se répartissent comme suit :

- **Matériels de production et de transport du béton :**

- Centrale à béton (production sur place d'un béton conforme aux normes du projet).
- Camions à benne (transport de matériaux et déblais).
- Pompe à béton projeté (mise en œuvre du béton projeté pour le soutènement provisoire des tunnels).
- Malaxeurs (préparation et homogénéisation du béton).

- **Engins de terrassement et de construction :**

- Bulldozers (préparation des plateformes, terrassements).
- Pelles hydrauliques (excavation, manipulation de matériaux).
- Rétro-chargeurs (chargement et déblaiement).
- Compacteurs (compactage des sols et remblais).

- **Matériels de transport et logistique :**

- Minibus pour le transport du personnel entre la base de vie et les différents points du chantier.

- **Matériels spécialisés pour le forage et la soudure :**

- Chariots de forage (travaux de sondage et creusement).
- Compresseurs (alimentation en air comprimé pour les outils pneumatiques).
- Postes à souder (assemblage et fixation d'armatures métalliques).
- Pick-ups (véhicules légers pour la mobilité du personnel technique).
- Porte-chars (transport des engins lourds).
- Camions de graissage (entretien des machines et équipements).
- Camions-citerne à gasoil (ravitaillement en carburant).
- Camions-citerne à eau (alimentation en eau pour les travaux).

- **Matériels pour la sécurité et les urgences :**

➤ Ambulance (prise en charge rapide en cas d'accident ou d'incident).

4.6.2 Planning d'engagement du matériel :

Tableau 10-Planning d'engagement de matériels de l'année 2025. (Source : Cosider)

N°	Désignation	janv	fevr	mars	Avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	déc
1	Central a béton	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Chargeurs/pneus	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	Camion de servitude	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	Camion Malaxeur	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	Camion Pompe à Béton	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6	Camion-citerne eau	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	Pelle Prise Roche	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	Pelle/Chenilles	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9	Bull/chenilles	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Niveleuse Automotrice	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Retro chargeur	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	Camion Benne	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
13	Compacteur Mixte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	Chariot de Forage	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
15	Chariot Elévateur	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
16	Compresseur d'Air	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3

17	Ventilateur de Tunnel	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
18	Camion-citerne gasoil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	Mini central d'injection	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
20	Jumbo de Foration	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	Chargeurs/chenilles	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	Grue Mobile	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Semi-Rem porte Engins	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	Pompe à Béton	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
25	Compresseur Mobile	2	2	2	2	2	1	1	1	1	-	-	-
26	Cabine Saharienne	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
27	Equipements Sociaux	566	566	566	566	566	566	566	566	566	566	566	566
28	Mobilier & Equipement de Bureaux	846	846	846	846	846	846	846	846	846	846	846	846
29	Matériel de Sécurité	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226
30	Véhicule 4x4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
31	Ambulance	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	Station Graissage/camion	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	Mini Bus pour personnel	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
34	Groupe Electrogènes	10	10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8

35	Véhicule Leger	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
36	Petit Matériel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total	1780	1780	1780	1777	1781	1780	1780	1780	1780	1779	1779	1779

4.6.3 Analyse du Planning d'engagement du matériel :

Chaque fin d'année, le **coordinateur du projet** établit un tableau d'**actualisation des besoins en matériels** en concertation avec les chefs de chantier et les ingénieurs d'exécution. Ce document sert de **référence stratégique** pour anticiper la mobilisation progressive des équipements selon l'évolution des travaux.

Le tableau 10 ci-dessus présente la **répartition mensuelle** du matériel mobilisé pour l'année 2025. On observe une planification détaillée incluant divers types d'équipements, allant du matériel lourd (grues, pelles, camions) aux unités spécifiques (groupes électrogènes, foreuses, compresseurs), en passant par les structures d'appui (base-vie, blocs sanitaires, modules de bureau,...etc.).

Cette planification permet :

- **D'éviter les interruptions** d'activités dues à l'indisponibilité d'engins.
- **D'optimiser les coûts de location et de maintenance**, en alignant le matériel mobilisé avec les phases effectives du projet.
- **D'adapter la logistique d'approvisionnement**, en particulier pour les zones difficiles d'accès comme les entrées de tunnel.

On remarque une intensification notable de l'engagement du matériel entre **avril et octobre 2025**, période correspondant au **pic d'activité** sur les trois (03) fronts de creusement. Ce pic est anticipé par l'arrivée d'un plus grand nombre de pelles hydrauliques, camions bennes, groupes électrogènes et unités de traitement de sécurité.

En fin d'année (novembre - décembre), l'engagement diminue progressivement, ce qui coïncide avec l'approche de la phase de finition sur certains ouvrages.

Ce type de planification est essentiel pour une **gestion fluide du chantier** et reflète un bon niveau de coordination entre les différents intervenants du projet.

4.7 Moyen humains mobilisé :

4.7.1 Projection mensuelle 2025 des effectifs:

Afin d'assurer un suivi rigoureux et une gestion optimale des ressources humaines tout au long de l'année 2025, la direction du chantier a établi une **projection mensuelle de l'évolution des effectifs**. Cette planification permet d'adapter les effectifs aux différentes phases d'avancement du projet, en fonction des besoins opérationnels sur le terrain.

La répartition repose sur les données de référence observées au mois de **novembre 2024**, présentées en détail dans la section **4.7.2** et en (annexe-2).

Le tableau ci-dessous présente la répartition des 324 agents prévus en 2025, classés par **département** et par **niveau hiérarchique** :

Tableau 11- Répartition des effectifs prévue en 2025. (Source : Cosider)

Département	Cadre	Maîtrise	Exécution	Total	% du total
Administration	17	6	5	28	8.6 %
Gardiennage	1	0	27	28	8.6 %
Technique	16	9	8	33	10.2 %
Production	13	54	100	167	51.5 %
Maintenance	8	22	38	68	21.0 %
Total	55	90	203	324	100 %

Cette projection met en évidence plusieurs éléments clés :

- Le **département production** mobilise à lui seul **plus de la moitié des effectifs (51,5 %)**, ce qui reflète le rôle central de ce service dans l'avancement physique du chantier.
- Le **département Maintenance** suit avec **21 %**, ce qui montre l'importance de l'entretien et du suivi des équipements dans un projet d'envergure souterrain.
- Les services **Technique** et **Administration** mobilisent respectivement **10,2 %** et **8,6 %** du total, principalement en personnel qualifié (cadres et maîtrise).
- Enfin, le **Gardiennage** représente également **8,6 %**, illustrant les besoins en sécurité et surveillance sur un chantier réparti sur plusieurs sites.

Cette répartition équilibrée traduit une organisation adaptée aux exigences du chantier, combinant des ressources techniques, administratives et opérationnelles de manière cohérente pour garantir l'efficacité globale du projet.

4.7.2 Répartition détaillée par fonction et département :

L'analyse des effectifs du mois de **novembre 2024** permet d'avoir une vision fine de la structure humaine en place sur le chantier à cette période. Le tableau détaillé figure en **annexe (voir Annexe X)**.

Les **324 agents** en poste sont répartis selon trois niveaux hiérarchiques : **cadres, maîtrise et exécution**, et cinq (05) grands départements fonctionnels.

On constate d'après le tableau des évolutions des effectifs en Annexe que :

- La présence féminine est très faible sur le chantier, avec seulement 5 femmes, soit 1,54 % de l'effectif total.
- Répartition des femmes :
 - 2 femmes cadres en administration.
 - 2 femmes d'exécution en administration.
 - 1 femme cadre dans le département technique.
- **Concernant les contrats CDI⁽⁹⁾ :**
 - Un seul agent cadre en CDI dans le département technique, traduisant une stabilité dans ce poste technique sensible.
 - Aucun autre CDI n'est recensé dans les autres départements.
- Mouvements du personnel en novembre 2024 :
 - 8 entrées au total :
 - Département technique : 2 maîtrises, 2 exécutions.
 - Département production : 2 maîtrises, 1 exécution.
 - Département maintenance : 1 exécution.

⁹CDI : Contrat à Durée Indéterminée

- 4 sorties au total :
- Département production : 1 cadre.
- Département maintenance : 1 maîtrise, 2 exécutions.

4.8 Implantation du Chantier :

4.8.1 Plan de base de vie :

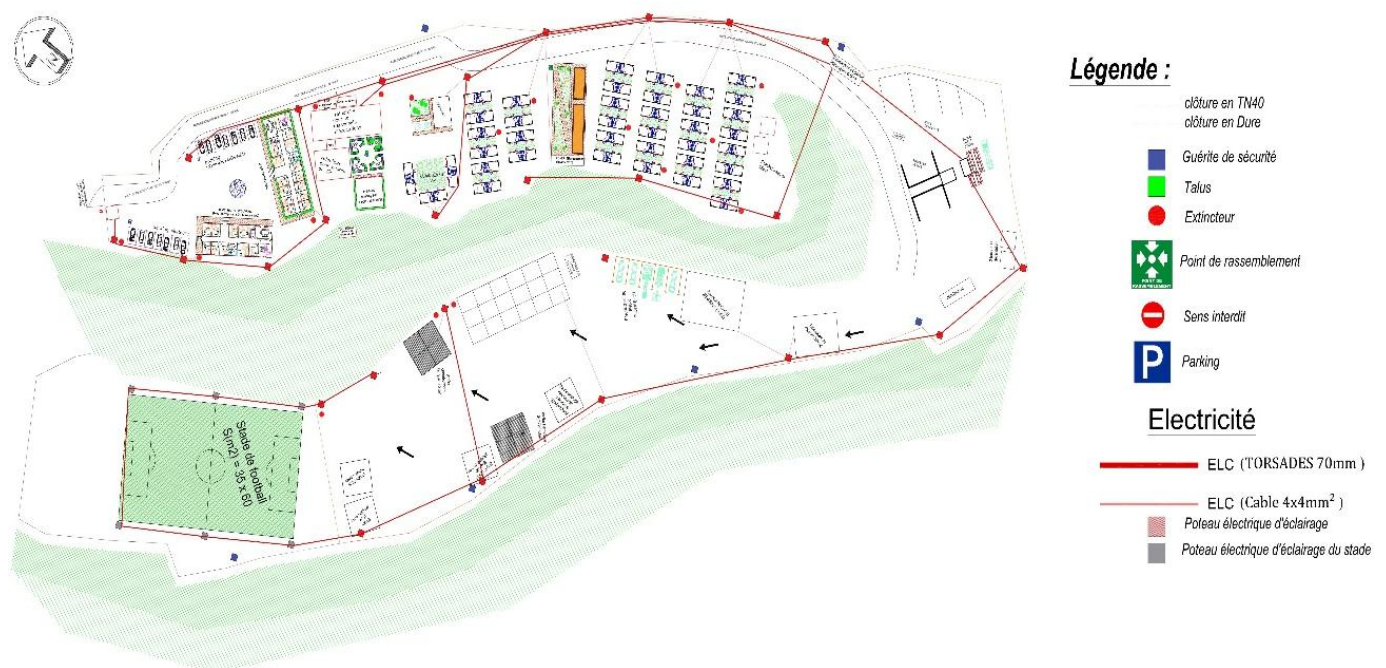


Figure 16-Plan schématique de base de vie Cosider TP M32. (Source : Cosider)

Le schéma ci-dessus présente le plan de base de vie mis en place pour le chantier de construction des trois tunnels. Afin de mieux situer cette base de vie dans son environnement réel, une vue satellite est également insérée ci-dessous :



Photo 16-Photo satellite de base de vie. (Source : Google earth)

A- Situation géographique :

La base de vie du chantier est implantée dans la commune de **Fenaïa**, à proximité d'El-Kseur, une localisation stratégique qui permet d'assurer un accès relativement centralisé aux trois tunnels en cours de construction dans la wilaya de Bejaia.

