

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275 en vue de l'obtention du diplôme de
Master et diplôme startup-diplôme label

En : Travaux publics

Spécialité : Voie et ouvrage d'art

Par: - BELHADJ KACEM Rihem
- SEBTI Chaimaa

Sujet

***Vers une gestion intelligente du suivi de chantier :
intégration de bots et services cloud***

Soutenu publiquement, le 21 / 06 / 2026, devant le jury composé de :

M. BEKKOUCHE Abdelmalek	Professeur	Université de Tlemcen	Président
M. SOULIMANE Ilyas	MCB	Université de Tlemcen	Examineur
M. DAHHAOUI Hachimi	MCB	Université de Tlemcen	Encadreur
M. HAMZAOUI Fethi	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur

Remerciements

À travers ces quelques lignes, nous tenons à exprimer nos remerciements ainsi que nos respects envers toutes celles et tous ceux qui nous ont aidé à la rédaction de ce travail, que ce soit sur le plan de la recherche ou sur le plan psychologique, par leurs encouragements, leur disponibilité, leur amitié et leurs compétences, nous ayant permis de mener à bien ce travail.

*Tout d'abord, nous souhaitons exprimer nos plus profonds remerciements et toute notre gratitude à nos encadrateurs, monsieur **Fethi HAMZAoui** et monsieur **Hachimi DAHHAoui**, pour leur disponibilité, leur écoute, leur soutien, leur patience et leurs compétences. Ils nous ont toujours dirigés vers le bon chemin. Nous les remercions énormément pour leur gentillesse et leurs précieux conseils.*

*Nous remercions profondément monsieur **Abdelmalek BEKKOUche**, professeur à la faculté de technologie de l'université de Tlemcen, de nous avoir honoré de présider ce jury, d'examiner et de rapporter ce travail.*

*Nous remercions également nos examinateurs monsieur **Ilyes SOULIMANE**, maître de conférences B à la faculté de technologie de l'université de Tlemcen, pour leur lecture profonde ; leur évaluation et d'avoir accepté la tâche de rapporter ce mémoire.*

Nous adressons notre gratitude avec nos profonds sentiments à nos parents, nos grands-parents, nos frères et sœurs, nos tantes et oncles ainsi qu'à nos amis, pour leur soutien et leurs conseils.

Résumé

La digitalisation du BTP en Algérie offre une réponse directe aux *défis* des méthodes traditionnelles (surcharges, retards). En adoptant une approche écosystémique, l'objectif est d'interconnecter les intervenants de chantier, les processus et les outils technologiques pour garantir la traçabilité en temps réel et la compétitivité du secteur.

Cette approche holistique s'articule autour de quatre piliers fondamentaux pour repenser le suivi de chantier : Centralisation et circulation de l'information, Coordination et gestion des processus, Ressources humaines et conduite du changement, Adoption technologique adaptée au contexte algérien.

Dans cette méthode chaque composante décuple la puissance des autres pour transformer fondamentalement les méthodes de travail et la gestion des processus.

L'analyse de cet écosystème en tant que « système » implique que la valeur ajoutée totale est supérieure à la somme des parties par exemple un technicien sur le terrain peut utiliser une application mobile pour interroger oralement l'IA qui ira chercher l'information dans la maquette BIM et utilisera cloud pour reformuler une réponse claire et exploitable sur le chantier.

Les enquêtes menées auprès des professionnels du BTP en Algérie mettant en lumière un secteur en quête de modernisation, mais confronté à de fortes contraintes. La comparaison multicritère montre que la gestion intelligente surpasse les méthodes actuelles en optimisant les coûts, les délais de livraison et la qualité structurelle.

Elle surmonte les contraintes locales grâce à une approche prédictive et centralisée. Cette contribution originale propose une plateforme numérique intégrée, allant au-delà d'une simple combinaison d'outils. En tenant compte des réalités humaines, organisationnelles et technique spécifique au terrain algérien. Cette approche globale optimise l'efficacité, la productivité et la qualité dans le secteur du bâtiment.

Mots clés : Suivi de chantier, BTP, Digitalisation, IoT, Intelligence artificielle, Cloud, Gestion de projet, Coordination, Application.

Abstract

The digitalization of the construction sector in Algeria provides a direct response to the challenges associated with traditional methods, such as cost overruns and project delays. By adopting an ecosystem-based approach, the objective is to interconnect people, processes, and technological tools in order to ensure real-time traceability and enhance the sector's competitiveness.

This holistic approach is structured around four fundamental pillars aimed at rethinking construction site monitoring: Centralization and circulation of information, Coordination and management of processes, Human resources and change management, Technology adoption adapted to the Algerian context.

Within this framework, each component amplifies the effectiveness of the others, fundamentally transforming working methods and process management.

Analyzing this ecosystem as a system implies that the overall added value exceeds the sum of its individual parts. For example, a field technician can use a mobile application to verbally query an AI system, which retrieves information from the BIM model and leverages cloud technologies to provide a clear and actionable response directly on the construction site.

Surveys conducted among construction professionals in Algeria highlight a sector eager for modernization but faced with significant constraints. A multicriteria comparison demonstrates that intelligent construction management outperforms current practices by optimizing costs, delivery schedules, and structural quality.

This approach overcomes local constraints through predictive and centralized management. The originality of this contribution lies in proposing an integrated digital platform that goes beyond a simple combination of tools. By taking into account the human, organizational, and technical realities specific to the Algerian construction environment, this comprehensive approach enhances efficiency, productivity, and quality throughout the building sector.

Keywords: Construction site monitoring, BTP, Digitalization, IoT, Artificial Intelligence, Cloud Computing, Project Management, Coordination, Application.

الملخص

تمثل رقمنة قطاع البناء والأشغال العمومية في الجزائر استجابة مباشرة للتحديات المرتبطة بالأساليب التقليدية، مثل تجاوز التكاليف والتأخر في إنجاز المشاريع. ومن خلال تبني مقاربة قائمة على النظام البيئي الرقمي، يتمثل الهدف في ربط الأفراد والعمليات والأدوات التكنولوجية ضمن منظومة متكاملة تضمن التتبع الآني للمعلومات وتعزيز القدرة التنافسية للقطاع.

ترتكز هذه المقاربة الشمولية على أربعة محاور أساسية لإعادة تصور ومتابعة سير الأشغال في الورشات: مركزية المعلومات وتسهيل تداولها، تنسيق العمليات وإدارتها، تنمية الموارد البشرية وقيادة التغيير، تبني التقنيات الملائمة للواقع الجزائري.

في هذا النموذج، تعزز كل مكونات المنظومة فعالية المكونات الأخرى، مما يؤدي إلى إحداث تحول جذري في أساليب العمل وإدارة العمليات.

إن تحليل هذا النظام البيئي باعتباره «منظومة متكاملة» يعني أن القيمة المضافة الإجمالية تفوق مجموع القيم التي تحققها مكوناته بشكل منفصل. فعلى سبيل المثال، يمكن لتقني ميداني في موقع البناء استخدام تطبيق محمول لطرح استفسار صوتي على نظام ذكاء اصطناعي، يقوم بدوره بالوصول إلى المعلومات المخزنة في نموذج معلومات البناء (BIM)، والاستفادة من تقنيات الحوسبة السحابية لإعادة صياغة الإجابة بشكل واضح وعملي يمكن استغلاله مباشرة في موقع العمل.

وتُظهر الاستبيانات التي أجريت بين مهنيين قطاع البناء والأشغال العمومية في الجزائر أن القطاع يتطلع إلى التحديث والتطوير، لكنه يواجه في الوقت نفسه العديد من القيود والتحديات. كما تبين المقارنة متعددة المعايير أن الإدارة الذكية للمشاريع تتفوق على الأساليب الحالية من خلال تحسين التحكم في التكاليف، وتقليص آجال الإنجاز، ورفع جودة المنشآت.

وتتجاوز هذه المقاربة التحديات المحلية بفضل اعتمادها على إدارة تنبؤية ومركزية للمعلومات والعمليات. وتتمثل المساهمة الأصلية لهذا العمل في اقتراح منصة رقمية متكاملة تتجاوز مجرد الجمع بين الأدوات التكنولوجية المختلفة، إذ تأخذ بعين الاعتبار الجوانب البشرية والتنظيمية والتقنية الخاصة ببيئة العمل الجزائرية. ومن خلال هذه الرؤية الشاملة، يمكن تحسين الكفاءة والإنتاجية والجودة في قطاع البناء بشكل مستدام.

Table des matières

Remerciements I

Résumé II

Introduction générale	1
Chapitre I : Revue bibliographique	4
I.1. Introduction.....	5
I.2. Suivi de chantier	5
I.2.1. Rôle de suivi de chantier	5
I.2.1.1. Définition d'un chantier	5
I.2.1.2. Les intervenants d'un chantier	5
I.2.1.3. Rôle du suivi de chantier.....	6
I.2.1.4. Les étapes d'un suivi de chantier	6
I.2.2. Documents.....	7
I.2.2.1. Planning.....	7
I.2.2.2. Avancement.....	7
I.2.2.3. Rapports et compte rendus	8
I.2.2.4. Plan d'installation de chantier (PIC)	9
I.2.3. Contraintes du suivi de chantier traditionnel.....	9
I.3. Digitalisation des chantiers.....	10
I.3.1. BIM (Building Information Modelling)	10
I.3.1.1. Définition	10
I.3.1.2. Principe	11
I.3.1.3. Avantages.....	11
I.3.1.4. Limites 12	
I.3.2. Application mobiles chantier.....	13
I.3.2.1. Le rôle des applications mobiles	13
I.3.2.2. Digitalisation des applications mobiles	13
I.3.2.3. Importance des applications mobiles dans le BTP	14
I.3.2.4. Nécessités des applications modernes.....	14
I.3.3- Systèmes IOT (internet des objets)	15
I.3.3.1. Définition	15
I.3.3.2. Technologies à l'origine de l'IOT	15
I.3.3.3. Avantages.....	16
I.3.3.4. Limites 16	
I.4. Automatisation et intelligence collaborative	17
I.4.1. RPA (Robotic Process Automation).....	17