Elle se situe à une distance raisonnable des trois sites d'intervention principaux, à savoir :

- Le premier tunnel situé dans la région de **Takiertz**.
- Le deuxième tunnel à **Sidi Aïch**.
- Le troisième tunnel dans la zone de **Semaoun**.

Cette implantation permet une gestion plus efficace des équipes et du matériel, tout en limitant les déplacements excessifs entre les sites. Fenaia se trouve à mi-distance entre les trois points d'exécution, ce qui optimise la logistique quotidienne, notamment pour :

- Le transport du personnel.
- L'acheminement des matériaux et équipements.
- La coordination inter-départementale (technique, production, maintenance).

En outre, la base de vie bénéficie d'un accès routier relativement fluide, ce qui facilite les liaisons vers les différents tunnels malgré la configuration montagneuse de la région.

B- Composantes de la base de vie :

Tableau 12-Composantes de la base de vie. (Source : Cosider)

Zone	Superficie	Composantes principales
Base de vie	1,28 hectare	<ul style="list-style-type: none"> - Bloc administratif - Bloc technique et bureaux - Hébergement VIP - Hébergement cadres et maîtrise - Hébergement d'exécution - Cuisine et réfectoire - Infirmerie - Aire de détente et loisirs - Groupe électrogène et transformateur - Bâche à eau - Gaz propane - Parking visiteurs - Bureau & magasin moyens généraux - Loge et guérite de sécurité
Base technique	1,14 hectare	<ul style="list-style-type: none"> - Atelier mécanique - Atelier de ferrailage - Atelier de chaudronnerie - Magasin général - Centrale à béton - Pont bascule - Aire pour box d'agrégats - Parking engins - Citernes carburant - Laboratoire - Aire de stockage des déchets mécaniques - Stade communal



Photo 17-Hébergement d'Exécution. (Source : l'auteur, année 2025)



Photo 18-Atelier Mécanique. (Source : l'auteur, année 2025)



Photo 19-Central à Béton. (Source : l'auteur, année 2025)



Photo 20-Aire pour boxe d'Agrégats. (Source : l'auteur, année 2025)

4.8.2 Schéma d'accès :

Dans le cadre de la réalisation des trois (03) tunnels situés à **Takiert**, **Sidi Aïch** et **Al-Mathen**, des accès spécifiques ont été aménagés pour permettre l'acheminement du matériel, la circulation des engins et l'évacuation des déblais.

Pour les tunnels de **Sidi Aïch** et **Al-Mathen**, les travaux de creusement ont été organisés selon une **stratégie biface**, c'est-à-dire à partir de **deux fronts d'attaque simultanés** : une entrée et une sortie, toutes deux utilisées activement comme points d'accès aux chantiers. Cette méthode permet une **réduction significative des délais de creusement**.

En revanche, le tunnel de **Takiertz** ne permettait pas ce type d'organisation, en raison de la **présence immédiate de la Route Nationale au niveau de l'entrée**, ce qui a empêché l'aménagement d'un second accès. Le creusement s'est donc effectué **uniquement à partir du côté sortie**.

Les schémas ci-dessous illustrent les accès aménagés pour chacun des tunnels.

A- Tunnel de Takiertz :

- Entrée (non aménagée) :

Aucune plateforme de travail n'a été réalisée de ce côté en raison de la proximité directe avec la Route Nationale. L'ouverture va se faire après avoir une solution pour la déviation de la RN75.

- Accès unique (Sortie) :

Une plateforme a été réalisée pour permettre l'entrée des engins, le forage, l'évacuation des déblais, ainsi que l'approvisionnement en matériaux.

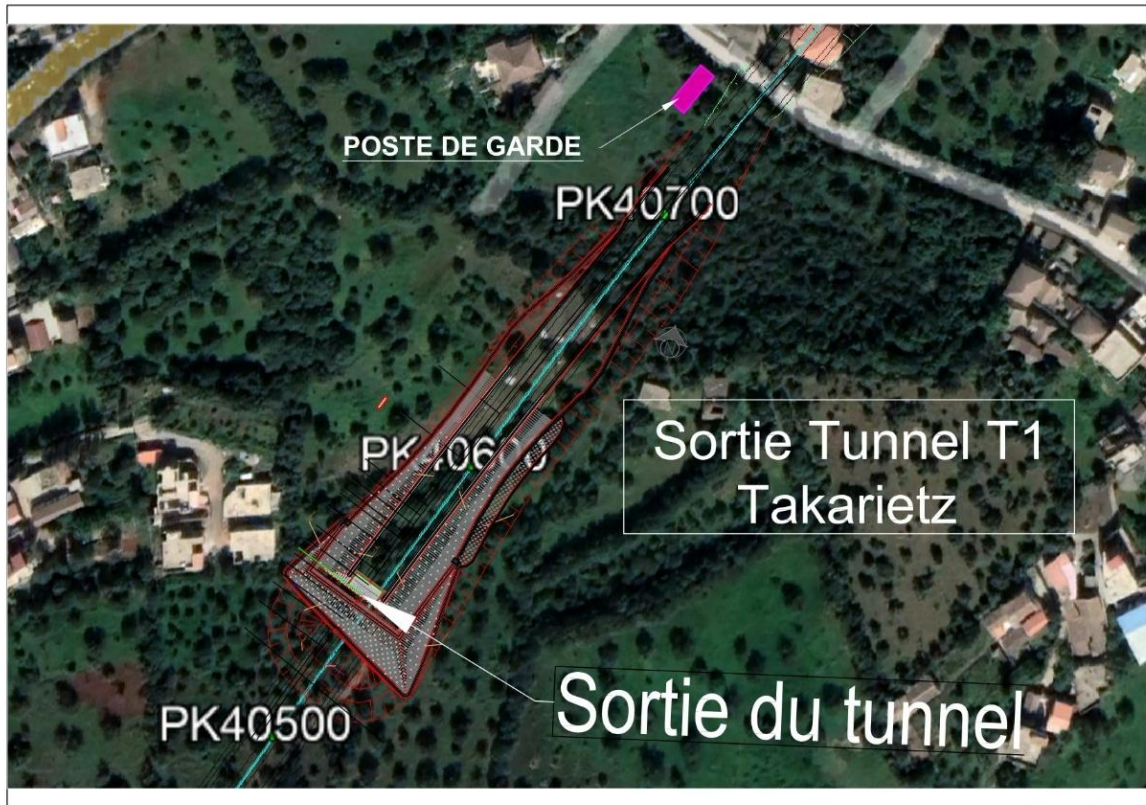


Figure 17-Schéma d'accès au tunnel Takeritz.(Source : Cosider)



Photo 21-Sortie du tunnel Takiertz.(Source : l'auteur, année 2025)

B- Tunnel de Sidi-Aich :

- Entrée (Aménagé) :



Figure 18-Schéma d'Entrée du tunnel Sidi-Aich.(Source : Cosider)



Photo 22-Entré du tunnel Sidi-Aich.(Source : l'auteur, année 2025)

- Sortie (Aménagé) :



Figure 19-Schéma de sortie du tunnel Sidi-Aich.(Source : Cosider)

C- Tunnel d'Al-Mathen :

- Entrée (Aménagé) :



Figure 20-Schéma d'entrée du tunnel Semaoun.(Source : Cosider)

- Sortie (Aménagé) :



Figure 21-Schéma de sortie du tunnel Semaoun.(Source : Cosider)

4.9 Visite d'inspection de terrains:

Dans le cadre de mon stage de suivi de chantier, j'ai eu l'opportunité de participer à une **visite de terrain accompagnée de l'équipe de topographes de l'entreprise**, au cours de laquelle nous avons inspecté **deux tunnels** du projet ferroviaire.

1. Tunnel de Takiertz :

- ❖ La visite a débuté par une inspection des **habitations situées au-dessus du tunnel**, dans le secteur de Takiertz. L'équipe a procédé à un **monitoring topographique** pour **vérifier la stabilité des structures en surface**, en particulier les maisons exposées au risque de tassement ou de déformation lié au creusement souterrain.
- ❖ Un second **monitoring topographique** a été réalisé **au niveau de la sortie du tunnel**, afin de contrôler les éventuels mouvements de terrain ou fissurations.
- ❖ J'ai également eu la chance de **pénétrer à l'intérieur du tunnel**, où se déroulaient des opérations de mesure et de vérification de la convergence, illustrant l'importance du **suivi régulier de la déformation de la cavité**.

2. Tunnel de Sidi-Aich :

- ❖ La visite s'est poursuivie sur le site du tunnel de Sidi Aïch, plus précisément au **niveau de l'entrée**. Là aussi, l'équipe de topographes a effectué un **monitoring des mouvements du terrain**, avec des points de mesure installés sur des repères fixes.
- ❖ J'ai pu observer en détail sur **l'utilisation des instruments de topographie**, notamment les stations totales et prismes réflecteurs, et **assister aux méthodes de mesure et de suivi des points de contrôle**.

Retour d'expérience :

Cette sortie m'a permis d'acquérir une vision concrète des outils de suivi de chantier et de **monitoring topographique des ouvrages sensibles**, mais aussi de rencontrer les deux chefs de projet affectés aux tunnels concernés. Ils m'ont expliqué avec clarté:

- Les **contraintes géologiques majeures** rencontrées, notamment la **nature instable du sol**, à l'origine de certains retards dans l'avancement.
- Leur **méthode d'excavation**, qui suit les étapes suivantes :
 1. Excavation progressive par tronçons.
 2. Stabilisation immédiate du sol excavé (soutènement provisoire).
 3. Pose d'une **armature métallique (ferraillage)**.
 4. Réalisation des **voûtes en béton projeté ou coulé**, formant le revêtement primaire.

-Cette visite a été pour moi **très bénéfique**, autant sur le plan **technique** que **professionnel**, en renforçant ma compréhension des réalités de terrain, du rôle des topographes, et des difficultés rencontrées lors de la construction de tunnels en terrains présentant des difficultés géotechniques.



Photo 23-Monitoring Topographique.(Source : l'auteur, année 2025)



Photo 24-Coffrage de voûte.(Source : l'auteur, année 2025)

4.10 Défis rencontrés dans le projet :

D'après les échanges avec l'un des ingénieurs du projet, plusieurs défis majeurs ont été rencontrés au cours de l'exécution des travaux. Ces difficultés ont impacté tant les délais, que l'organisation **technique et l'aspect contractuel**. On peut les résumer comme suit :

1-Difficultés géologiques :

-La **nature du sol** a constitué un obstacle central, notamment au niveau des tunnels de Takiertz et Sidi Aïch présentant respectivement une **structure géologique rocheuse et stable** pour le premier et des conditions de terrains meuble, **instable et marécageuse** pour le second, compliquant ainsi les méthodes de creusement des tunnels. Devant cette contrainte géologique, le recours au creusement mécanique par passes (Méthode Autrichienne) NATM ⁽¹⁰⁾ est préconisé.

2-Retard dû à la non-livraison de coffrage :

-Au tunnel de **Semaoun**, un **retard significatif** a été enregistré dans l'exécution des **travaux de revêtement définitif**, en raison de la **non-livraison du coffrage tunnel par le sous-traitant** concerné.

3-Blocage à l'entrée du tunnel de Takiertz :

-Les travaux d'excavation du **portail d'entrée du tunnel de Takiertz** n'ont pas pu démarrer dans les temps, en attente de **l'étude de déviation de la Route Nationale RN74**, empêchant tout aménagement sur cette zone.

4-Travaux non contractuels de mise à la terre :

-La **mise à la terre** au niveau des trois tunnels a nécessité des **travaux supplémentaires non prévus** dans le marché initial. Ces tâches ont entraîné des ajustements techniques et administratifs.

5-Sol rocheux au tunnel de Takiertz : recours aux explosifs

-En raison de la **géologie extrêmement dure** (formation rocheuse) du tunnel de Takiertz, les **équipements disponibles** (pelle, brise-roche) n'ont pas permis une progression suffisante.

¹⁰ NATM: New Austrian Tunneling Method.