I.4.1.1. Définition	17
I.4.1.2. Évolution de la RPA vers l'hyper-automatisation	17
I.4.1.3. Applications de la RPA dans le secteur du BTP	17
I.4.1.4. Avantages	17
I.4.1.5. Limites	18
I.4.2. Chats bots et assistants intelligents.....	18
I.4.2.1. Définition	18
I.4.2.2. Technologies derrière les assistants intelligents	18
I.4.2.3. Avantage	19
I.4.2.4. Limites	19
I.4.3. Agents conversationnels dans le BTP	19
I.4.3.1. Définition	19
I.4.3.2. Cas d'usage : solutions d'IA pour la construction qui surveillent les plannings, les risques et les données de chantier	19
I.4.3.3. Avantages des agents d'IA pour les entreprises de construction et les chefs de projet	20
I.5. Services cloud dans le BTP	20
I.5.1. Cloud Storage (AWS, Azure, Google cloud)	20
I.5.1.1. Définition et principe du stockage cloud	20
I.5.1.2. Les principales plateformes de stockage cloud.....	21
I.5.1.3. Avantages pour la gestion des documents de chantier.....	21
I.5.1.4. Travail collaboratif et accessibilité des données.....	22
I.5.2. Bases données cloud.....	22
I.5.2.1. Définition d'une base de données cloud	22
I.5.2.2. Les différentes formes des bases de données cloud.....	22
I.5.2.3. Cas d'utilisation des bases de données cloud dans le BTP	22
I.5.3. Services serverless (functions)	23
I.5.3.1. Concept et fonctionnement du serverless.....	23
I.5.3.2. Automatisation des tâches et processus de chantier.....	23
I.5.3.3. Optimisation des coûts et flexibilité.....	23
I.5.4. Intégration via API	24
I.5.4.1. Définition	24
I.5.4.2. Intégration via API dans le BTP	24
I.5.4.3. Avantages.....	24
I.6. Travaux similaires	25
I.6.1. Plateformes existantes	25
I.6.1.1. Alobees	26
I.6.1.2. Kalitics	26

I.6.1.3. Bulldozair	26
I.6.1.4. Fieldwire	27
I.6.1.5. Batiscript	27
I.6.2. Limites des solutions actuelles	28
I.7. Conclusion	28
Chapitre II : Suivi traditionnel VS Suivi numérique des chantiers.....	29
II.1. Introduction	30
II.2. Critères de comparaison	30
II.2.1. Temps et réactivité	30
II.2.2. Gestion et circulation de l'information	31
II.2.3. Qualité d'exécution	32
II.2.4. Sécurité sur chantier	33
II.2.5. Traçabilité et archivage	33
II.2.6. Le choix des critères d'évaluation.....	34
II.3. Analyse du suivi de chantier traditionnel	34
II.3.1. Organisation du suivi et modes de travail	35
II.3.2. Gestion des documents et l'information	35
II.3.3. Les contraintes opérationnelles sur le chantier	36
II.3.4. Impact sur les délais, la qualité, la sécurité	36
II.4. Analyse du suivi de chantier numérique	37
II.4.1. Organisation du suivi numérique sur le chantier.....	37
II.4.1.1. La digitalisation des données sur le chantier	37
II.4.1.2. La transmission d'informations en temps réel.....	38
II.4.1.3. Amélioration des processus grâce aux applications spécialisées.....	38
II.4.1.4. Le rôle central de l'humain dans la gestion numérique	38
II.4.2. Centralisation et traitement des données.....	38
II.4.2.1. Le cloud, moteur de la coordination et du suivi de projet	39
II.4.2.2. La capture de la réalité : nuages de points et scans 3D.....	39
II.4.2.3. L'intégration de données multi sources (IoT, UWB).....	39
II.4.2.4. Le traitement des données pour l'analyse de risques dynamiques	40
II.4.3. Suivi en temps réel et aide à la décision	40
II.4.3.1. Un tableau de bord vivant du chantier	40
II.4.3.2. Optimisation de la gestion de chantier grâce à l'estimation future.....	40
II.4.3.3. La réalité mixte pour une aide à la décision immersive	41
II.4.4. Impact sur les délais, la qualité et la sécurité	41
II.4.4.1. Réduction des délais et gain de productivité	41
II.4.4.2. Élévation de la qualité d'exécution	41

II.4.4.3. Renforcement spectaculaire de la sécurité.....	41
II.4.4.4. Impacts sur le bien-être des travailleurs	42
II.5. Comparaison directe entre les deux méthodes :	42
II.5.1. Tableau comparatif global.....	43
II.5.2. Analyse détaillée	43
II.5.2.1. Comparaison des outils de suivi	43
II.5.2.2. Comparaison de la communication entre les acteurs.....	44
II.5.2.3. Comparaison de la gestion des données	44
II.5.2.4. Comparaison en termes de performance globale du chantier	44
II.5.3. Méthodologie comparative : résultat du questionnaire	45
II.5.3.1. Description détaillée	45
II.5.3.2. Présentation des résultats	47
II.5.3.3. Analyse multicritères	47
II.5.3.4. Analyse de choix.....	48
II.5.3.5. L'indice global de performance.....	49
II.6. Transformation digitale du suivi de chantier.....	50
II.6.1. L'évolution organisationnelle des entreprises du BTP	50
II.6.2. Évolution des compétences et des métiers	51
II.6.3. Impact économique et compétitivité	52
II.6.4. Innovation technologique et chantier intelligent.....	53
II.7. Limites du suivi numérique	54
II.7.1. Contraintes techniques	54
II.7.1.1. Problèmes d'intégration des solutions digitales.....	54
II.7.1.2. Capacité technologique limitée.....	55
II.7.1.3. Gestion et fiabilité des données	55
II.7.1.4. Cybersécurité et protection des données.....	55
II.7.2. Contraintes organisationnelles	56
II.7.2.1. Amélioration des méthodes opérationnelles	56
II.7.2.2. Fragmentation du secteur.....	56
II.7.2.3. Coûts d'exécution	56
II.7.3. Acceptation des outils numériques par les acteurs du chantier.....	57
II.7.3.1. Manque de compétences numériques	57
II.7.3.2. Difficulté d'adaptation aux nouvelles méthodes	57
II.7.3.3. Changement des interactions professionnelles	57
II.7.3.4. Besoin d'une direction efficace	58
II.8. Conclusion.....	58
Chapitre III : Analyse des besoins et étude fonctionnelle	59

III.1. Introduction	60
III.2. Présentation du système étudié	61
III.2.1. A qui rend service le système ?	61
III.2.2. Sur quoi agit le système ?	62
III.2.3. Dans quel but ?	62
III.3. Analyse des besoins	63
III.3.1. Acteurs 63	
III.3.2. Fonctionnalités.....	63
III.3.3. Analyse des contraintes	64
III.4. Etude économique du projet.....	67
III.4.1. Etude du marché	67
III.4.2. Etude financière	70
III.5. Conclusion.....	73
Chapitre IV : Etude technique et conception du système	75
IV.1. Introduction.....	76
IV.2. Développement de l'interface et choix technologiques	76
IV.2.1. Présentation des tableaux de bord et des fonctionnalités	76
IV.2.1.1. Authentification.....	76
IV.2.1.2. Tableau de bord MOA.....	77
IV.2.1.3. Tableau de bord de l'entreprise	85
IV.2.1.4. Tableau de bord BET/MOE	89
IV.2.1.5. Tableau de bord chef de chantier	93
IV.2.1.6. Tableau de bord ouvriers.....	97
IV.3. Conclusion	99
Conclusion générale.....	100
Références Bibliographiques	102
Annexes	107

Liste des abréviations

MOA	Maitre d'ouvrage
MOE	Maitre d'œuvre
EAT	Etat avancement des travaux
PIC	Plan d'installation de chantier
BIM	Modélisation des informations du bâtiment
BTP	Bâtiments et travaux publique
ERP	Entreprise ressource planning
IOT	Internet des objets
RPA	Automatisation des processus robotisés
API	Interface de programmation d'applications
IA	Intelligence artificielle
NLP	Traitement du langage naturel
CCTV	Télévision en circuit fermé
AWS	Amazon web services
VM	Machines virtuelles
SQL	Language de requête structurée
NoSQL	Non language de requête structurée
BET	Bureau d'étude technique
CCTP	Cahier des clauses techniques particulières
EPI	Equipement des protections individuelles
PV	Procès-verbal
EDC	Environnement de données commun
SIG/GIS	Système d'informations géographiques
XR	Réalité Étendue
PCD	Point cloud data
UWB	Bande ultra-large
RFID	Identification par radiofréquence
ROS	Système d'exploitation pour robots
VR	Réalité Virtuelle Immersive
GED	Gestion électronique des documents
IGP	Indice global de performance
VAN	La valeur actuelle nette
TRI	Le taux de rendement interne

Liste des tableaux

Tableau 1 : Centralisation VS dispersion des données	31
Tableau 2 : Comparaison des méthodes de suivi de chantier	43
Tableau 3 : Résultat de l'analyse multicritère.	47
Tableau 4 : Échelle de l'analyse multicritère.....	48
Tableau 5 : Calcul de l'indice global de performance (IGP).	49

Liste des figures

Figure 1 : Les intervenants d'un chantier.[2].....	6
Figure 2 : Les étapes d'un suivi de chantier [4]	6
Figure 3 : Exemple de diagramme de Gantt.....	7
Figure 4 : Plan d'installation de chantier [8]	9
Figure 5 : Le BIM.[10]	12
Figure 6 : Présentation de la variante optimale par le graphique « Radar ».....	49
Figure 7 : : Analyse fonctionnelle de l'application de suivi de chantier	66

Introduction générale

L'industrie du bâtiment et des travaux publics (BTP) a une importance cruciale dans l'évolution économique et sociale d'une nation. Il englobe toutes les opérations associées à la planification, à la construction et à l'entretien des infrastructures comme les habitations, les voies de circulation, les ponts, ainsi que les systèmes d'eau et d'énergie. Ces infrastructures sont essentielles pour rehausser la qualité de vie des habitants et accompagner l'expansion des autres secteurs économiques. Le secteur du BTP représente aussi un pilier majeur pour les emplois directs et indirects tout en stimulant l'économie nationale. Le développement de technologies innovantes et de méthodes durables permet également de moderniser les territoires tout en favorisant un développement durable.

Cependant, face aux investissements effectués par l'État, un bon nombre de chantiers continuent de faire face à d'importants obstacles : des délais non respectés, des dépassements budgétaires, des problématiques de qualité et de sécurité, sans oublier une gestion des risques inadéquate. Ces limitations ont un impact sur la rentabilité et la pérennité des projets (McKinsey & Company, 2017).

En Algérie, la plupart des projets sont toujours administrés en suivant des méthodes classiques. Elle s'appuie sur des techniques artisanales, un flux d'information compliqué et une absence de coordination parmi les divers participants (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprises, bureaux de contrôle). Ceci entraîne des anomalies comme des fautes durant l'exécution, des délais dans les décisions, des disputes contractuelles et une hausse des frais associés aux travaux additionnels (Belkadi, 2019).

Dans le contexte de ces défis, il est primordial d'adopter des solutions innovantes basées sur une gestion intelligente du suivi de chantier. L'application d'instruments digitaux, de dispositifs d'information et d'approches contemporaines de gestion de projet pourrait perfectionner la communication parmi les intervenants, améliorer l'organisation des tâches et optimiser la performance générale des projets de construction (Eastman et al., 2018).

Par conséquent, la question principale de ce projet peut être formulée de la manière suivante :

- Comment mettre en œuvre une gestion astucieuse du suivi de chantier pour optimiser le respect des délais, le contrôle des dépenses et la gestion des aléas dans les projets de construction en Algérie ?
- Comment assurer l'efficacité et la sécurité des ouvriers sur les sites de construction ?
- Comment améliorer la communication et la collaboration entre les divers participants au projet ?