-Pour surmonter cette difficulté, un **bureau d'études spécialisé en géologie minière** a été mobilisé, et une **étude a été validée par la Direction des Mines de Bejaia**, autorisant l'usage **d'explosifs selon les normes** en vigueur.

-Après les premiers essais, les **habitants à proximité ont exprimé leur mécontentement**, entraînant une **intervention du Wali de Bejaia** qui a ordonné l'arrêt immédiat de cette méthode ayant une incidence sur la sérénité des habitants et des effets néfastes (vibrations) sur les habitations.

6-Travaux supplémentaires au tunnel de Sidi Aïch :

-Plusieurs travaux non prévus initialement ont été intégrés au chantier, notamment :

- Le **prolongement du faux tunnel** au niveau du portail d'entrée pour assurer la **stabilisation du sol**.
- La **réalisation d'une butée au pied du talus**.
- L'**exécution de pieux et de tirants d'ancrage** au portail de sortie.

-En raison de la nature instable et marécageuse du sol, **le maître d'ouvrage** a exigé un **renforcement des études** techniques pour garantir la sécurité et la pérennité de l'ouvrage.



Photo 25- Sols marécageux (**sidi-Aich**). (Source : l'auteur, année 2025)



Photo 26-Sols rocheux (**Takiertz**). (Source : l'auteur, année 2025)

4.11 Analyse SWOT du cas d'étude :

Pour synthétiser les principaux éléments de l'analyse du chantier de doublement de la ligne ferroviaire Beni Mansour – Béjaïa, un tableau de type SWOT⁽¹¹⁾ est présenté ci-dessous. Il met en lumière les **forces et faiblesses** du projet ainsi que les **opportunités et menaces** liées à son environnement, permettant une vue d'ensemble des enjeux du chantier. Elle offre une lecture stratégique qui enrichit la compréhension globale du cas d'étude.

Tableau 13-Analyse SWOT du chantier de la ligne ferroviaire Beni Mansour – Bejaia.

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des infrastructures : -Le projet modernise une ligne stratégique, permettant des vitesses accrues (160 km/h pour les voyageurs et 100 km/h pour les marchandises) et une capacité de transport accrue. • Investissements significatifs : -Un budget de 106 milliards de dinars est mobilisé, démontrant l'engagement des autorités à développer cette infrastructure. • Impact environnemental réduit : -Suppression des passages à niveau et réduction des émissions de gaz grâce à des trains modernes. • Développement économique : -Renforcement des connexions intermodales et amélioration des flux logistiques pour Béjaïa, un hub économique régional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Opposition foncière : -Retards causés par des contestations sur les indemnisations et les acquisitions de terrains. • Délais de réalisation prolongés : -Bloqué pendant 11 ans avant relance, avec un avancement encore limité malgré un délai contractuel de 60 mois • Problèmes Techniques : -Fissures signalées dans des habitations proches, nécessitant des ajustements imprévus. • Complexité du projet : -Nombreux ouvrages (viaducs, ponts, tunnels, gares) nécessitant une coordination avancée et des ressources multiples.
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> • Relance économique locale : -Création d'emplois et stimulation des secteurs associés comme la construction et la logistique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conflits sociaux : -Résistances des communautés locales et entreprises affectées par le tracé, ce qui pourrait engendrer des litiges

¹¹ SWOT : Strengths , Weaknesses, Opportunities, Threats

<ul style="list-style-type: none"> • Positionnement stratégique : -Bejaia pourrait devenir un nœud de transport majeur, renforçant les échanges commerciaux régionaux et nationaux. • Possibilités de partenariats : -Collaborations avec des entreprises pour des solutions innovantes face aux défis techniques ou financiers. • Croissance durable : -Favorise un transport éco-responsable et la réduction de l'utilisation des véhicules individuels. 	<p>prolongés.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instabilité budgétaire : -Les contraintes économiques pourraient entraîner des arrêts ou des réductions dans l'ampleur du projet. • Impact environnemental négatif : -Risques liés aux perturbations écologiques et aux nuisances pendant les travaux. • Incidents technique imprévus : -Défis géotechniques et météorologique ou erreurs de planification pouvant accroître les coûts et les délais.
--	--

4.12 Conclusion

L'analyse approfondie du projet de construction des trois (03) tunnels dans la wilaya de Bejaia met en lumière la complexité de la gestion de chantier dans un contexte topographique et géologique difficile. Entre les contraintes techniques, les imprévus liés au terrain, les défis organisationnels et les exigences de coordination inter-services, ce chantier illustre parfaitement les enjeux d'un projet d'infrastructure de grande envergure.

Grâce à l'implantation stratégique de la base de vie, à une organisation logistique pensée pour l'efficacité, et à l'adaptation constante des méthodes de travail, les équipes ont su faire face aux aléas du terrain. Ce cas d'étude constitue ainsi une référence concrète pour comprendre les conditions réelles de gestion et d'organisation sur un chantier complexe, tout en ouvrant la voie à des réflexions sur les leviers d'optimisation à envisager pour les projets futurs.

Notre stage nous a permis de bien comprendre les enjeux du projet et l'importance de préserver la Sécurité, l'Hygiène et l'Environnement. A cet effet, les relevés périodiques des déplacements et des déformations (topographiques) permettent aux responsables techniques d'anticiper des solutions palliatives en vue de préserver les biens et les personnes durant la phase des travaux

Chapitre 4 : Résultats de l'enquête et recommandations

Chapitre 4 : Résultats de l'enquête et recommandations

5.1 Introduction:

Dans le prolongement des analyses précédentes, ce chapitre vise à confronter les enseignements tirés du cas d'étude principal à savoir la réalisation de trois tunnels ferroviaires entre Bejaia et Beni Mansour avec deux (02) projets internationaux de référence : le prolongement de la ligne orange du métro de Montréal vers Laval (Canada) et la ligne 15 Sud du Grand Paris Express (France, en cours de réalisation). Cette comparaison permet de mettre en lumière les similitudes et divergences en termes de gestion de chantier, d'organisation, de solutions techniques et de stratégies adoptées face aux défis rencontrés.

Dans un second temps, les résultats de deux enquêtes menées sur le terrain viendront enrichir cette analyse. Ces enquêtes portent, d'une part, sur l'impact des outils numériques dans la gestion quotidienne des chantiers, et d'autre part, sur leur rôle dans l'anticipation et la gestion des imprévus.

Enfin, à partir de cette double lecture comparative et empirique, des recommandations sont formulées afin d'améliorer les pratiques de gestion et d'organisation des chantiers dans un contexte local en s'inspirant des bonnes pratiques observées à l'internationale.

5.2 Analyse comparative des projets : Tunnels de Bejaia, Prolongement de la Ligne Orange et Ligne 15 Sud du Grand Paris Express

Afin de mieux situer le projet de réalisation des trois (03) tunnels ferroviaires entre Bejaia et Beni Mansour dans une perspective internationale, une comparaison a été réalisée avec deux projets de grande envergure : le prolongement de la ligne orange du métro de Montréal vers Laval (Canada) et la ligne 15 Sud du Grand Paris Express (France, en cours de travaux). Ces deux exemples ont été choisis pour la diversité de leurs contextes (urbain/métropolitain), leur complexité technique et leur importance stratégique. Le tableau 14 suivant présente une analyse comparative de ces projets selon plusieurs critères : coût, délais, avancée des travaux, défis rencontrés, choix techniques et organisationnels, ainsi que leur impact territorial.

Le tableau au-dessous représente la comparaison des projets :

Tableau 14- Comparaison du Cas d'étude et les deux exemples internationaux

Aspect	Cas d'étude	Prolongement de la ligne orange (Montréal – Laval)	Ligne 15sud – Grand paris Express
Coût estimé	6,2 milliards DA (~45 millions USD).	745 millions CAD (~670 millions USD à l'époque).	7,4 milliards €.
Longueur totale	1 848 mètres pour les trois tunnels.	5,2 km (extension de la ligne).	37 km.
Délais prévus	60 mois (5 ans) initialement (débuté en 2011, relancé en 2022).	6 ans (2001-2007), respectés malgré des défis techniques.	Initialement 2023, reporté au quatrième trimestre du 2026.
Progrès actuel	Retards importants dus à des litiges fonciers, sociaux et contrainte géotechnique.	Achevé dans les délais.	Travaux avancés à 80%.
Contexte géographique	Ligne interurbaine dans une zone montagneuse	Transport urbain dans une région métropolitaine	Environnement urbain dense avec complexité géotechnique (nappes phréatiques, carrières)
Objectifs principaux	Modernisation, suppression des passages à niveau,	Amélioration de la connectivité et de l'accès au	Création d'une rocade métropolitaine,

	augmentation des vitesses.	transport en commun.	désaturation du réseau existant.
Impact communautaire	Résistances sociales et industrielles autour du tracé.	Développement économique autour des nouvelles stations.	Nuisances pour les riverains, gestion de l'acceptabilité sociale.
Matériaux utilisés	Béton armé et béton projeté pour les tunnels.	Béton haute densité pour les structures, systèmes anti-vibrations pour les rails.	Bétons innovants (ex. CHRYSO®Optima 1340) pour fondations profondes.
Équipements sur chantier	Equipements classiques.(Méthode Autrichienne)	Tunneliers modernes, systèmes de ventilation, machines de nivellement.	Tunneliers de dernière génération, équipements posés par phases.
Employés mobilisés	24 ouvriers, incluant des experts géotechniques et ingénieurs	Environ 1 500 employés au pic des travaux, incluant des techniciens spécialisés	Environ 5000 compagnons sur 43 chantiers.

L'analyse comparative des trois projets met en lumière des différences majeures en matière de gestion de chantier, de choix techniques et de performances organisationnelles.

Le projet du **Grand Paris Express (ligne 15 Sud)** se distingue par sa complexité technique (profondeur des tunnels, contexte urbain dense, diversité architecturale des gares) et l'ampleur de ses moyens. Malgré des retards causés notamment par la pandémie de COVID-19, la progression atteint environ **80 %**, avec une mise en service prévue pour le **4e trimestre 2026**. Cette performance est rendue possible grâce à une **gestion rigoureuse**, un **pilotage multi-acteurs**, et l'usage de **technologies avancées** telles que **des tunneliers de dernière génération** et des bétons à ouvrabilité prolongée.

Le projet canadien de prolongement de la ligne orange du métro de Montréal, bien qu'achevé en respectant les délais initiaux (2001–2007), s'est appuyé sur une **méthode de gestion fast-track**, consistant à chevaucher les phases de conception et de construction pour gagner du temps. Cette méthode, bien qu'efficace en termes de planning, comporte des **risques accrus d'erreurs**, de **révisions coûteuses** et demande une **coordination extrêmement fine** entre les parties prenantes. Néanmoins, ce projet a réussi à atteindre ses objectifs de desserte tout en stimulant le développement économique local.

En comparaison, le **projet de tunnels ferroviaires de Bejaia**, bien qu'à plus petite échelle, souffre de **retards importants** dus à des obstacles fonciers, sociaux et de gestion de marchés, ainsi qu'à une organisation plus classique basée sur la méthode autrichienne d'attaque ponctuelle qui prend des délais de réalisation très allongés. L'absence de technologies modernes et la faible coordination inter-acteurs limitent l'efficacité du chantier, malgré des ressources humaines qualifiées.

Ces constats soulignent l'importance de l'anticipation des risques, de l'intégration des outils numériques, et d'une coordination renforcée dans la réussite des grands projets d'infrastructure. Les exemples français et canadien offrent ainsi des pistes de réflexion et des leviers d'amélioration potentiels pour les projets en contexte algérien.

5.3 Importance des outils numérique sur la gestion du chantier :

Dans le cadre de ce mémoire, une enquête a été réalisée auprès de cinq professionnels de l'entreprise **Cosider TP M32**, afin de mieux comprendre le rôle des outils numériques dans la gestion de chantier, ainsi que leur contribution à la gestion des imprévus et des défis rencontrés sur le terrain.

Pour bien mener l'enquête, nous avons élaboré un questionnaire (**voir annexe**) synthétisant un ensemble d'informations cibles inhérentes à l'utilisation des outils numériques dans le traitement et la gestion technique et budgétaire du projet et leurs impacts sur la fiabilité et la gestion des défis. Un ensemble de questions ont été posés aux personnels utilisateurs de fonctions et de profils diversifiés à l'effet de recueillir le maximum de données.

5.3.1 Informations générales sur les répondants :

Les profils interrogés présentent une diversité de fonctions et de niveaux d'expérience, ce qui permet de recueillir des points de vue complémentaires sur la réalité du terrain. Le tableau 15 ci-dessous synthétise les informations clés des participants à l'enquête :

Tableau 15- Synthèse des renseignements relatifs aux participants à l'enquête.

Code répondant	Poste occupé	Expérience (en années)	Nature de l'intervention sur le projet
R1	Chef de section technique	18 ans	Suivi budgétaire, gestion des marchés, planification.
R2	Responsable management qualité	17 ans	Non précisé.
R3	Chef de section technique	10 ans	Prise en charge de toutes les étapes techniques et administratives d'un projet.
R4	Ingénieur en génie civil	10 ans	Plans d'exécution, planification, coordination des topographes, suivi des travaux et sous-traitants.
R5	Ingénieur en génie civil	6 ans	Coordination et suivi des travaux.

5.3.2 Utilisation des outils numérique :

-La première question de cette section portait sur l'identification des outils numériques utilisés par les professionnels interrogés dans le cadre du projet.

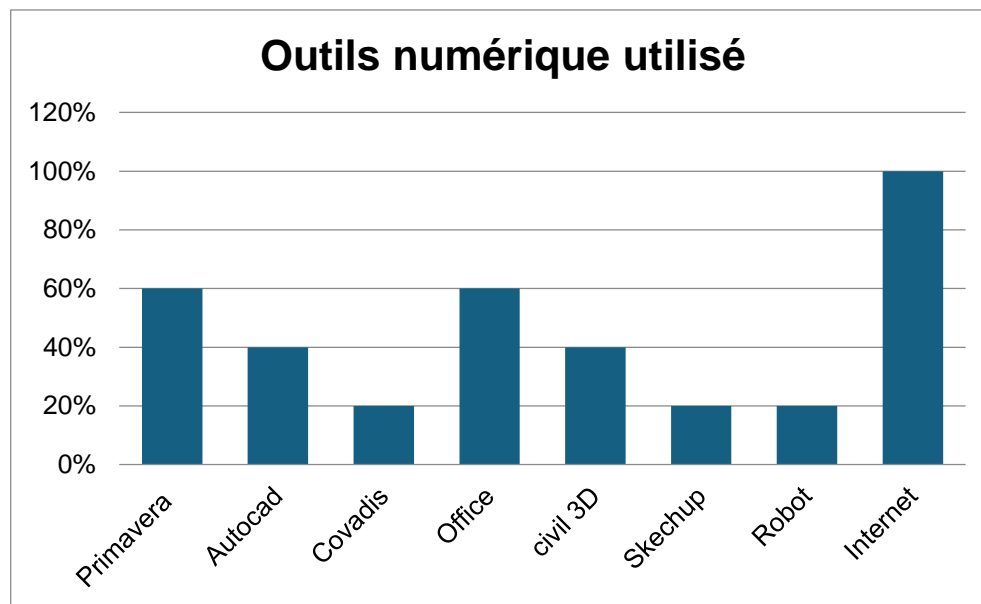


Figure 22-Outils numérique utilisé

-La question suivante visait à connaître la fréquence d'utilisation de ces outils numériques par les intervenants interrogés.

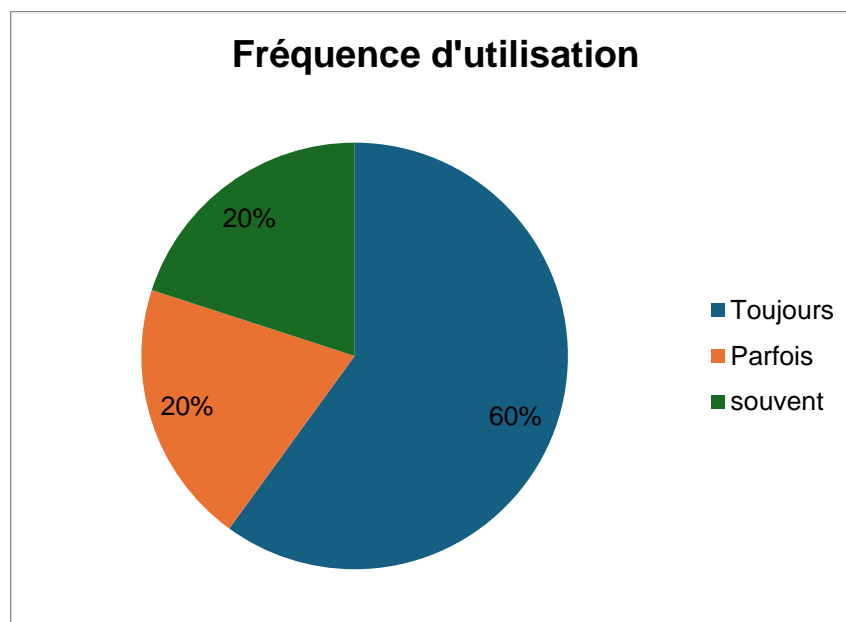


Figure 23-Fréquence d'utilisation des outils numériques

-Afin d'évaluer l'impact réel des outils numériques sur la productivité, les répondants ont été invités à estimer dans quelle mesure ces outils ont amélioré leur efficacité au travail.

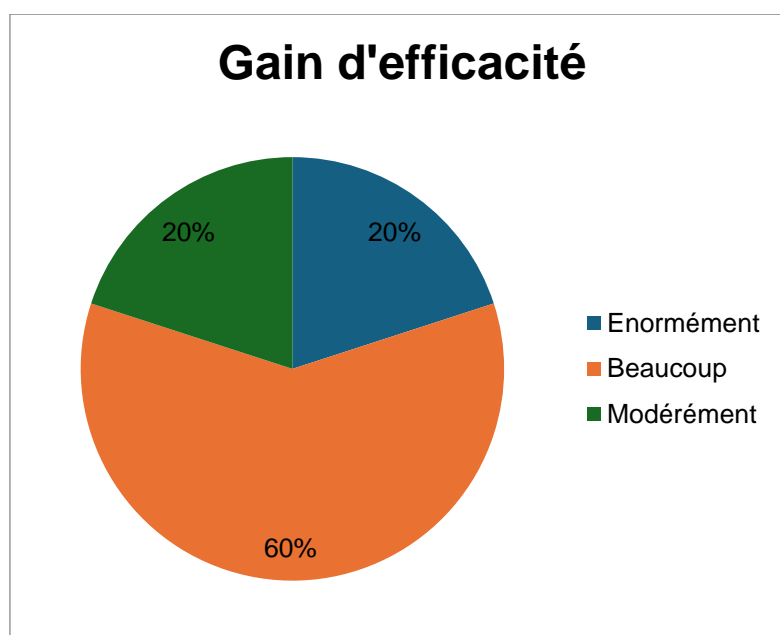


Figure 24-Gain d'efficacité dans le déroulement du travail

-À travers une question ouverte, les participants ont été invités à partager des exemples concrets illustrant comment les outils numériques ont permis d'optimiser les processus sur le chantier.

Synthèse des réponses :

Les réponses recueillies mettent en évidence plusieurs apports significatifs des outils numériques dans l'optimisation du travail. L'un des bénéfices majeurs mentionnés est **la rapidité dans la transmission de l'information**, notamment grâce à l'usage de la messagerie électronique (courriels par des **e-mails**), permettant d'**éviter l'utilisation excessive du papier**. D'autres soulignent le rôle central de **logiciels comme Excel dans le suivi des coûts, la gestion des plannings**, et l'élaboration **de tableaux de bord lisibles**. Un participant évoque l'utilisation d'une **application de suivi budgétaire**, facilitant **la saisie des données** et **l'extraction de rapports clairs à transmettre à la direction**, renforçant ainsi **la réactivité et la visibilité sur l'avancement du projet**. Enfin, plusieurs réponses insistent sur l'importance des outils dans **la résolution rapide des problèmes** et **l'amélioration de la coordination**.

-L'enquête s'est également intéressée à l'impact des outils numériques sur la communication interne entre les membres de l'équipe.

L'ensemble des répondants ont estimé que les outils numériques ont **beaucoup facilité** la communication entre les membres de l'équipe.

-Une autre question a permis d'explorer les limites de ces outils, notamment les défis que peuvent rencontrer les professionnels dans leur utilisation au quotidien.

L'ensemble des participants ont affirmé **ne pas avoir rencontré d'obstacle** liés à l'utilisation des outils numériques sur le chantier.

-Afin d'évaluer la contribution des outils numériques au respect des délais sur le chantier, les participants ont été invités à donner leur avis sur l'impact de ces outils à ce niveau.

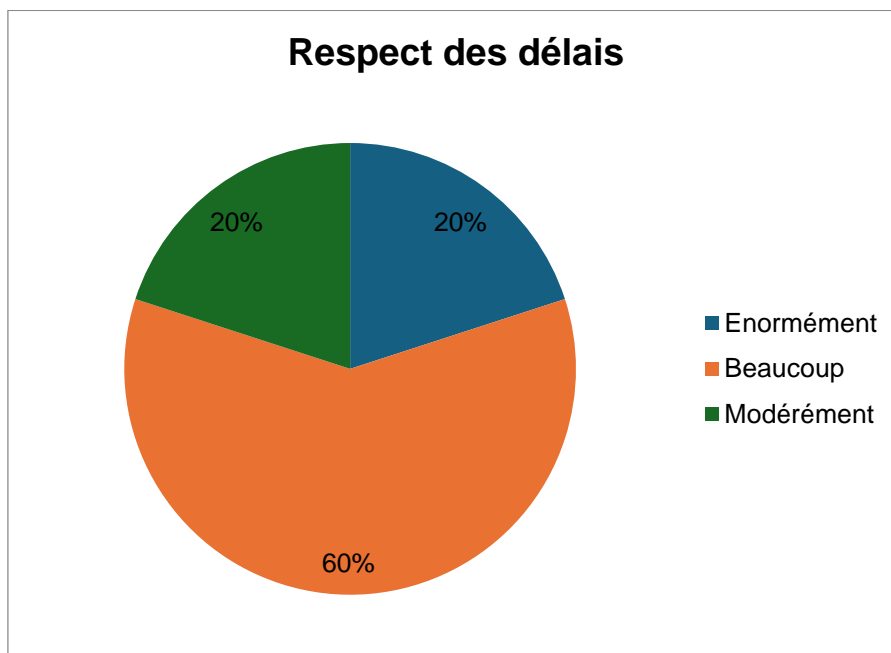


Figure 25-Respect des délais dans l'accomplissement des tâches

-La question suivante visait à déterminer si les outils numériques ont permis de réduire les erreurs ou les retards constatés durant le déroulement du projet.

Synthèse des réponses :

L'ensemble des répondants ont confirmé que les outils numériques ont contribué à **réduire les erreurs et les retards** sur le chantier. Plusieurs aspects ont été mis en avant : l'amélioration de la communication entre les équipes, la possibilité de rectifier

rapidement les plans et de vérifier les calculs, ainsi qu'une plus grande précision dans la production des dessins techniques. Certains ont également souligné que ces outils facilitent le suivi et la gestion des travaux, ce qui a un impact indirect mais significatif sur le **respect des délais d'exécution**. Ces éléments montrent que les technologies numériques, bien intégrées, peuvent devenir de véritables leviers de performance en matière de qualité et de planification sur les chantiers.