Le but principal de ce projet de fin d'études est de développer une méthode de suivi de chantier intelligente, spécifiquement conçue pour le contexte algérien, en vue d'optimiser l'efficacité des projets de construction.

Voici les buts précis que nous visons :

Introduction générale

Explorer les méthodes classiques de suivi de projet et identifier leurs contraintes.

Il est important de souligner l'importance des méthodes et stratégies de gestion intelligente, comme la numérisation, le monitoring en temps réel, l'optimisation des plannings et le soutien dans la prise de décisions.

Suggérer un modèle ou une approche d'observation de chantier optimisée, qui améliore la coordination entre les intervenants du projet.

Participer à l'accroissement de la qualité, de la clarté et de la gestion des projets de bâtiment en Algérie.

Concevoir une plateforme intelligente incorporant des agents virtuels et des solutions cloud pour simplifier la collecte de données, la prise de décision, la traçabilité et l'efficacité globale des projets.

Le mémoire est structuré en quatre sections majeures :

Le premier chapitre traite de la revue bibliographique, explorant à la fois la progression du suivi de construction traditionnel et la transition vers la numérisation. Le second chapitre met en parallèle le suivi traditionnel et le suivi numérique, dans le but de mettre en évidence les avantages que les nouvelles technologies pourraient contribuer à l'administration de chantier. Le chapitre trois expose l'analyse des besoins et l'examen fonctionnel du système suggéré, alors que le chapitre quatre se concentre sur l'étude technique et la création du système. Ce dernier inclut le développement de l'architecture générale, la sélection des technologies, le design des bases de données et des interfaces, ainsi que la validation à travers des tests pratiques.

En conclusion, nous récapitulons l'importance de cette étude, les résultats que nous avons obtenus, et nous proposons une vision pour les futurs travaux dans ce domaine.

Chapitre I :

Revue bibliographique

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous parlons de l'importance du suivi de chantier dans le respect des délais, du coût et de la qualité, sachant que les méthodes traditionnelles, basées sur le papier et les visites des chantiers sur place, présentent des limites en termes de communication et de traçabilité. Aujourd'hui, il existe des outils numériques qui facilitent le suivi de chantier, permettent d'obtenir de bons résultats et renforcent la coordination entre les acteurs.

I.2. Suivi de chantier

Le suivi de chantier est important pour le contrôle de l'avancement des travaux et assurer le respect de délai, coût, et de la qualité.

I.2.1. Rôle de suivi de chantier

Le rôle du suivi de chantier est de coordonner les différentes activités, de vérifier l'avancement des travaux et d'identifier les problèmes pour assurer le bon déroulement du projet.

I.2.1.1. Définition d'un chantier

L'espace où se réalisent des travaux de construction, de réhabilitation, de destruction ou aménagement appelé un chantier. Il assure la réalisation des bâtiments, travaux publics. Il doit respecter une organisation bien définie. [1]

I.2.1.2. Les intervenants d'un chantier

- **Maitre d'ouvrage (MOA)**

Le propriétaire de l'idée, de budget et le délai c'est le maitre d'ouvrage, peut-être une personne physique ou morale. Il désigne le maitre d'œuvre et l'entreprise.

- **Maitre d'œuvre (MOE)**

Il peut être un ou plusieurs professionnelle (architecte, bureau d'étude...) conçoit, contrôle et coordonne le projet.

- **Entreprise**

Les entreprises ont la charge de réaliser les travaux du projet (géotechnique, construction, démolition...).



Figure 1 : Les intervenants d'un chantier.[2]

I.2.1.3. Rôle du suivi de chantier

Le suivi de chantier est important car il permet de contrôler le bon déroulement du projet et d'être alerté en cas de tout problème sur chantier. Il faut assurer que le chantier doit respecter le délai, le budget et le coût.[3]

I.2.1.4. Les étapes d'un suivi de chantier

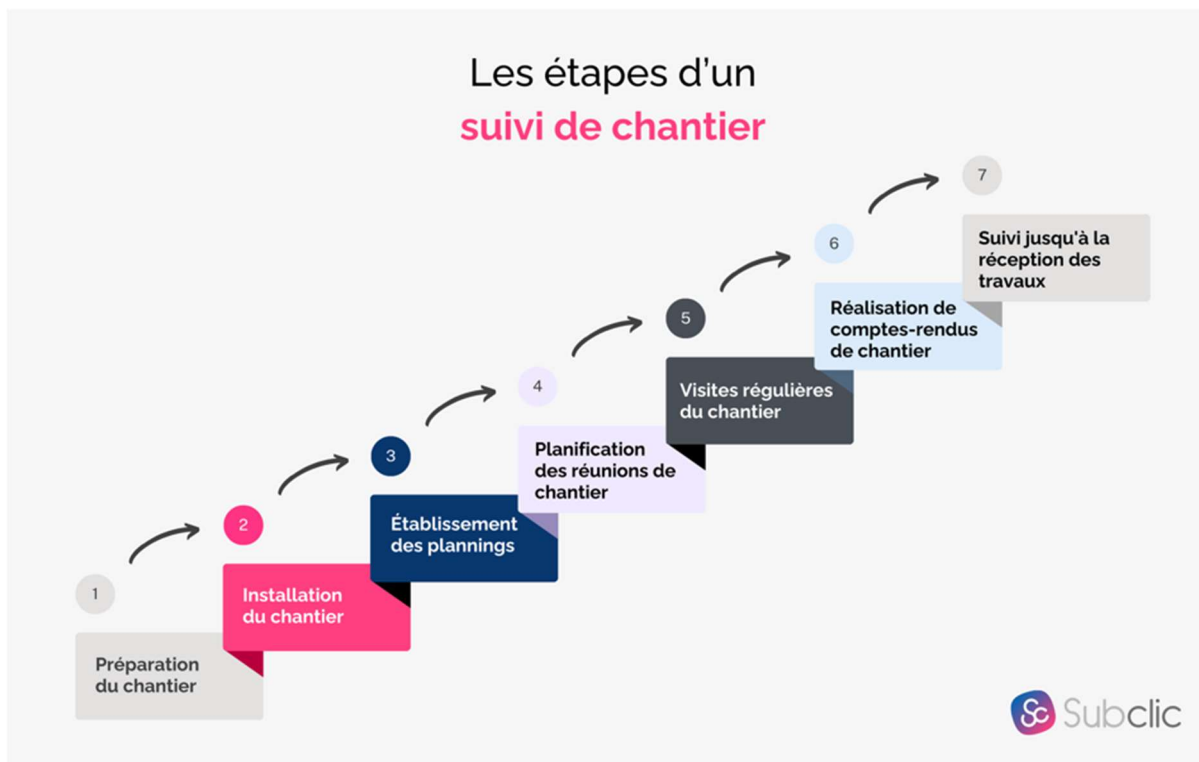


Figure 2 : Les étapes d'un suivi de chantier [4]

I.2.2. Documents

Il existe plusieurs documents dans le suivi de chantier, Parmi ces documents :

I.2.2.1. Planning

Un planning chantier est un document qui décrit les tâches à réaliser, les ressources nécessaires (matérielles et humaines) et les délais impartis pour la réalisation d'un projet de construction. Le planning chantier est généralement représenté sous forme de diagramme de Gantt, qui permet de visualiser les différentes étapes du projet, les dépendances entre les tâches et leurs délais impartis. [5]

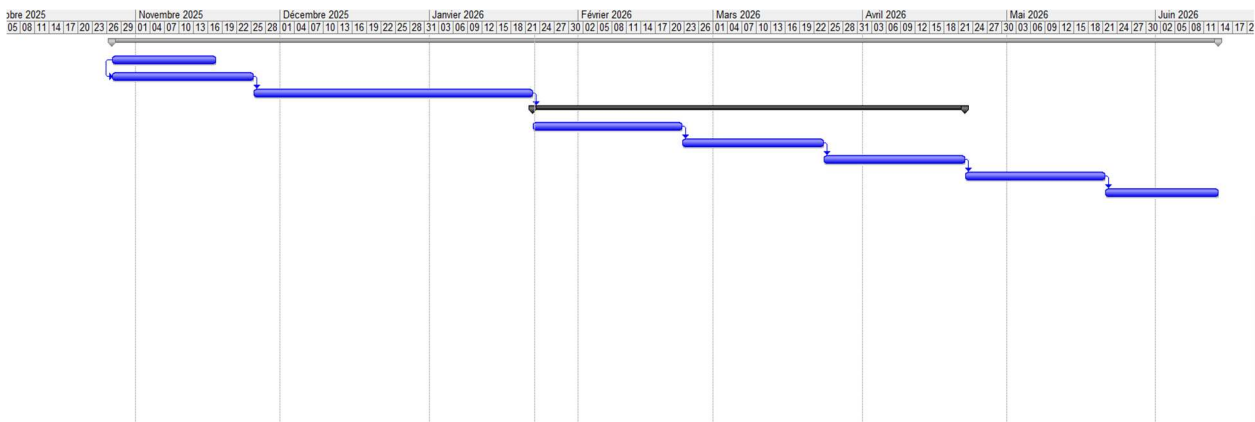


Figure 3 : Exemple de diagramme de Gantt

I.2.2.2. Avancement

L'état d'avancement des travaux (EAT) est important pour la réussite d'un projet de construction. Il offre une évaluation précise de la progression, à la fois quantitative et qualitative, Le suivi de l'avancement d'un chantier permet de prendre des décisions claires et nettes et de rester toujours à jour sur l'état des travaux.

- **EAT Physique (Construction)**

Pourcentage d'achèvement des travaux, nombre de mètres carrés construits, nombre de pièces terminées, volume de matériaux utilisés (m³, tonnes), nombre de jours de travail effectifs.

- **EAT Financier**

Pourcentage de budget dépensé, coût réel par rapport au coût prévu, analyse de la rentabilité, prévision des coûts restants, identification des potentielles économies.[6]

I.2.2.3. Rapports et compte rendus

Dans chaque visites et réunions de chantier. Il est indispensable de faire une rédaction d'un procès-verbal de chantier, aussi appelé compte rendu de chantier ou rapport de chantier.

- **Définition d'un compte rendu/rapport**

Ce rapport, qui peut être journalier ou hebdomadaire, sert donc à documenter l'avancement du chantier et les éléments à revoir ou à modifier. Le maître d'œuvre y consigne habituellement les différentes constatations relevées lors de la visite :

- Ce qui n'a pas été fait.
- Ce qui doit être amélioré.
- Les défauts à réparer.
- Et s'il y a des travaux supplémentaires à prévoir.

L'objectif final étant de veiller à ce que l'ouvrage soit totalement conforme par rapport à ce qui a été annoncé dans le devis. C'est à l'organisateur de la réunion que revient le soin de rédiger le compte rendu de chantier.