-Afin de mieux comprendre quelles fonctionnalités sont perçues comme les plus efficaces par les professionnels sur le terrain, une question ouverte leur a été posée sur les outils qu'ils ont trouvés les plus utiles dans le cadre du projet.

Synthèse des réponses :

Les réponses mettent en avant la diversité des apports concrets des outils numériques. Certains participants ont souligné l'importance des fonctionnalités de suivi de l'avancement, notamment en termes de coûts, de délais et de tâches. D'autres ont mis en avant des aspects plus pratiques comme les formules d'Excel jugées simples et accessibles, ou encore le simple fait de pouvoir copier-coller, qui permet un gain de temps considérable. La communication instantanée et la gestion des tâches ont également été citées comme des fonctions clés. Ces retours témoignent de l'impact direct de certaines fonctionnalités basiques mais efficaces sur la productivité et l'organisation quotidienne.

-Une seconde question ouverte visait à recueillir les conseils des professionnels en vue d'optimiser l'usage des outils numériques dans les futurs projets.

Synthèse des réponses :

Plusieurs recommandations se dégagent clairement. La plupart insistent sur l'importance de la formation continue, tant pour se familiariser avec de nouvelles fonctionnalités que pour rester à jour face aux évolutions constantes des logiciels. La centralisation et l'archivage des données sont également jugés essentiels pour éviter la dispersion de l'information et faciliter l'accès aux documents. Des suggestions concrètes ont été proposées, telles que la création de modèles standards de rapports ou de courriers, l'expérimentation de nouveaux outils plus efficaces, ainsi que la généralisation de l'usage du numérique à l'échelle de l'entreprise. Ces retours soulignent un besoin collectif d'organisation, de structuration et de montée en

compétence pour tirer pleinement profit des technologies numériques dans le domaine du BTP.

-En conclusion de cette section, une dernière question ouverte a été posée aux participants afin de recueillir tout commentaire supplémentaire sur l'impact des outils numériques dans leur travail quotidien.

Synthèse des réponses :

Les retours confirment et renforcent les constats précédents : les outils numériques sont perçus comme des leviers essentiels pour une gestion de projet plus fluide, plus rapide et mieux organisée. Ils améliorent la communication, facilitent le traitement et le suivi des données en temps réel, et permettent une meilleure réactivité face aux imprévus. Plusieurs professionnels ont aussi souligné leur rôle dans la réduction des erreurs, l'optimisation des délais d'exécution et l'identification de solutions correctives pour améliorer l'organisation globale du chantier. Ces commentaires illustrent l'intégration croissante du numérique comme support incontournable pour une gestion de chantier efficace et structurée.

5.4 Synthèse globale des résultats de l'enquête

L'enquête menée auprès des professionnels du projet a mis en évidence l'importance croissante des outils numériques dans la gestion de chantier. Une diversité d'outils est utilisée, allant des logiciels spécialisés comme **Primavera, AutoCAD, Civil 3D, Covadis et Robot** aux outils plus généralistes tels que **Microsoft Office et Internet**, chacun répondant à des besoins spécifiques de suivi, de planification, de conception ou de communication. La fréquence d'utilisation varie, mais la majorité des participants ont affirmé **un usage régulier à intensif de ces outils**.

Concernant **l'impact sur l'efficacité du travail**, les réponses indiquent un effet majoritairement positif. La majorité des professionnels interrogés estiment que les outils numériques ont **beaucoup** amélioré leur efficacité, en particulier en **réduisant le temps de transmission d'informations**, en **facilitant la communication** et en **accélérant le traitement des données**. Des exemples concrets cités incluent l'usage des **e-mails pour l'envoi rapide de courriers**, **Excel pour le suivi des coûts et la planification**, et des **applications dédiées pour le suivi budgétaire**.

Sur le plan de la **communication au sein de l'équipe**, les outils numériques sont unanimement perçus comme ayant facilité les échanges et renforcé la coordination. Aucun des participants n'a rapporté de difficulté majeure liée à leur utilisation. En matière de **respect des délais et de réduction des erreurs**, les réponses sont également très positives. Les outils ont permis **un meilleur suivi de l'avancement**, une **réduction des retards** grâce à une **communication fluide** et une **plus grande précision dans les plans et calculs**.

Enfin, les participants ont souligné les **fonctionnalités les plus utiles**, comme la visualisation rapide de l'avancement du projet, les fonctions de **suivi des tâches**, les **formules automatisées**, ou encore les fonctions simples mais efficaces comme **le copier-coller**. Ils recommandent de **renforcer les formations**, de **centraliser les données**, de **généraliser l'usage des outils numériques** et **d'explorer de nouveaux logiciels** pour améliorer encore leur intégration dans les futurs projets.

En somme, les outils numériques sont perçus comme **des alliés indispensables** pour optimiser la gestion des projets, améliorer la productivité, limiter les erreurs et respecter les délais. Leur intégration continue, accompagnée de formations adaptées, semble être une condition clé pour un pilotage de chantier plus performant.

5.4.1 La gestion des défis sur les chantiers :

Cette partie est dédiée à une enquête sur les aléas rencontrés sur chantiers et les défis pour les sur monter en recourant à l'utilisation des outils numériques.

Un questionnaire a été élaboré à cet effet avec un ensemble d'interrogations soumises au personnels technico-administratifs engagé sur le chantier.

-La première question de cette partie visait à identifier les types d'imprévus les plus fréquemment rencontrés sur le chantier. Les participants avaient la possibilité de sélectionner plusieurs réponses afin de refléter la diversité des situations auxquelles ils sont confrontés.

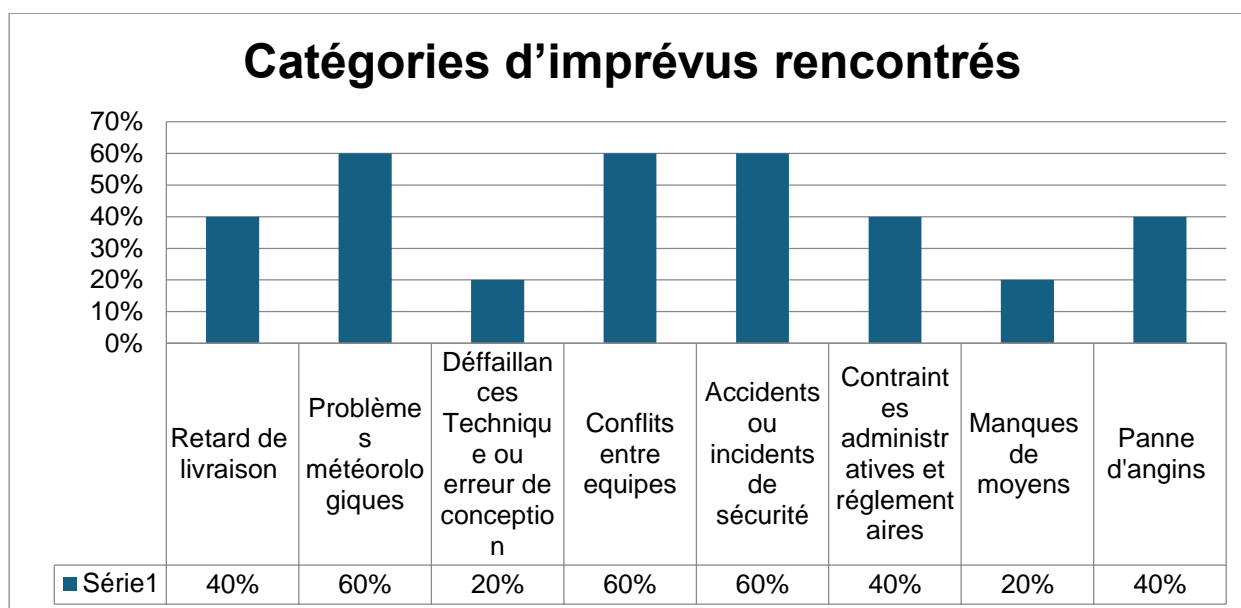


Figure 26-Catégorie d'imprévus rencontrés et leur importance

-Ensuite, il a été demandé aux répondants d'estimer la fréquence à laquelle ces imprévus surviennent au cours de l'avancement du chantier.

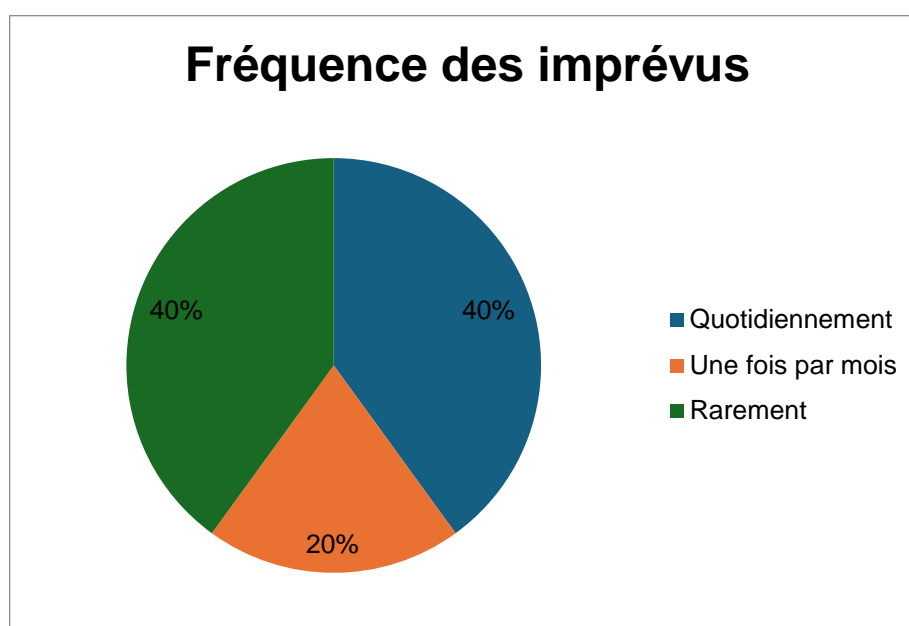


Figure 27-Fréquence des imprévus

-Afin de mieux comprendre les pratiques adoptées face aux aléas rencontrés sur le chantier, une question a été posée aux participants concernant les méthodes généralement utilisées pour gérer les imprévus. Les réponses ont été représentées dans le graphique ci-dessous.

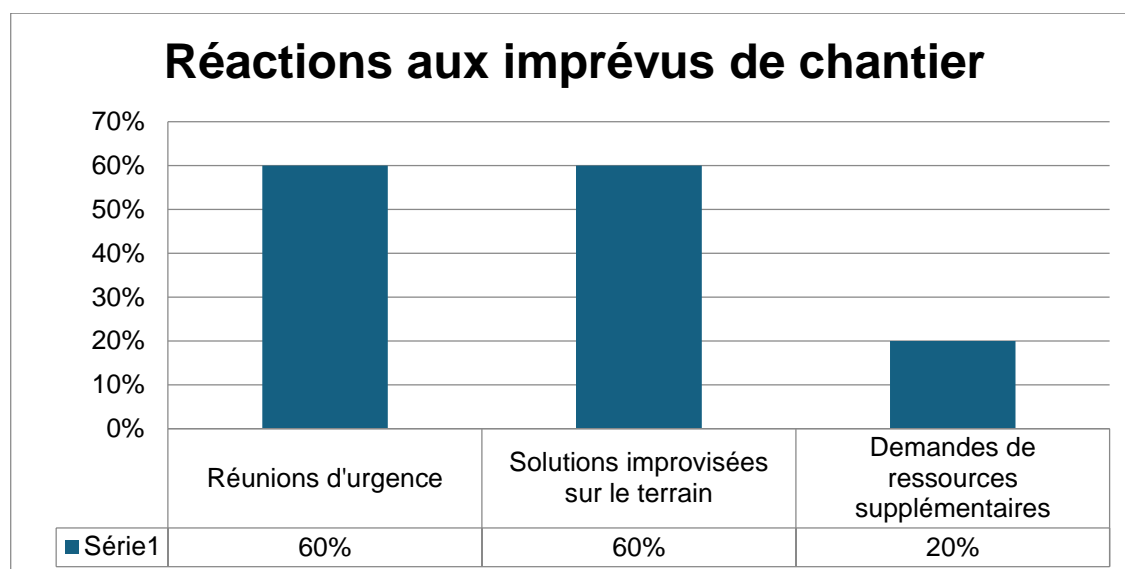


Figure 28-Réactions aux imprévus de chantier

-La deuxième question de cette section visait à déterminer si un plan de gestion des risques était formellement mis en place sur le chantier.