- **Contenu essentiel d'un rapport de chantier**

Les informations essentielles que l'on retrouve presque systématiquement sur un compte rendu :

1. Un numéro d'identification unique.
2. Un titre décrivant brièvement l'objet du rapport.
3. L'adresse où se déroule le chantier.
4. Le nom et les coordonnées du commanditaire du projet.
5. La date et l'heure de la visite de chantier.
6. La liste des participants convoqués avec leurs coordonnées, en indiquant les personnes présentes et les absents.
7. L'ordre du jour.
8. Éventuellement, la date de la prochaine réunion.[7]

I.2.2.4. Plan d'installation de chantier (PIC)

Le PIC est le document central qui guide l'organisation du chantier. C'est à la fois une carte et un plan stratégique.

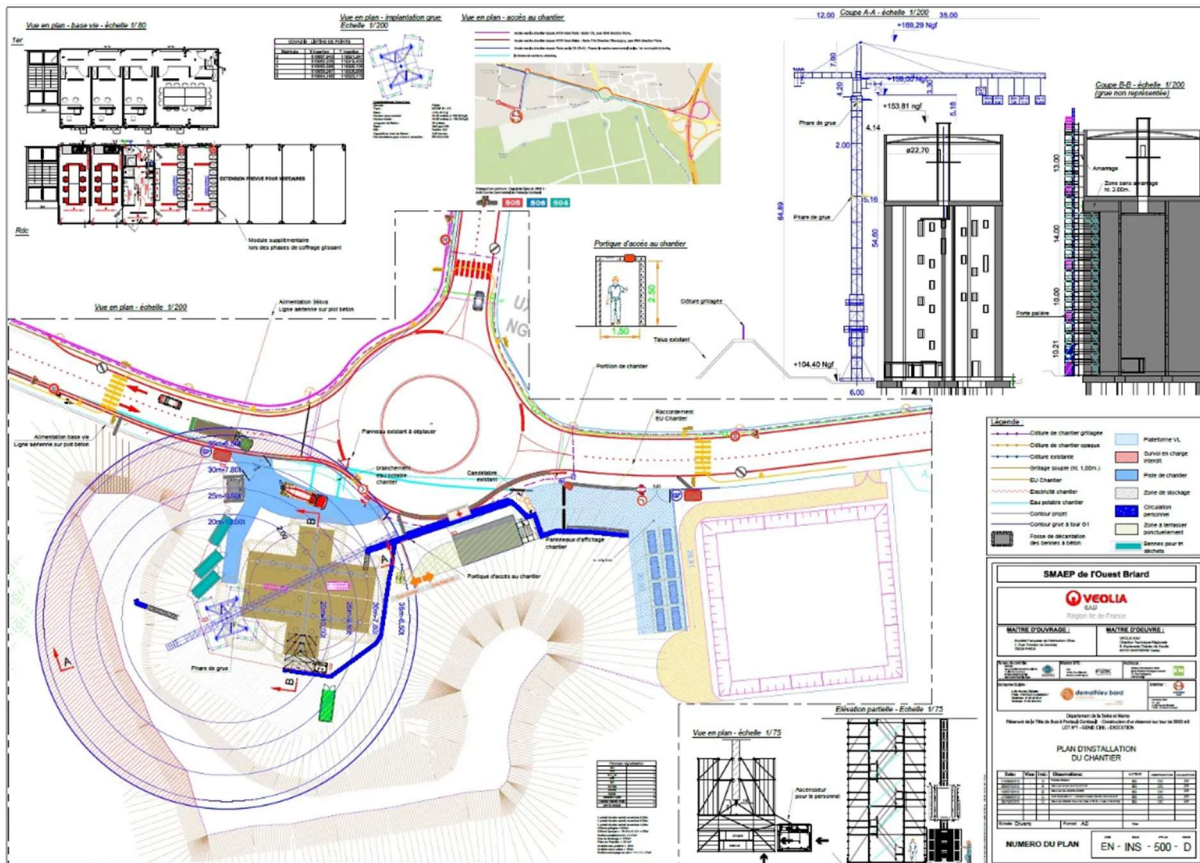


Figure 4 : Plan d'installation de chantier [8]

I.2.3. Contraintes du suivi de chantier traditionnel

- **Archivage des documents :**

L'utilisation des méthodes manuelles sur papier prend beaucoup de temps et peut entraîner des erreurs dans les données.

- **Manque de centralisation :**

Il n'existe pas de support unique regroupant tous les documents, par exemple les rapports sont sur papier, les photos sur téléphone et les plannings sur PC. Ce qui entraîne un risque de perte d'information.

- **Faible traçabilité :**

En cas de risques ou d'accidents sur le chantier, la mauvaise réactivité peut aggraver les problèmes.

- **Difficulté de communication :**

La communication entre les acteurs du chantier se fait en présentiel, ce qui entraîne des difficultés de réunion.

- Malgré l'importance du suivi traditionnel, il comporte plusieurs limites. Donc il est préférable d'utiliser des outils numériques.

I.3. Digitalisation des chantiers

Il existe plusieurs outils numériques qu'on peut utiliser pour améliorer le suivi des chantiers.

I.3.1. BIM (Building Information Modelling)

I.3.1.1. Définition

Le BIM, acronyme de « Building Information Modeling », C'est la modélisation de l'Information du Bâtiment, Représente une nouvelle méthode dans le domaine de la construction. Ce modèle implique la création et la gestion de représentations numériques des caractéristiques physiques et fonctionnelles des lieux. Un projet BIM intègre des données multidimensionnelles dans une maquette numérique, permettant une visualisation et une gestion optimales des informations tout au long du cycle de vie d'un bâtiment. Dans le BIM il n'existe pas juste la modélisation 3D. il associe des dimensions supplémentaires ; le temps (4D), les coûts (5D), la durabilité (6D) et la gestion du bâtiment (7D), permettant ainsi une gestion complète du cycle de vie du projet.

Le BIM repose sur plusieurs composantes essentielles :

- **Modélisation 3D** : la représentation géométrique précise des structures.
- **Données intégrées** : informations détaillées sur les matériaux, les coûts, les calendriers, etc.
- **Collaboration** : plateformes permettant l'interaction entre tous les acteurs du projet.
- **Analyse et simulation** : prévisions des performances énergétiques, analyses structurelles, etc.
- **Gestion du cycle de vie** : suivi et mise à jour des informations de conception à l'exploitation.[9]

I.3.1.2. Principe

Le principe du BIM repose sur l'intégration de toutes les étapes du cycle de vie d'un bâtiment, depuis sa conception jusqu'à sa maintenance, afin d'améliorer la coordination et la gestion du projet.

Et qui est représenté par :

- **Conception** : création des modèles numériques détaillés.
- **Construction** : coordination et suivi des travaux via la maquette numérique.
- **Exploitation** : gestion des opérations et de la maintenance avec des données à jour.
- **Démolition ou rénovation** : planification des interventions futures grâce aux informations stockées.[9]

I.3.1.3. Avantages

- Représente un outil puissant de conception et de visualisation.
- Les maquettes numériques facilitent également la détection des erreurs de conception.
- Réduire les coûts et les délais de rectification.
- La modélisation numérique permet de réaliser des analyses détaillées.
- Facilite également la coordination entre les différentes disciplines, assurant une parfaite cohérence des données.
- Permet une planification précise des travaux.
- Permet d'intégrer directement les spécifications des produits dans la maquette numérique.[9]

I.3.1.4. Limites

- **Coût élevé :**

L'adoption du BIM implique des logiciels spécialisés ainsi que d'équipements informatiques performants. Cette transition peut représenter une charge financière.

- **Nécessite une formation :**

L'utilisation efficace du BIM nécessite que les professionnels développent de nouvelles compétences. Cela suppose la mise en place de formations adaptées, ce qui peut mobiliser du temps et des ressources supplémentaires.

- **Difficulté d'utilisation pour les entreprises non habituées :**

Le passage au BIM peut perturber les modes de travail traditionnels. Pour les organisations peu familiarisées avec les outils numériques, cette transition demande souvent une réorganisation interne et une adaptation progressive.



Figure 5 : Le BIM.[10]

- Compte tenu des contraintes d'adoption du BIM, notamment son coût élevé, la nécessité d'une formation spécifique et son utilisation limitée aux grands projets, nous proposons une application pratique dans le chapitre 4.

Notre application, gratuite et simple, doit être accessible à toutes les entreprises, quel que soit leur taille ou le volume de leurs projets. Elle constitue une première étape essentielle vers la digitalisation du secteur dans notre contexte national.

I.3.2. Application mobiles chantier

I.3.2.1. Le rôle des applications mobiles

Les applications mobiles remplacent les processus manuels et lents par des outils rapides et adaptés aux besoins du chantier, en répondant à trois enjeux essentiels : efficacité, suivi en temps réel et responsabilité.

- **Rapidité des mises à jour** : les équipes peuvent transmettre immédiatement leurs rapports, partager des photos d'avancement et ajuster les plannings directement depuis le terrain, réduisant ainsi les délais et les erreurs.
- **Suivi en temps réel** : les chefs de projet disposent d'une vision instantanée de l'état du chantier grâce à des informations horodatées et géolocalisées, assurant une coordination précise et centralisée.
- **Traçabilité et responsabilité** : les applications permettent d'identifier clairement les interventions de chaque collaborateur, avec preuves visuelles, signatures numériques et possibilité d'exporter les données pour audits ou rapports.[11]

I.3.2.2. Digitalisation des applications mobiles

Les applications mobiles ont profondément changé le domaine du BTP, en remplaçant les méthodes manuelles (papier) par des outils numériques (tableurs et appels téléphoniques) créés pour le terrain. Cette digitalisation offre plusieurs avantages :

- Transmission instantanée des rapports quotidiens, photos et modifications de planning ou de plans.
- Suivi en temps réel pour les chefs de projet.
- Traçabilité et responsabilité
- Automatisation et simplification des chantiers.[11]

I.3.2.3. Importance des applications mobiles dans le BTP

- **Rapidité** : elles accélèrent la circulation des informations et facilitent la prise de décision, limitant les pertes de temps liées aux méthodes classiques.
- **Visibilité** : elles offrent une vision complète et instantanée de l'état d'avancement des travaux aux chefs de projet et aux équipes.
- **Coordination et collaboration** : elles permettent à toutes les parties prenantes de rester coordonnées sur plusieurs sites.
- **Responsabilité et traçabilité** : elles génèrent des pistes des suivis numériques, garantissant que chaque tâche est correctement suivie et validée.
- **Accessibilité et adaptabilité** : créés pour un usage mobile et hors-ligne, avec des interfaces faciles à utiliser, elles sont parfaitement adaptées aux conditions réelles des chantiers. [11]

I.3.2.4. Nécessités des applications modernes

- **Support hors-ligne**

Les chantiers n'ont pas toujours une bonne couverture. L'application doit :

- Fonctionner hors-ligne.
- Stocker photos, rapports et notes localement.
- Synchronisation automatique lors du retour en ligne.

- **Interface simple**

Les équipes terrain n'ont pas le temps pour la formation. L'application doit :

- Ressembler à une messagerie (pas à un tableur).
- Être utilisable avec des gants et des écrans sales.
- Nécessiter zéro saisie clavier.

- **Conçue pour les équipes**

La construction implique des dizaines d'acteurs.

- Contrôles d'accès par rôle.
- Chats de groupe ou tableaux d'équipes.
- Mises à jour en temps réel entre les rôles.

- **Intégration transparente**

Les apps doivent se connecter avec :

- Compte ou ERP.
- Stockage cloud.[11]

- Les applications mobiles de suivi de chantier disponibles sur le marché sont développées dans d'autres pays et adaptées à des contextes étrangers. Donc il est préférable de développer une application algérienne adaptée aux besoins du pays, afin d'améliorer l'efficacité du suivi traditionnel des chantiers.

I.3.3- Systèmes IOT (internet des objets)

I.3.3.1. Définition

L'internet des objets (IOT) regroupe l'ensemble de solutions technologiques qui assure la connexion des objets physiques pour les rassembler, traiter, stocker et partager les données. Aujourd'hui l'IOT est utilisé dans la santé, l'agriculture ; l'industrie.... Ce réseau d'objets connectés rend les systèmes plus efficaces et aide les personnes à prendre de meilleures décisions.

I.3.3.2. Technologies à l'origine de l'IOT

- **Capteurs :** Les capteurs collectent des données physiques et mesurent des éléments tels que la température, l'humidité, la lumière, le mouvement et le son.
- **Technologies de connectivité :** il est obligatoire de connecter les appareils IOT à l'internet pour transférer les données au cloud. Il existe différentes catégories de technologies de connectivité comme Wi-Fi, le Bluetooth, les réseaux cellulaires.
- **Cloud :** dans les plateformes cloud il existe un grand nombre de données qui doivent être traitées, analysées, stockées produit par les appareils de l'IOT.
- **Logiciels :** Les logiciels spécialisés recueillent, stockent et analysent les données collectées par les capteurs IOT. Ils contrôlent les appareils régulièrement à distance.
- **Technologies de sécurité et de confidentialité :** avec l'installation de l'IOT, il y a une croissance des menaces informatiques mais il existe des méthodes technologiques comme le chiffrement, les contrôles d'accès et la détection des intrusions participe à la protection des appareils, les données et les utilisateurs de l'IOT.[12]

I.3.3.3. Avantages

- Réduction des coûts d'exploitation ; Une flotte d'appareils IOT peut aider les entreprises à optimiser leurs flux de travail et à réduire leurs coûts d'exploitation, en raison de leur capacité à collecter des données en temps réel.
- Une productivité accrue ; Associés à des systèmes d'automatisation, ce qui aide à prendre des décisions plus intelligentes
- Une meilleure expérience client ; Les appareils IOT doivent permettre aux entreprises de suivre, surveiller, découvrir et analyser les données des clients plus rapidement.
- Plus d'information sur l'entreprise ; Ils utilisent des caméras connectées et la vision par ordinateur afin d'optimiser l'organisation des rayons selon les déplacements des visiteurs. [13]

I.3.3.4. Limites

Malgré ses nombreux avantages, cette technologie présente certaines limites, telles que :

- Sécurité et confidentialité ; L'intégration de protocoles de chiffrement et de sécurité avec les appareils IOT s'avère souvent difficile.
- Complexité technique ; Bien que les capteurs IOT accomplissent des tâches simples, ils servent principalement à compter ou à mesurer des métriques, leur implémentation se révèle compliquée.
- Connectivité et dépendance énergétique ; De nombreux appareils dépendent d'une alimentation continue ou d'une connectivité Internet pour fonctionner correctement.
- Intégration ; Il n'y a actuellement aucun consensus concernant les protocoles et les normes IOT, Chaque appareil peut nécessiter des configurations et des connexions matérielles différentes, ce qui rend difficile un déploiement efficace.

Des déploiements potentiellement longs et coûteux ; Le déploiement à l'échelle d'un système IOT réclame souvent des investissements importants.[13]

I.4. Automatisation et intelligence collaborative

I.4.1. RPA (Robotic Process Automation)

I.4.1.1. Définition

RPA c'est l'automatisation robotisée des processus « robotique logicielle », est une technologie qui utilise des outils intelligents pour automatiser les tâches de bureau répétitives, Elle combine des API (Permet à différents logiciels de communiquer entre eux.) et des interactions avec les interfaces utilisateur. Et permet de traiter des processus à fort volume de manière autonome, ce qui libère les ressources humaines pour des tâches plus complexes. Elle aide aussi à améliorer l'organisation des travaux par l'utilisation des outils numériques en réduisant l'utilisation du personnel.[14]

I.4.1.2. Évolution de la RPA vers l'hyper-automatisation

Il est important de combiner les outils de RPA avec l'intelligence artificielle (IA). En effet, le RPA se concentre sur l'exécution de tâches centrées sur les processus : il suit des procédures définies et reproduit des actions humaines. Tandis que l'IA se base sur les données pour réfléchir, apprendre et simuler l'intelligence humaine afin d'analyser les informations. Leur combinaison permet d'exécuter les tâches rapidement et efficacement : l'IA aide le RPA à gérer des cas plus complexes et le RPA utilise les informations fournies par l'IA pour automatiser les processus de manière plus fluide.[14]

I.4.1.3. Applications de la RPA dans le secteur du BTP

- Exécution des tâches répétitives automatiquement.
- La gestion des documents administratifs.
- Le suivi des chantiers.
- Le traitement des factures.
- La planification des ressources et l'analyse des données.

I.4.1.4. Avantages

- La RPA facile à utiliser, il ne nécessite pas d'être configurée par un développeur.
- Réduit la charge de travail des équipes en diminuant les erreurs humaines.
- Amélioration de la productivité et le retour sur investissement.
- Une bonne prise de décision.
- Optimisation du temps.[14]

I.4.1.5. Limites

- La RPA réduit certains postes d'entretien.
- La RPA peut exécuter plusieurs tâches simultanément, mais l'extension à l'échelle de l'entreprise est complexe.
- 52 % des entreprises rencontrent des difficultés à faire évoluer leur programme RPA.[14]

I.4.2. Chats bots et assistants intelligents

I.4.2.1. Définition

Le mot chatbot est composé de « chat » (discussion) et « bot » (robot). Il permet aux humains de communiquer, à l'oral ou à l'écrit, en posant des questions ou en formulant des demandes en langage naturel. Le chatbot fournit des réponses rapides aux interrogations des clients, 24h/24, et peut gérer plusieurs conversations au même temps.

On distingue deux principaux types de chatbots :

- **Les chatbots à scénario** : ils suivent un ensemble de décisions définies par l'entreprise pour guider la conversation avec l'utilisateur.
- **Les chatbots intelligents** : ils utilisent le machine learning et le traitement du langage naturel (NLP) pour comprendre les demandes des utilisateurs et y répondre de manière dynamique, sans scénario prédéfini. Ils s'améliorent au fil des échanges.[15]

I.4.2.2. Technologies derrière les assistants intelligents

- **Intelligence artificielle (IA)** : Capacité des chatbots à comprendre le langage et l'intention humaine pour donner des réponses convenables.
- **Traitement automatique du langage naturel (NLP)** : est une technique d'intelligence artificielle, qui analyse le sens des phrases pour définir les mots clé comprendre l'intention d'utilisateur.
- **L'apprentissage automatique (Machine Learning)** : permet au chatbot d'être « auto-apprenants » au fil des interactions avec les utilisateurs, afin de devenir plus précis et pertinent.
- **Arbres de décision** : permet de structurer les réponses en fonction des questions et réponses précédentes des utilisateurs.
- **Base de connaissances** : Fournir des réponses en utilisant les connaissances antérieures.

- **Intégration à des systèmes externes :** Connexion des chatbots aux outils de l'entreprise spécialisée pour des réponses personnalisées en s'appuyant sur les données disponibles.[15]

I.4.2.3. Avantage

- Il offre une disponibilité permanente 24/24h et apporte des réponses instantanées, pour une expérience utilisateur satisfaisante.
- Grâce à l'IA, le chatbot fournit des informations pertinentes et personnalisées en fonction du contexte et du profil utilisateur.
- Il réduit les délais de réponse.
- Diminution des coûts.
- Le chatbot récupère des données précieuses sur le parcours et les besoins utilisateurs pour mieux comprendre les clients et personnaliser les réponses.
- Une bonne prise de décision.[15]

I.4.2.4. Limites

- Le chatbot nécessite une connexion Internet pour fonctionner.
- La communication entre le chatbot et les systèmes BTP peut être difficile.
- Les réponses dépendent des informations fournies par l'utilisateur : si celles-ci sont incorrectes, le chatbot fournira des réponses erronées.

I.4.3. Agents conversationnels dans le BTP

I.4.3.1. Définition

Les agents d'IA sont des logiciels connectés aux outils IOT tels que les capteurs, les drones, les caméras et au BIM sur un chantier. Ils permettent d'analyser les données, de réduire les tâches manuelles, d'accélérer la prise de décision et d'améliorer l'organisation ainsi que la traçabilité du projet.[16]

I.4.3.2. Cas d'usage : solutions d'IA pour la construction qui surveillent les plannings, les risques et les données de chantier

- L'IA examine les photos et les vidéos du chantier prises par des drones ou des caméras CCTV pour suivre l'avancement d'un chantier et créer automatiquement des tableaux de bord pour des chefs de projet.
- L'IA estime les retards et les surcoûts en se basant sur les performances historiques, la météo, les délais de livraison, la productivité des équipes.

- La sécurité est améliorée par les wearables et les caméras qui localisent les dangers ou l'absence d'équipements de protection, bien que La maintenance prédictive réduit les pannes des équipements.
- L'IA facilite le suivi des documents, le respect des normes.
- L'IA est liée aux plateformes BIM et ERP et utilisable par les équipes sur le terrain, permet de suivre les coûts, les délais et l'état général du chantier, ce qui facilite la gestion et la prise de décision. [16]

I.4.3.3. Avantages des agents d'IA pour les entreprises de construction et les chefs de projet

- Les agents de AI permettent de réduire les délais, les reprises de travaux et les surcoûts, tout en augmentant l'efficacité de la productivité et le contrôle financier.
 - Ils permettent de réduire les erreurs et d'améliorer la responsabilité sur le chantier.
 - Ils facilitent la planification des tâches et la coordination des équipes en transmettant aux équipes des listes de tâches précises basées sur l'avancement réel du chantier.
 - En associant l'analyse continue de l'IA à la validation humaine, cette méthode permet de prendre des décisions plus rapidement, d'améliorer la fiabilité des projets et d'optimiser l'utilisation des ressources, tout en générant un retour sur investissement mesurable. [16]
- Dans le BTP, l'automatisation et les agents intelligents ne remplacent pas l'humain, mais ils participent à l'amélioration de la communication, de la gestion des informations et de la prise de décision, ce qui renforce l'efficacité et la qualité des projets.