Tous les participants ont indiqué qu'un tel plan est effectivement mis en place, témoignant d'une gestion préventive structurée des imprévus.

-Afin de mieux cerner les conséquences des imprévus sur le déroulement du projet, il a été demandé aux participants d'indiquer, selon eux, **quel est l'impact principal des imprévus rencontrés sur le chantier.**

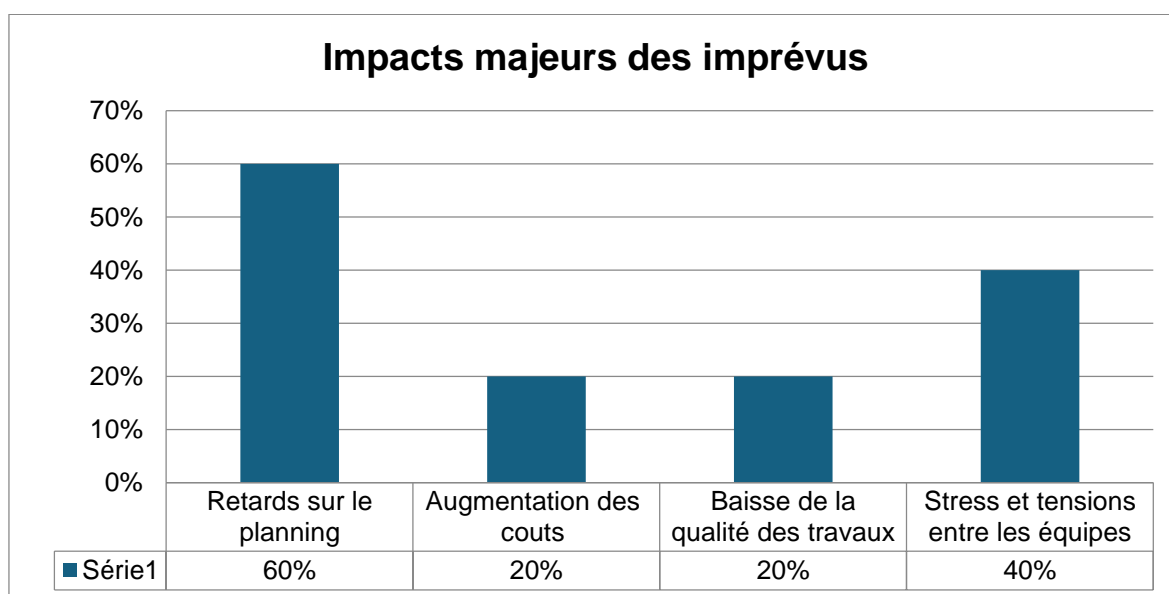


Figure 29-Impacts majeurs des imprévus sur les performances du projet

-La seconde question s'intéressait à **l'ampleur des retards causés par les imprévus**, en demandant aux professionnels **d'estimer en moyenne le nombre de jours de retard ajoutés au planning initial**.

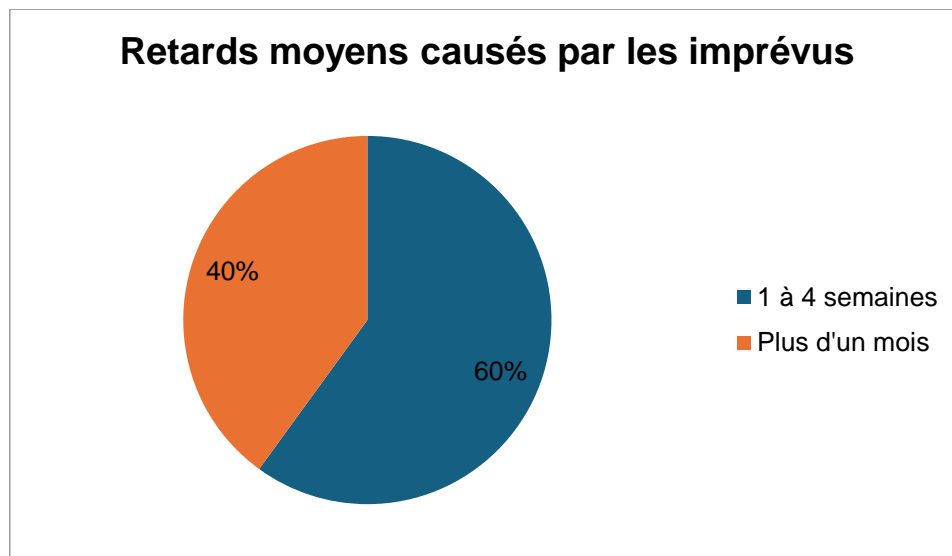


Figure 30-Retards moyens causés par les imprévus

-Dans le cadre de cette enquête, il a été demandé aux professionnels s'ils utilisent des outils numériques pour anticiper ou gérer les imprévus sur le chantier. En cas de réponse positive, ils devaient également préciser les types d'outils employés parmi une liste proposée.

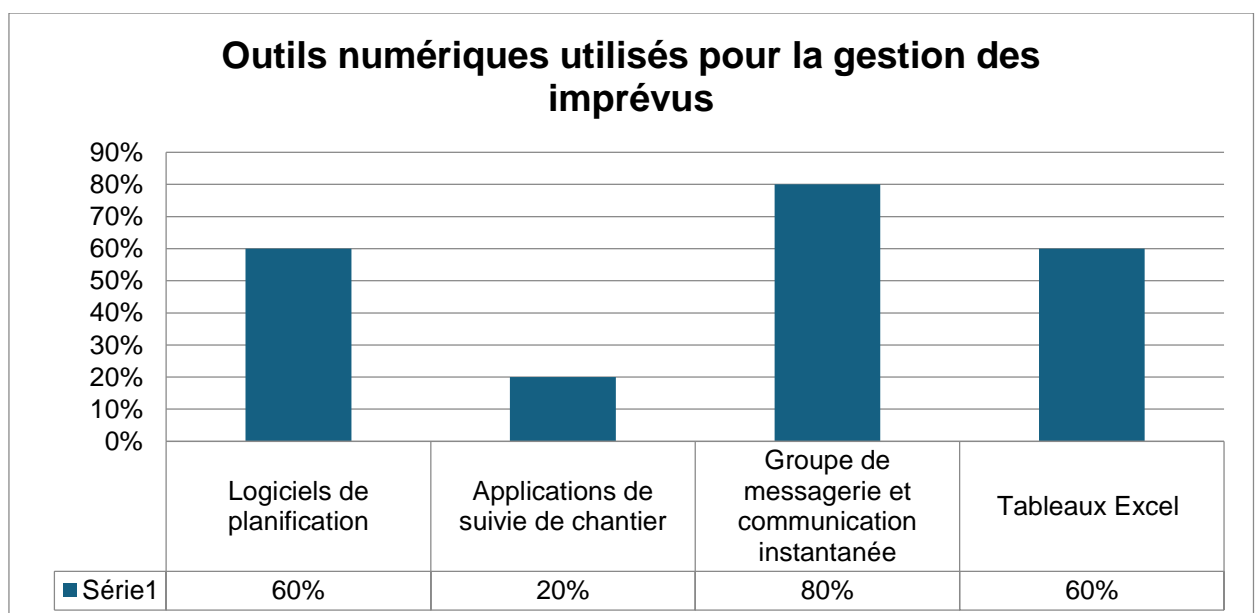


Figure 31-Outils numérique utilisés pour la gestion des imprévus

-Pour évaluer la pertinence de ces outils dans le contexte réel du chantier, il a ensuite été demandé aux participants s'ils les considèrent efficaces pour atténuer les conséquences des imprévus.

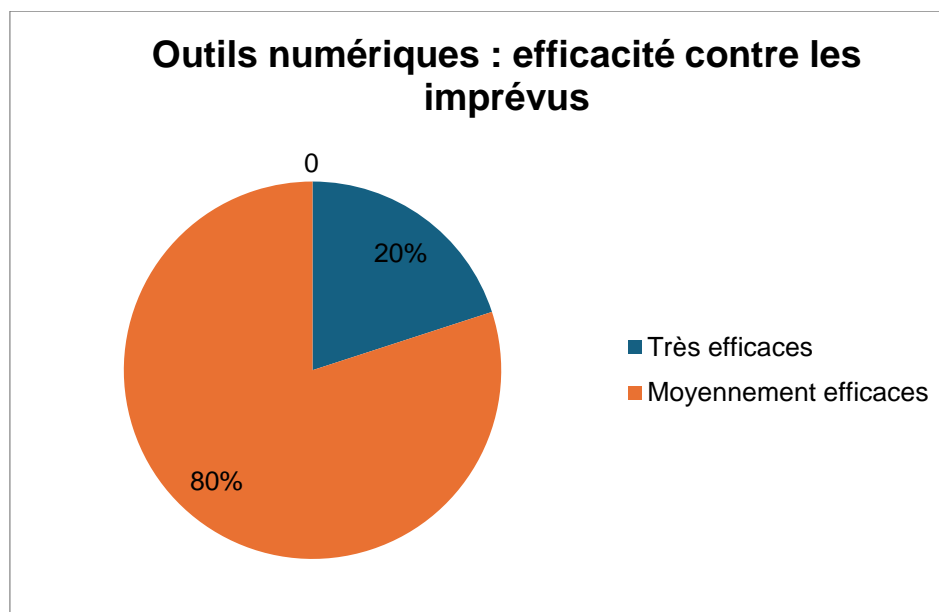


Figure 32-Efficacité des outils numériques contre les imprévus

-Dans le cadre de cette enquête, les participants ont été invités à formuler des recommandations pour améliorer la gestion des imprévus sur les chantiers. Leurs réponses mettent en évidence des leviers d'action concrets fondés sur leur expérience du terrain.

Synthèse des réponses :

Les résultats montrent une forte convergence autour de plusieurs axes prioritaires. La communication fluide entre les services et les intervenants apparaît essentielle pour limiter les malentendus et accélérer la prise de décision. Une coordination renforcée et une planification flexible sont également jugées nécessaires pour mieux anticiper les aléas. Par ailleurs, la formation continue des équipes est largement recommandée, afin de les sensibiliser aux bonnes pratiques et de renforcer leur réactivité face aux imprévus. Enfin, l'optimisation des ressources humaines et logistiques, notamment par une meilleure répartition des responsabilités et une spécialisation des rôles, est perçue comme un levier efficace pour améliorer la performance globale des projets face aux aléas.

5.5 Synthèse globale sur la gestion des aléas

Les résultats de l'enquête révèlent que les imprévus sont une réalité courante sur les chantiers, avec des sources multiples. Les aléas météorologiques et les incidents de sécurité figurent parmi les plus fréquents (60 %), suivis des retards de livraison de matériaux (40 %) et des contraintes administratives (40 %). La fréquence de ces imprévus varie, certains les rencontrant quotidiennement (40 %) tandis que d'autres y sont confrontés plus rarement. Pour y faire face, les professionnels privilégient principalement les réunions d'urgence (60 %) et des solutions improvisées sur place (60 %), bien que tous reconnaissent l'existence de plans de gestion des risques.