I.5. Services cloud dans le BTP

I.5.1. Cloud Storage (AWS, Azure, Google cloud)

I.5.1.1. Définition et principe du stockage cloud

Le stockage cloud est un service de cloud computing qui permet de stocker des données et des fichiers sur des serveurs, qui sont des machines virtuelles (VM), accessibles via l'Internet public ou une connexion réseau privée dédiée. Cela permet aux utilisateurs d'accéder aux données à tout moment, contrairement au stockage local sur ordinateur. Les données sont contrôlées par un fournisseur externe, avec des mécanismes de sécurité pour éviter toute perte. Le stockage dans le cloud est économique, car les entreprises ne paient que pour la capacité réellement utilisée. Chaque fichier envoyé sur le cloud peut être consulté et mis à jour depuis plusieurs appareils (PC, tablette, smartphone), ce qui assure une accessibilité constante et une meilleure organisation.[17]

- **Cloud privé** : un cloud sécurisé et contrôlé, réservé à une seule entreprise.
- **Cloud public** : permet de stocker et de partager des données et fichiers, accessible à plusieurs entreprises.
- **Cloud hybride** : combinaison des cloud privé et public, permettant de choisir le type de stockage selon les besoins.
- **Multicloud** : utilise plusieurs fournisseurs pour stocker et gérer les données, contrairement aux autres types de cloud.[17]

I.5.1.2. Les principales plateformes de stockage cloud

- **Amazon Web Services (AWS)**

AWS s'impose comme le leader incontesté du cloud public avec une forte présence mondiale. Il garantit une haute disponibilité et une latence optimisée.

- **Microsoft Azure**

Azure est un cloud hybride, le plus utilisé par les entreprises et administrations, grâce à son intégration native avec l'écosystème Microsoft.

- **Google Cloud**

Il se distingue les données et l'apprentissage automatique (machine learning), définie par son interface simple, son open-source et sa tarification compétitive. Il est moins dominant en parts de marché.[18]

I.5.1.3. Avantages pour la gestion des documents de chantier

- **Gestion hors site** : les entreprises peuvent stocker, contrôler et modifier les données (plans, photos, rapports...) depuis n'importe quel endroit, sans avoir besoin de se déplacer.
- **Mise en œuvre rapide sur les chantiers** : les données sont facilement accessibles et utilisables sans la complexité d'une installation lourde.
- **Économique** : les entreprises paient uniquement pour la capacité de stockage réellement utilisée.
- **Évolutivité** : la capacité de stockage peut s'adapter aussi bien aux petites qu'aux grandes entreprises.
- **Continuité des opérations** : les entreprises peuvent accéder aux données à tout moment, avec une protection et une sécurité renforcée.[17]

I.5.1.4. Travail collaboratif et accessibilité des données

Le cloud facilite la collaboration entre les différents acteurs de chantier :

- Les données stockées sont partagées avec tous les utilisateurs de l'entreprise.
- Le stockage et la modification des fichiers sont accessibles à tous les intervenants du projet.
- La synchronisation automatique entre les appareils permet de mettre à jour les données en temps réel, garantissant ainsi la coordination et la productivité.[17]

I.5.2. Bases données cloud

I.5.2.1. Définition d'une base de données cloud

Une base de données cloud est stockée et gérée sur une plateforme de cloud computing. Cette configuration permet aux utilisateurs d'accéder à leurs données et de les gérer à distance grâce à une variété d'outils et d'applications fournis par le service cloud.[19]

I.5.2.2. Les différentes formes des bases de données cloud

- **Bases de données relationnelles** : ils utilisent un langage de requête structuré (SQL) pour définir et manipuler des données structurées. Elles garantissent l'intégrité des données et permet des requêtes et des transactions complexes.
- **Bases de données NoSQL** : Elles sont conçues pour gérer de gros volumes de données non structurées ou semi-structurées. Contrairement aux bases de données relationnelles.
- **Entrepôts de données** : Elles sont conçues spécifiquement pour le traitement analytique, permettant aux organisations d'effectuer des requêtes complexes et de générer des informations à partir de grands ensembles de données. [19]

I.5.2.3. Cas d'utilisation des bases de données cloud dans le BTP

Il est essentiel pour les entreprises souhaitant optimiser leur infrastructure de données de comprendre dans quels cas tirer parti des bases de données cloud. Voici quelques scénarios clés dans lesquels les bases de données cloud peuvent offrir des avantages significatifs :

- **Startups et petites entreprises** : les entreprises de BTP et les bureaux d'études gèrent et développent leur infrastructure de données sans investissements initiaux lourds.
- **Organisations en croissance** : les entreprises permettent de faire évoluer leurs ressources de manière dynamique pour suivre l'augmentation du nombre de chantiers ou d'équipes.

- **Charges de travail variables** : les entreprises, pendant le travail chargé et les pics, trouvent les bases de données cloud idéals pour gérer les demandes imprévisibles sans surcharger les systèmes.
- **Développement et test d'applications** : les bases de données cloud permettent de développer et de tester des applications.
- **Préparation à la reprise après sinistre** : l'inclusion de bases de données cloud dans une stratégie de reprise après sinistre garantit la redondance des données et facilite une récupération rapide en cas de pannes du système ou d'incidents de perte de données.[19]

I.5.3. Services serverless (functions)

I.5.3.1. Concept et fonctionnement du serverless

Les fonctions serverless sont des extraits de code déclenchés par des événements. Le fournisseur cloud s'occupe de la mise à l'échelle, de la disponibilité et de l'infrastructure automatiquement, sans besoin d'intervention humaine pour gérer les serveurs ni l'infrastructure.

I.5.3.2. Automatisation des tâches et processus de chantier

Dans le BTP, le service serverless a une très grande importance, car il facilite le suivi des projets par la génération automatique des rapports d'avancement des travaux, le stockage des nouvelles données (images par drones, capteurs, etc.) et l'envoi d'alertes aux responsables en cas de risque ou de problème. Tout cela se fait automatiquement et en temps réel.

I.5.3.3. Optimisation des coûts et flexibilité

- **Efficacité économique** : paiement uniquement pour le temps d'exécution.
- **Facilité de gestion** : pas besoin de gérer les serveurs.
- **Mise à l'échelle automatique** : toutes les demandes se font automatiquement.
- **Développement rapide** : facile à connecter sans complication pour créer des serveurs ou installer des logiciels.[20]

I.5.4. Intégration via API

I.5.4.1. Définition

Les API (Interfaces de Programmation d'Applications) assure la liaison entre les différents logiciels ou systèmes, permettant le transfert standardisé d'informations. Elles facilitent la communication entre une application qui envoie une demande et le système qui fournit la réponse. [21]

I.5.4.2. Intégration via API dans le BTP

Dans le secteur du BTP, les API jouent un rôle central pour utiliser les services cloud et les logiciels spécialisés :

- **Communication entre systèmes** : les logiciels de suivi de chantier, de gestion des plannings, du personnel et des matériaux peuvent partager automatiquement des informations.
- **Accès à des services externes** : météo, cartographie, suivi des équipements ou fournisseurs de matériaux.
- **Automatisation et coordination** : les données sont synchronisées en temps réel entre différentes plateformes cloud, réduisant les erreurs et améliorant la productivité.
- **Adaptabilité et évolutivité** : de nouveaux outils ou fonctionnalités peuvent être ajoutés sans perturber les systèmes existants.

I.5.4.3. Avantages

Voici les cinq principaux avantages d'une intégration API :

- **Gagner du temps et des ressources**

Les API font le gros du travail à votre place. Au lieu de tout créer à partir de zéro, vous pouvez utiliser des services existants. Si vous décidez de créer une application de shopping, au lieu de créer votre propre système de paiement (ce qui peut prendre des mois), vous pouvez utiliser l'API de PayPal et faire fonctionner les paiements en quelques jours.

- **Accéder à des services spécialisés**

Les API permettent d'utiliser des services spécialisés au lieu de créer votre propre version amateur. Au lieu d'embaucher des linguistes et de créer des outils de traduction, nous utilisons l'API de Google Translate et accéder instantanément à l'un des meilleurs services de traduction au monde.

- **Relier facilement différents systèmes**

Permettent de brancher les appareils sur n'importe quelle prise de courant dans le monde entier, les API permettent à différents systèmes logiciels de communiquer entre eux en toute simplicité.

- **Restez automatiquement à jour**

Les API permettent de toujours obtenir les informations les plus récentes sans avoir à les communiquer. En effet, le fournisseur d'API se charge des mises à jour et des améliorations, et recevoir que les informations actualisées. En utilisant une API météorologique, obtenir automatiquement les données météorologiques actuelles sans avoir à entretenir des stations météorologiques.

- **Faites évoluer votre entreprise sans souci**

Lorsque l'entreprise se développe, les API peuvent gérer automatiquement l'augmentation de la demande. Si l'application compte soudainement 5 000 nouveaux utilisateurs, les API peuvent automatiquement augmenter la capacité du serveur sans faire quoi que ce soit. Le paiement juste pour ce qui est utilisé, ce qui rend la croissance gérable et rentable.

- L'utilisation des services cloud dans le BTP permet de regrouper et automatiser les informations de chantier, de faciliter la coordination entre les équipes et de prendre des décisions plus rapidement, renforçant ainsi l'efficacité et la productivité des projets.

I.6. Travaux similaires

I.6.1. Plateformes existantes

Le suivi de chantier est une activité complexe qui nécessite des compétences en planification, en organisation et l'application de méthodes rigoureuses. Il englobe de nombreuses tâches, telles que l'établissement des devis, la commande des matériaux, la gestion des sous-traitants et le contrôle du budget. Aujourd'hui, des outils numériques permettent d'automatiser ces opérations, ce qui permet un gain de temps aux responsables de chantier et aux maîtres d'ouvrage.

I.6.1.1. Alobees

Disponible sur PC, mobile et tablette, il est considéré parmi les meilleurs logiciels de suivi de chantier en 2026. Adapté aux petite, moyenne et grande entreprises, il met un suivi en temps réel, des outils d'optimisation des ressources et un planning détaillé.

Parmi ses nombreux avantages :

- Planning et gestion des heures.
- Large panel de fonctionnalités : suivi de chantier en temps réel, mémos, insertion de variables de paie, partage de documents (plan, photos...), etc.
- Connexion possible avec d'autres outils et ERP pour éviter toute double saisie.
- Interface agréable et très intuitive.
- Possibilité d'ajout d'utilisateurs en adaptant leurs accès.
- Support gratuit et illimité.[22]

I.6.1.2. Kalitics

Kalitics est un logiciel destiné aux entreprises du bâtiment. Il propose différents modules pour gérer les projets de l'établissement du devis au rapport de chantier. Il est un outil particulièrement intéressant pour analyser les chantiers et générer facilement des tableaux de bord personnalisés.

Les avantages de Kalitics :

- Des modules optionnels, pour couvrir tout ou partie des activités.
- Possibilités de personnalisation pour créer un logiciel 100% adapté à des entreprises du bâtiment.
- Connexion possible à d'autres ERP.
- Démo gratuite.[22]

I.6.1.3. Bulldozair

Bulldozer offre une méthode de suivi de chantier qui simplifie et optimise la gestion des informations sur les sites de construction. Cet outil réduit le temps passé sur la collecte et la structuration des données. Il permet à ses utilisateurs d'économiser plusieurs heures par semaine.

Ses principaux avantages :

- Planification des tâches.
- Gestion sécurisée des documents, qu'il s'agisse de photos ou de plans.
- Intégration mobile.
- Gestion des tâches.
- Compatibilité avec d'autres logiciels et service.
- Synchronisation et partage de fichiers.[22]

I.6.1.4. Fieldwire

Fieldwire est utilisé dans plus d'un million de projets à travers le monde. Le logiciel s'adresse aux chantiers de toutes tailles, et vise à améliorer la communication et la coordination entre les sites et les bureaux administratifs.

Parmi les avantages de Fieldwire :

- Coordination sur site.
- Suivi de performance.
- Gestion des risques.
- Accès mobile aux plans.
- Annotations et sauvegardes définitives [22]

I.6.1.5. Batiscript

Batiscript est un outil collaboratif créé pour les professionnels du BTP et de la promotion immobilière, permettant de suivre l'ensemble d'un projet, de l'appel d'offres jusqu'à la fin de la garantie d'achèvement. Il centralise la gestion des équipes, des délais et des réserves dans une interface unique.

Principaux avantages de Batiscript :

- Permet de signer électroniquement les documents de manière sécurisée, pour accélérer la validation des marchés entre maître d'œuvre et maître d'ouvrage.
- Offre la création rapide de comptes rendus de chantier personnalisés.
- Simplifie le suivi et la résolution des réserves, avec la possibilité d'ajouter des photos et des formulaires pour chaque intervention.
- Facilite le suivi de l'avancement des travaux via des grilles de cotation ajustables selon les besoins du projet.
- Propose une application ergonomique et intuitive, accessible depuis le chantier comme depuis le bureau, pour consulter plans, notes et documents.[23]

I.6.2. Limites des solutions actuelles

Même si la digitalisation de suivi de chantier offre de nombreuses fonctionnalités et avantages, elle présente plusieurs limites, notamment :

- Le coût élevé de certaines solutions.
 - La complexité d'utilisation
 - La nécessité d'une connexion internet
 - Le logiciel ne suffit pas seul, il faut avoir le bon matériel pour l'utiliser efficacement sur le terrain.
 - L'utilisation des logiciels sur le chantier peut être difficile sans téléphone ou tablette adaptée.
 - Le manque d'automatisation et d'intelligence
- Les solutions de suivi de chantier renforcent la gestion et coordination des travaux, mais ils restent limités par des contraintes comme le coût, la complexité et l'accès sur le terrain. Cela montre qu'il existe encore des possibilités pour améliorer et innover ces outils.

I.7. Conclusion

Il est important de moderniser le secteur du BTP et de renforcer l'efficacité des projets. L'utilisation d'outils numériques permet d'optimiser la gestion, de faciliter la communication et la prise de décision, tout en réduisant les erreurs et les retards, malgré certaines limites telles que le coût et la formation obligatoire.

Chapitre II :

Suivi traditionnel VS Suivi numérique des chantiers

II.1. Introduction

Pour assurer la réussite d'un projet de construction, un suivi de chantier structuré et bien organisé est essentiel. Il permet de contrôler l'avancement des travaux, d'assurer la coordination entre les différents intervenants et de vérifier la conformité des réalisations par rapport aux exigences techniques et contractuelles. Il est donc important d'étudier attentivement ce processus afin de garantir le respect des délais, des coûts et des exigences de sécurité. Ainsi, la comparaison des différentes méthodes de suivi de chantier permet d'identifier l'approche la plus adaptée et la plus efficace.

II.2. Critères de comparaison

Pour faire la comparaison entre le suivi traditionnel et le suivi numérique nous avons adopté les critères suivants, afin de montrer l'importance de chaque suivi, et finalement de déterminer lequel est le mieux adapté pour un chantier.

II.2.1. Temps et réactivité

Le temps est un facteur important dans le secteur du BTP pour la réussite d'un projet. Le suivi de chantier est basé sur un planning contractuel qui fixe chaque tâche avec ses délais. Si ces délais ne sont pas respectés, les travaux peuvent être retardés, et ce retard peut engendrer des contraintes qui influencent le bon déroulement du projet.

- **L'impact des délais sur les clauses contractuelles**

Les délais ont une relation directe avec les clauses contractuelles. En cas de non-respect des délais, le maître d'ouvrage peut appliquer des amendes, ce qui peut entraîner une mauvaise réputation sur le marché ainsi qu'une perte financière représentée par : la prolongation de la location du matériel, le maintien du personnel sur site, l'augmentation des charges générales.

- **Rapidité de prise de décision**

La rapidité de la prise de décision joue un rôle important dans le respect des délais, afin de limiter les perturbations et maintenir l'avancement des travaux, ce qui contribue à la réussite du projet.

Cette rapidité repose sur la disponibilité des informations indispensable. Ce type de problème existe beaucoup plus dans le suivi traditionnel à cause du manque d'information.

II.2.2. Gestion et circulation de l'information

Un chantier de BTP peut être considéré comme un système complexe à cause de la participation de plusieurs intervenants : le maître d'ouvrage (MOA), le bureau d'étude technique (BET), les entreprises, les sous-traitants et les fournisseurs.

Chaque acteur a un rôle précis. Une circulation fluide et rapide entre eux contribue au succès de la gestion du chantier.

- **L'Organisation des informations**

Dans un chantier de BTP, on peut avoir deux types d'information : [tableau1]

Tableau 1 : Centralisation VS dispersion des données

Information centralisées	Information dispersées
Les données sont regroupées dans un seul support.	Les données sont réparties sur plusieurs supports.
Consultation et suivi facile.	Consultation et suivi difficile.
Coordination fluide entre les intervenants du chantier.	Coordination ralentie entre les intervenants du chantier.
Gain de temps et réduction des erreurs.	Risque des retards et pertes d'information.
Suivi clair, efficace et performant.	Gestion compliquée.

- **Risque de perte et de mauvaise interprétation des informations**

Lorsque les informations sont dispersées entre plusieurs services, elles peuvent facilement être perdues ou mal classées. Par exemple, l'utilisation de documents papier mal archivés peut entraîner une désorganisation importante. Cela influence directement le déroulement du projet en provoquant un mauvais planning ainsi qu'une transmission incorrecte des informations entre les différents intervenants.

Même si l'information reste disponible, il existe toujours un risque de mauvaise interprétation ce qui peut engendrer des erreurs dans l'exécution des travaux.

- **Traçabilité et responsabilité**

Il est essentiel que chaque tâche réalisée sur le chantier soit clairement enregistrée afin d'identifier le responsable en cas de problème. Un manque de suivi ou une traçabilité insuffisante des travaux peut compliquer l'identification des erreurs et rendre difficile la prise de décisions correctives.

II.2.3. Qualité d'exécution

L'exécution des travaux doit respecter les plans afin d'assurer la durabilité et la sécurité des ouvrages. La qualité d'exécution dépend notamment :

- **Du contrôle du chantier :**

Le contrôle du chantier constitue un élément clé pour garantir la conformité des travaux réalisés. Il permet de vérifier que les normes et les exigences techniques sont respectées.[24]

- **Du respect de CCTP :**

Le CCTP définit les méthodes à appliquer, les matériaux à utiliser ainsi que les exigences techniques du projet. Son respect est indispensable pour assurer la bonne réalisation des travaux et éviter les malfaçons.

- **De la non-conformité :**

La non-conformité correspond à un écart entre les travaux réalisés et les exigences prévus dans les plans, les normes ou le CCTP. Elle peut concerner les matériaux utilisés, les dimensions ou les méthodes d'exécution.

Elle peut entraîner des retards, des coûts supplémentaires et affecter la qualité du projet.

- **Des procédures de contrôle :**

Il faut contrôler le chantier avant l'exécution des travaux et après leur réalisation. Ce contrôle dépend des différents aspects du chantier :

- a. La vérification des matériaux utilisés.
- b. Le respect des méthodes de travail prévus.
- c. La conformité des dimensions et des mesures.

II.2.4. Sécurité sur chantier

Le chantier est exposé à des risques, car c'est un environnement complexe en raison de l'existence des plusieurs machines, matériaux et acteurs, les incidents peuvent s'aggraver si les mesures et les EPI ne sont pas respectés, Donc, il faut appliquer la sécurité dans toutes les phases du chantier.

- **Obligation règlementaire**

Le cahier de charge rassemble des règles et des normes de sécurité. Il est obligatoire de les suivre pour assurer la protection des travailleurs et garantir la sécurité des travaux. L'inobservation des ces règles peut causer des risques financiers et humains.

- **Suivi des incidents**

Il faut générer et analyser des PV et des rapports lorsqu'un problème ou un accident se produit. Cela permet de détecter les causes des désordres et par conséquent, d'éviter que le problème ne s'aggrave.

- **Prevention**

Pour éviter tous les problèmes sur chantier, il faut :

- Informer les équipes.
- Assurer l'entretien des équipements.
- Détecter les zones dangereuses.
- Trouver des solutions afin de limiter les accidents.

II.2.5. Traçabilité et archivage

Dans le contexte de BTP, la traçabilité et l'archivage des documents occupent une place indispensable en raison de leur importance juridique.

Tout évènement survenant sur chantier doit être consigné afin de permettre l'analyse des données technique et financières.

- **Importance juridique des documents**

Tous les documents trouvés sur chantier sont d'une grande importance. En cas de litige, nous pourrions nous y référer afin de déterminer la cause, le responsable et toutes les informations nécessaires relatives à l'incident. Il faut que les documents soient clairs et bien conservés.

- **Archivage des documents**

Il est obligatoire de préserver les documents en précisant leur date et leur auteur, et de conserver l'historique d'une manière organisée pour faciliter le suivi et le contrôle, et garantir toutes les informations du projet.

- **Preuve en cas de conflit**

En cas de problème, que ce soit à l'amiable ou devant une instance juridique, les documents archivés deviennent une preuve solide pour résoudre les problèmes.

II.2.6. Le choix des critères d'évaluation

Les critères sélectionnés permettent de mesurer la performance et l'efficacité des outils étudiés, selon les dimensions techniques, économiques et fonctionnelles.

Le choix de ces critères repose sur :

- Les critères doivent être liés aux problématiques du chantier (respect des délais, coût, sécurité).
- L'évaluation des critères doit se faire d'une manière quantitative et qualitative.
- Ils doivent permettre une comparaison facile entre le suivi traditionnel et numérique.
- Les critères doivent être reconnus et respecter les normes et les règles de la gestion de projet.
- Les critères tiennent compte des spécificités des chantiers de BTP.