Les conséquences des imprévus sont significatives, avec un impact dominant sur le respect du planning (60 %), mais également sur les coûts, la qualité des travaux et le climat au sein des équipes. La majorité estime que ces perturbations engendrent un retard moyen allant de 1 à 4 semaines (60 %). Dans ce contexte, les outils numériques jouent un rôle non négligeable : tous les participants déclarent les utiliser, notamment les logiciels de planification, les tableaux Excel et les messageries instantanées, jugées pratiques pour la réactivité. Toutefois, leur efficacité est perçue comme **moyenne** par 80 % des répondants, ce qui indique un potentiel d'amélioration.

Enfin, les recommandations formulées convergent vers quatre (04) axes majeurs : améliorer la communication et la coordination, renforcer l'anticipation et la planification, former régulièrement les équipes, et optimiser les ressources disponibles. Ces leviers sont jugés essentiels pour renforcer la résilience des projets face aux aléas et limiter leurs impacts négatifs sur le bon déroulement des travaux.

5.6 Recommandations :

5.6.1 Recommandations pour le cas d'étude :

L'analyse du cas d'étude, confrontée aux références internationales (Ligne 15 Sud du Grand Paris Express, prolongement de la ligne orange à Laval), met en évidence plusieurs axes d'amélioration possibles :

1. Modernisation des méthodes de creusement

- Remplacer, lorsque possible, les méthodes classiques (attaque par la pointe) par des solutions mécanisées comme les tunneliers de dernière génération.

- Ces équipements permettent un meilleur rendement, une sécurité accrue, une précision plus grande et une réduction des aléas géotechniques.

2. Intégration de la méthode **Fast-Track**

- Envisager une organisation en **Fast-Track** pour réduire les délais, en démarrant l'exécution avant la finalisation complète des études. Cela nécessite une coordination rigoureuse, mais elle a prouvé son efficacité dans le cas de la Ligne 15 Sud.
- Pour cela, mettre en place des outils numériques de pilotage en temps réel et des protocoles de validation intermédiaire.

3. Renforcement des moyens logistiques et humains

- Mobiliser davantage de ressources spécialisées (géotechniciens, logisticiens, conducteurs de travaux spécialisés en creusement).
- Améliorer la logistique d'approvisionnement pour éviter les retards de matériaux (notamment en zones enclavées ou en relief).

4. Meilleure anticipation des défis géotechniques

- Renforcer la phase de reconnaissance du sol avec des campagnes d'investigations plus approfondies (forages, essais sur site, etc.).
- Exploiter des logiciels avancés de simulation pour prévoir les risques de glissement, affaissement, infiltrations d'eau, etc.

5. Utilisation optimale des outils numériques

- Uniformiser l'utilisation d'outils numériques de suivi, de modélisation (BIM infrastructure), et de gestion des imprévus.
- Centraliser les informations pour limiter la dispersion des données et fluidifier la prise de décision.

5.6.2 Recommandations générales pour les chantiers Algériens

Au regard des résultats de l'enquête et des comparaisons internationales, plusieurs recommandations s'imposent pour **améliorer la gestion et l'organisation des chantiers à l'échelle nationale** :

1. Renforcer la formation continue

- Former les cadres, chefs de chantier et techniciens à l'usage avancé des outils numériques (BIM, logiciels de planification, outils de communication).
- Organiser des formations régulières sur la gestion des risques, la communication interservices et les techniques de gestion de projet.

2. Institutionnaliser la gestion des imprévus

- Mettre en place un **plan de gestion des risques** formalisé dès la phase d'étude.
- Prévoir des cellules de crise sur site, avec des protocoles clairs d'intervention et de communication.

3. Standardiser et typifier les outils et documents en vue de faciliter leur rédaction et exploitation

- Développer des **modèles de rapports, de tableaux de suivi, de check lists** pour gagner du temps, améliorer la cohérence des informations, et faciliter l'analyse des données.
- Créer une **plateforme collaborative** pour le partage d'informations entre les intervenants.

4. Favoriser une culture de l'anticipation

- Passer d'une approche réactive à une approche proactive : renforcer les audits préalables, planifié avec flexibilité, intégrer les imprévus dans les simulations initiales.
- Encourager la capitalisation des expériences passées pour alimenter les futurs projets.

5. Améliorer la communication sur chantier

- Créer des **canaux de communication efficaces** entre les différentes équipes (groupe de messagerie, outils collaboratifs, réunions quotidiennes).
- Veiller à ce que les informations circulent rapidement et clairement pour limiter les malentendus, conflits ou retards.

6. Adopter une approche plus technologique et collaborative

- S'inspirer des méthodes internationales tout en les adaptant au contexte local (contraintes budgétaires, disponibilité des compétences, topographie).
- Intégrer des solutions numériques à grande échelle (ex : centralisation des données dans le cloud, drones pour le suivi de chantier,...etc.).

5.7 Conclusion :

Ce chapitre a permis de confronter le cas d'étude et la réalisation des tunnels ferroviaires entre Béni Mansour et Bejaïa, à deux projets internationaux de référence : le prolongement de la ligne orange du métro de Montréal et la ligne 15 Sud du Grand Paris Express. À travers une comparaison structurée, plusieurs écarts sont apparus, notamment en ce qui concerne les méthodes de creusement, la coordination des acteurs, l'usage des outils numériques et la capacité à anticiper les imprévus.

L'enquête menée auprès des professionnels de chantier a renforcé ces constats. Elle révèle que les imprévus sont fréquents, souvent liés à des causes météorologiques, logistiques ou humaines, et qu'ils ont un impact significatif sur les délais et parfois sur les coûts ou la qualité. Bien que l'usage des outils numériques soit en nette progression (notamment les messageries instantanées, les tableurs ou les logiciels de planification), leur efficacité reste perçue comme limitée en l'absence d'un cadre organisationnel solide.

Les recommandations proposées s'articulent donc autour de deux axes. D'une part, des pistes concrètes pour améliorer le projet de tunnels à Bejaia : modernisation des méthodes de creusement, adoption d'une démarche Fast-Track, renforcement de la planification et de la gestion des risques. D'autre part, des recommandations générales à l'échelle nationale visant à professionnaliser la gestion de chantier en Algérie : formation continue, meilleure anticipation, digitalisation structurée, standardisation des outils et amélioration de la communication.

Ainsi, cette étude comparative, croisée avec une approche terrain, met en lumière les leviers majeurs à activer pour faire évoluer la gestion des projets d'infrastructure en Algérie vers plus de performance, de résilience et d'innovation.

Conclusion

Conclusion générale :

Ce mémoire a été consacré à l'analyse de la **gestion et de l'organisation de chantiers dans le cadre des projets d'infrastructure**, avec pour objectif principal de comprendre comment améliorer la performance globale d'un chantier en agissant sur les méthodes d'organisation, de planification et de coordination. À travers une démarche à la fois **théorique, comparative et pratique**, le travail a permis d'explorer les bonnes pratiques, d'identifier les limites observées sur le terrain, et de proposer des pistes concrètes d'amélioration.

L'étude a d'abord porté sur deux projets internationaux : l'extension de la **ligne orange du métro de Montréal** au Canada, et la **ligne 15 Sud du Grand Paris Express** en France. Ces exemples ont permis de faire émerger des méthodes de gestion modernes, fondées sur une planification rigoureuse, l'intégration du **BIM** et d'autres outils numériques, ainsi qu'une coordination avancée entre tous les intervenants. Ces projets ont aussi mis en lumière l'importance des outils de suivi de chantier en temps réel, de la gestion prévisionnelle des risques, et d'un encadrement technique bien structuré.

En comparaison, le **cas d'étude local** en l'occurrence le chantier de réalisation des trois tunnels ferroviaires entre Béni Mansour et Bejaia, réalisé par l'entreprise **Cosider TP** — a révélé des méthodes de travail plus classiques, avec une structure d'organisation relativement claire mais encore marquée par certaines limites. L'analyse comparative a montré que, si l'entreprise dispose d'un savoir-faire reconnu, elle reste en retard sur des aspects clés comme l'usage des outils numériques, la gestion prédictive des imprévus, ou encore l'intégration globale de tous les intervenants dès la phase de conception.

Les **enquêtes menées auprès des professionnels de Cosider** ont permis de confirmer ces constats. Les résultats montrent une volonté d'évolution vers des outils plus modernes, mais freinent encore à cause du manque de formation, de ressources ou de vision stratégique à long terme. Les répondants reconnaissent que la gestion des imprévus est souvent traitée de manière réactive, et que les outils numériques pourraient améliorer la performance du chantier s'ils étaient mieux intégrés et accompagnés.

Sur cette base, plusieurs **recommandations ont été formulées**. Pour le **chantier des tunnels en particulier**, il est proposé d'instaurer une cellule de coordination interdisciplinaire plus active, de renforcer l'usage d'outils de planification numérique, et de systématiser le retour d'expérience en fin de projet afin d'améliorer les futures opérations. Pour les **chantiers algériens en général**, il est essentiel de miser sur la **formation continue**, la **transition numérique**, et une **culture de la gestion prévisionnelle**, qui permette d'anticiper au mieux les aléas et d'optimiser l'usage des ressources.

En conclusion, les hypothèses formulées dans l'introduction du mémoire ont été globalement confirmées :

- Oui, une organisation de chantier bien structurée permet de réduire les coûts et les délais tout en maintenant la qualité des travaux.
- Oui, l'intégration progressive d'outils numériques dans la gestion de chantier améliore la coordination, le suivi et la réactivité face aux imprévus.
- Oui, la gestion des aléas et des défis repose sur une préparation rigoureuse, mais aussi sur la flexibilité et la capacité d'adaptation des équipes.
- Oui, le suivi rigoureux et continu du parc à matériels tout en instaurant une maintenance d'urgence efficace et planification anticipative des opérations d'entretien permettra un meilleur rendement dans l'avancement des travaux.

Ce mémoire ne prétend pas apporter toutes les réponses, mais il permet de mieux comprendre les leviers concrets d'amélioration dans les projets d'infrastructure en Algérie. Il appelle à une modernisation progressive, adaptée aux réalités locales, mais ouverte sur les enseignements des expériences internationales. Le **chantier de demain** sera nécessairement plus organisé, plus connecté et plus intelligent – à condition que les acteurs soient prêts à évoluer dans ce sens.

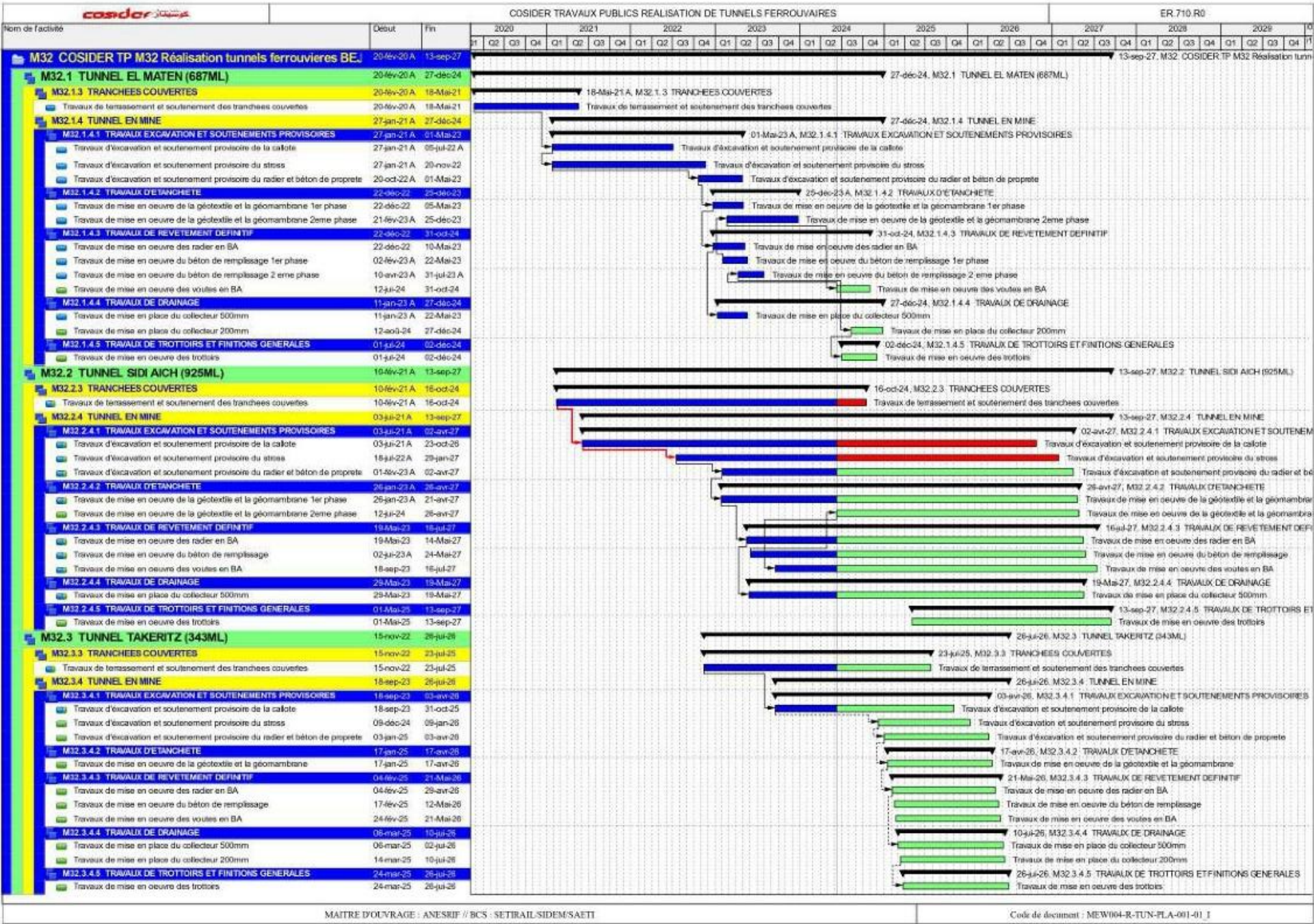
Références bibliographiques

- Algérie360. (2023, juin). Transport ferroviaire : un nouveau train pour la ligne Alger – Béjaïa à partir du 3 juillet. <https://www.algerie360.com/transport-ferroviaire-un-nouveau-train-pour-la-ligne-alger-bejaia-a-partir-du-3-juillet/>
- Appvizer. (n.d.). Logiciels de gestion de chantier. <https://www.appvizer.fr>
- Chryso. (n.d.). Solutions pour le BTP. <https://www.chryso.com/>
- Cosider TP. (2025). Données techniques et organisationnelles du chantier ferroviaire Béjaïa – Béni Mansour [Communication interne].
- Dufour, M. (2003). Prolongement du métro de Montréal vers Laval – Galerie photo. EMDX.org. <http://emdx.org>
- EBC inc. (n.d.). Prolongement du métro vers Laval. <https://www.ebcinc.com/fr/realisation/metro-laval-prolongement/>
- Google Earth. (n.d.). Visualisation du tracé de la ligne ferroviaire Béni Mansour – Béjaïa.
- Grand Paris Express. (2024). La Fabrique du métro dévoile de nouveaux équipements. <https://www.grandparisexpress.fr/actualites/fabrique-metro-devoile-nouveaux-equipements>
- Inconnu. (n.d.). Prolongement du métro de Montréal vers Laval [PDF]. Scribd. <https://fr.scribd.com/doc/11206471/Prolongement-Du-metro-de-Montreal-Vers-Laval>
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). (n.d.). Publications sur la sécurité des chantiers. <https://www.irsst.qc.ca/>
- La Presse. (n.d.). Articles sur le développement du métro de Montréal. <https://www.lapresse.ca>
- Ministère de l'Économie (France). (n.d.). Guide de gestion des risques des projets de construction. <https://www.economie.gouv.fr>
- Primum Transition. (n.d.). Outils et solutions de gestion de chantier durable. <https://www.primum-transition.com/>

- Société de transport de Montréal (STM). (2007). Le métro de Laval – Aux grands maux, les grands moyens ! [Dossier PDF adapté par l’auteur].
- TPF. (n.d.). Duplication de la ligne ferroviaire Béni Mansour – Béjaïa.
<https://tpf.pt/obra.php?s=ferrovias&p=duplicacao-da-linha-ferroviaria-beni-mansour-bejaia&lang=fr>
- Vinci Construction. (n.d.). Projets et expertise en infrastructure ferroviaire.
<https://www.vinci-construction.com/>

Annexes

Annexe 1-



Annexe 2- Evolution des effectifs mois de novembre 2024.(Source : Cosider)

EVOLUTION DES EFFECTIFS														Code SMI :	
														Page : 1 / 1	
PROJET : M 32														Mois:Novembre 2024	
EFFECTIFS		ADMINISTRATION	%	GARDEIENNAGE	%	TECHNIQUE	%	PRODUCTION	%	MAINTENANCE	%	TOTAL	%		
CADRE	17	61%	1	4%	16	48%	13	8%	8	12%	55	17%			
MAITRISE	6	21%	0	0%	9	27%	64	32%	22	32%	91	28%			
EXECUTION	5	18%	27	98%	8	24%	100	60%	38	56%	178	55%			
Total	28	100%	28	100%	33	100%	167	100%	68	100%	324	100%			
ENTREE (N)		ADMINISTRATION	%	GARDEIENNAGE	%	TECHNIQUE	%	PRODUCTION	%	MAINTENANCE	%	TOTAL	%		
CADRE	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%			
MAITRISE	0	0%	0	0%	2	50%	2	67%	0	0%	4	0%			
EXECUTION	0	0%	0	0%	2	50%	1	33%	1	100%	4	0%			
Total	0	0%	0	0%	4	100%	3	100%	1	100%	8	0%			
SORTIE (N-1)		ADMINISTRATION	%	GARDEIENNAGE	%	TECHNIQUE	%	PRODUCTION	%	MAINTENANCE	%	TOTAL	%		
CADRE	0	0%	0	0%	0	0%	1	100%	0	0%	1	0%			
MAITRISE	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	33%	1	0%			
EXECUTION	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	67%	2	0%			
Total	0	0%	0	0%	0	0%	1	100%	3	100%	4	0%			
CONTRAT (DI)		ADMINISTRATION	%	GARDEIENNAGE	%	TECHNIQUE	%	PRODUCTION	%	MAINTENANCE	%	TOTAL	%		
CADRE	0	0%	0	0%	1	0%	0	0%	0	0%	1	0%			
MAITRISE	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%			
EXECUTION	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%			
Total	0	0%	0	0%	1	0%	0	0%	0	0%	1	0%			
SEXE FEMININ		ADMINISTRATION	%	GARDEIENNAGE	%	TECHNIQUE	%	PRODUCTION	%	MAINTENANCE	%	TOTAL	%		
CADRE	2	0%	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	3	60%			
MAITRISE	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%			
EXECUTION	2	50%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	40%			
Total	4	50%	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	5	100%			

OTE 8
CAMERA

OTE 8
CAMERA

Annexe 3-Questionnaire mené pour l'enquête



L'impact des outils numériques et la gestion des défis sur les chantiers



I- Informations Générales :

- Nom : _____
- Poste : _____
- Expérience dans le domaine (en années) : _____
- Nature de votre intervention sur le projet : _____

II- Utilisation des Outils Numériques :

- Quels outils numériques avez-vous utilisés sur ce projet ? _____

(Ex. : logiciels de modélisation, gestion de projet, BIM, etc.)

- À quelle fréquence utilisez-vous ces outils ? _____
(Jamais, Rarement, Parfois, Souvent, Toujours)

3- Impact sur l'Efficacité des travaux

- Dans quelle mesure ces outils ont-ils amélioré votre efficacité au travail ? _____

(Pas du tout, Un peu, Modérément, Beaucoup, Énormément)

- Pouvez-vous donner des exemples concrets où les outils numériques ont permis d'optimiser les processus ? _____

«Réponse ouverte»

4-Impact sur la Facilité de Travail

Les outils numériques ont-ils facilité la communication entre les membres de l'équipe ? _____

(Pas du tout, Un peu, Modérément, Beaucoup, Énormément)

Avez-vous rencontré des défis liés à l'utilisation de ces outils ? Si oui, lesquels ?

(Réponse ouverte)

5- Achèvement des Travaux

Estimez-vous que l'utilisation des outils numériques a eu un impact positif sur le respect des délais ? _____

(Pas du tout, Un peu, Modérément, Beaucoup, Énormément)

Avez-vous constaté une réduction des erreurs ou des retards grâce à ces outils ?

(Oui, Non, Si oui, veuillez préciser)

6-Retour d'expérience

- Quelles fonctionnalités des outils numériques avez-vous trouvées les plus utiles ?

(Réponse ouverte)

- Quels conseils donneriez-vous pour améliorer l'utilisation des outils numériques dans les futurs projets ?

(Réponse ouverte)

- Souhaitez-vous ajouter d'autres commentaires concernant l'impact des outils numériques sur votre travail ?

(Réponse ouverte)

III- La gestion des défis sur les chantiers :

1- Identification des imprévus et des défis :

- Quels types d'imprévus rencontrez vous le plus souvent sur le chantier ?
(Plusieurs choix possibles)

1. ☐ Retards de livraison des matériaux
2. ☐ Problèmes météorologiques
3. ☐ Défaillances techniques ou erreurs de conception
4. ☐ Conflits entre équipes
5. ☐ Accidents ou incidents de sécurité
6. ☐ Contraintes administratives et réglementaires
7. ☐ Autre (préciser) : _____

- Quelle est la fréquence des imprévus sur le chantier ?

1. ☐ Quotidiennement
2. ☐ Une fois par semaine
3. ☐ Une fois par mois
4. ☐ Rarement

2- Méthodes de gestion des imprévus :

- Comment les imprévus sont-ils généralement gérés ?

1. ☐ Réunions d'urgence
2. ☐ Utilisation de logiciels de suivi de chantier
3. ☐ Ajustements du planning
4. ☐ Demandes de ressources supplémentaires
5. ☐ Solutions improvisées sur le terrain
6. ☐ Autre (préciser) : _____

- Y a-t-il un plan de gestion des risques mis en place sur votre chantier ?

1. ☐ Oui
2. ☐ Non
3. ☐ Je ne sais pas

3- Impact des imprévus sur le projet :

- Selon vous, quel est l'impact principal des imprévus ?

1. ☐ Augmentation des coûts
2. ☐ Retards sur le planning
3. ☐ Baisse de la qualité des travaux
4. ☐ Stress et tensions entre les équipes
5. ☐ Autre (préciser) : _____

- En moyenne, combien de jours de retard les imprévus ajoutent-ils au planning ?

1. ☐ Moins d'une semaine
2. ☐ 1 à 4 semaines
3. ☐ Plus d'un mois

4- Rôle des outils numériques dans la gestion des imprévus :

- Utilisez-vous des outils numériques pour anticiper ou gérer les imprévus ?

1. ☐ Oui
2. ☐ Non
3. ☐ Occasionnellement

- Si oui, quels outils utilisez-vous ?

1. ☐ Logiciels de planification (MS Project, Primavera, etc.)
2. ☐ Applications de suivi de chantier (Procore, Fieldwire, etc.)
3. ☐ Tableaux Excel ou Google Sheets
4. ☐ Groupes de messagerie et communication instantanée
5. ☐ Autre (préciser) : _____

- Selon vous, ces outils sont-ils efficaces pour réduire l'impact des imprévus ?

1. ☐ Très efficaces
2. ☐ Moyennement efficaces
3. ☐ Peu efficaces
4. ☐ Pas du tout efficaces

5- Suggestions et recommandations :

- Quelles améliorations proposeriez vous pour mieux gérer les imprévus sur les chantiers ?(Réponse ouverte)

Fin du mémoire
Merci pour votre lecture.