II.3. Analyse du suivi de chantier traditionnel

Le contexte de la concurrence qui prévaut dans le secteur du BTP entraîne une exigence de rigueur dans la maîtrise des coûts sur le site de production qu'est le chantier.

Une culture de rigueur doit donc être adoptée à tous les niveaux de responsabilité, et celle-ci s'articule autour de trois points clés :

- Le contrôle de l'avancement physique du chantier.
- Le contrôle des dépenses par rapport au budget.
- Le contrôle des résultats.

La direction du chantier choisit l'orientation du suivi en fonction des travaux que l'on désire suivre. Ce suivi doit être réalisé à tous les niveaux de responsabilité (du pointeur au directeur des travaux).

Il est donc primordial que l'encadrement du chantier mette en place le système de gestion dès la préparation du chantier et instaure au démarrage du chantier un système rigoureux du suivi budgétaire.

II.3.1. Organisation du suivi et modes de travail

L'organisation de suivi traditionnelle s'articule autour d'une structure hiérarchique claire comprenant le maître d'ouvrage (MOA), le maître d'œuvre (MOE), le bureau d'étude (BET) et les entreprises. Le mode de travail est basé sur des interventions physiques sur site et de contrôle visuel régulier. Les instructions sont transmises par des ordres de services et des PV écrits. La communication se fait en présentiel suit une voie officielle et structurée. Chaque décision doit être validée et consignée dans un document formel afin d'assurer la traçabilité des actions réalisées.

II.3.2. Gestion des documents et l'information

Le document souligne que la gestion documentaire constitue un élément fondamental du suivi traditionnel. Les plans, cahiers de charges, devis et métrés représentent les références essentielles pour l'exécution des travaux.

La transmission de l'information se fait par ;

- Document papier.
- Courrier officiel.
- Compte rendu de réunion.
- Ordre de service.

Chaque modification ou ajustement du projet doit être formalisé par écrit afin d'éviter tout problème entre les parties. [25]

Cependant, bien que l'utilisation des documents écrits soit utile, l'accès aux l'anciens fichiers présente parfois des difficultés en raison du volume important des documents.

II.3.3. Les contraintes opérationnelles sur le chantier

Le chantier est un environnement complexe exposé à plusieurs risques. Ces contraintes influencent le déroulement des travaux et la qualité du projet.

Parmi ces contraintes :

- Les retards
- Les modifications imprévues
- Les problèmes de coordination
- Les conditions extérieures

Le suivi traditionnel basé sur des contrôles périodiques, peut rencontrer des difficultés à réagir rapidement aux imprévus. Les décisions nécessitent une validation, ce qui peut ralentir la résolution des problèmes.

La présence de plusieurs intervenants sur le chantier constitue un facteur de complexité. La communication entre eux nécessite une organisation rigoureuse pour éviter les problèmes.

II.3.4. Impact sur les délais, la qualité, la sécurité

Le suivi traditionnel influence trois paramètres importants : les délais, la qualité, la sécurité

- **Impact sur les délais :**

Le respect du planning du projet repose sur l'application des principes de planification. Le recours au méthode traditionnelles peut entrainer des retards et le non-respect des délais impartis.

- **Impact sur la qualité :**

La qualité est assurée par des contrôles techniques, des inspections et de la vérification de la conformité aux documents contractuels. Toute erreur d'interprétation ou utilisation d'un document non actualisé peut entrainer des non-conformités.

- **Impact sur la sécurité :**

La sécurité est basée sur le respect des normes et le contrôle sur le chantier. Les règles sont communiquées lors des réunions et à travers des documents officiels.

Ces impacts sont dus à l'utilisation de suivi traditionnel qui est basé sur :

- L'utilisation des appels téléphoniques
- Les réunions en présentiel
- Les PV et les rapports sur papier

Cela indique que le suivi des travaux doit être amélioré.

II.4. Analyse du suivi de chantier numérique

Le secteur de BTP a connu un développement important ces dernières années. L'utilisation du papier et des méthodes traditionnelles est devenue difficile, engendrant des problèmes et des retards. Cela explique que le suivi des chantiers s'appuie maintenant sur des outils modernes afin de faciliter le travail.

II.4.1. Organisation du suivi numérique sur le chantier

L'organisation du suivi numérique repose sur la mise en place des nouvelles méthodes qui assurent une coordination entre le terrain et le reste de l'équipe projet.

II.4.1.1. La digitalisation des données sur le chantier

Grace aux outils numériques comme le cloud computing et les appareils mobiles, le maître d'œuvre peut accéder aux données du projet sur le chantier et les envoyées aux employés via les smartphones et les tablettes. Cette étape est importante, car elle transforme la tablette de l'ouvrier ou du chef de chantier en une fenêtre interactive sur la maquette numérique.

La centralisation des données repose sur le concept de l'environnement des données commun (EDC), dont le rôle est de rassembler l'ensemble des informations et de garantir un système de surveillance efficace, en permettant de voir et comprendre toutes les parties d'un chantier.[26]

II.4.1.2. La transmission d'informations en temps réel

La technologie mobile basée sur le cloud permet d'offrir les données à ceux qui en ont besoin au moment abordable. En pratique, cela signifie qu'un intervenant sur le chantier peut vérifier des informations détaillées directement sur sa tablette, sans interrompre sa tâche.

L'entreprise canadienne Pomerleau a poussé cette logique encore plus loin en intégrant BIM et SIG (Systèmes d'Information Géographique). Cette intégration a permis de construire sept silos de 45 mètres de haut en seulement six jours avec une précision centimétrique, démontrant que l'organisation numérique bien pensée accélère radicalement l'exécution.[27]

II.4.1.3. Amélioration des processus grâce aux applications spécialisées

L'organisation ne se limite pas à la consultation. Les applications mobiles de gestion sur site aident les maîtres d'œuvre à organiser les processus de chantier tels que les listes de contrôle de la qualité, la sécurité et la mise en service.[28]

Ces applications transforment les documents papier a un système numérique.

Le projet HumanTech, piloté sur un chantier réel à l'Université de Bâle, a développé des interfaces en réalité mixte (BIMSpace XR) qui permettent aux professionnels d'inspecter les éléments critiques de sécurité de manière immersive, directement sur le terrain, avec un alignement parfait entre le modèle numérique et la structure physique grâce à des marqueurs de référence.[29]

II.4.1.4. Le rôle central de l'humain dans la gestion numérique

L'utilisation d'outils numériques facilite le travail, mais cela ne signifie pas d'abandon de l'aspect humain. Le système proposé surveille directement les travailleurs et les risques pendant les opérations et évalue l'efficacité de la détection des problèmes. L'objectif est de garantir que le système soutienne efficacement les équipes sur le terrain et rende le travail plus sûr et plus simple.

II.4.2. Centralisation et traitement des données

Le suivi numérique est basé sur sa capacité à collecter, regrouper et analyser les données du chantier.

II.4.2.1. Le cloud, moteur de la coordination et du suivi de projet

Le cloud permet de centraliser directement toutes les informations captées sur le chantier afin d'améliorer la collaboration et l'efficacité des projets pour les équipes intégrées.[28]

Sur le chantier de l'hôpital Queen Mary (Hong Kong), le système de surveillance géré par le Centre de Contrôle centralise toutes les données. Par exemple, le système assure une surveillance en temps réel des opérations de levage des grues à tour et déclenche une alarme si des travailleurs entrent dans une « zone dangereuse », permettant aux ingénieurs de réagir instantanément.[30]

II.4.2.2. La capture de la réalité : nuages de points et scans 3D

Une étude publiée en 2025 dans la revue Sensors démontre l'utilisation de données de nuages de points (PCD) combinées à des capteurs IoT pour créer une plateforme de surveillance intégrée. La précision de représentation du site par PCD atteint 98,3 %, contre des limites importantes pour les modèles BIM statiques.[32]

Le projet HumanTech a développé des pipelines de scan automatisés utilisant des drones, des robots terrestres et des scanners manuels. Comme l'explique Sebastian Mattes, spécialiste chez Implenia : « Capturer les nuages de points est en réalité la partie la plus simple ; le vrai défi réside dans le traitement des données et l'extraction d'informations significatives à partir de millions de points ».[29]

II.4.2.3. L'intégration de données multi sources (IoT, UWB)

La centralisation moderne intègre des flux de données variés :

- **Capteurs de température** : utilisés pour mesurer la température des matériaux et des équipements du chantier afin de suivre les conditions de travail et l'état des matériaux. Cela permet de prévenir les risques liés à la chaleur ou au froid, de garantir la qualité des matériaux et améliorer la sécurité des travailleurs.
- **Systèmes de localisation UWB** : utilisés pour détecter la position des travailleurs avec une grande précision. Ils permettent d'améliorer la sécurité des travailleurs et de localiser les équipes pour mieux organiser le travail ou intervenir rapidement en cas d'incident.

- **Autres capteurs IoT pour la surveillance environnementale :** utilisés pour surveiller des différents paramètres environnementaux. Ils Permettent de prévenir les risques liés aux conditions environnementales, comme les inondations, les sols instables ou les conditions dangereuses pour le travail sur chantier.[31]

II.4.2.4. Le traitement des données pour l'analyse de risques dynamiques

Une recherche publiée dans Advanced Engineering Informatics présente un système révolutionnaire qui utilise des données CCTV traitées par vision par ordinateur pour identifier les zones de danger. Ces informations sont intégrées dans un modèle BIM sous forme des cartes de risques mises à jour en temps réel, permettant de prévenir les désordres.[32]

II.4.3. Suivi en temps réel et aide à la décision

Grâce à la fluidité des données, le pilotage du projet devient dynamique et permet une prise de décision éclairée et rapide.

II.4.3.1. Un tableau de bord vivant du chantier

Le suivi en temps réel est une étape indispensable dans l'organisation numérique.

L'entreprise Skanska, sur le projet du Simmons University Living and Learning Center à Boston (311 millions de dollars), utilise la plateforme Evercam avec des caméras time-lapse. Les chefs de projet peuvent suivre les jalons, évaluer la performance et même visionner la démonstration de démolition depuis leur bureau, améliorant considérablement la réactivité.[26]

II.4.3.2. Optimisation de la gestion de chantier grâce à l'estimation future

En utilisant les informations archivées, il est possible de prédire les accidents avant qu'ils ne se produisent afin d'améliorer la sécurité.

Le système développé par Kulinan et ses collègues utilise des données CCTV historiques pour examiner l'évolution des schémas de risque au fil du temps et identifier les zones de travail où des incidents évités de justesse (Near-misses) ont eu lieu. Cette approche prospective fournit aux responsables sécurité des informations précieuses pour anticiper les risques futurs.[32]

II.4.3.3. La réalité mixte pour une aide à la décision immersive

Cette technologie permet :

- L'inspection interactive des éléments critiques de sécurité.
- La détection et l'annotation des écarts de conception ou des dangers.
- La synchronisation des problèmes avec les plateformes.
- Des sessions collaboratives multi-utilisateurs pour la formation à la sécurité.[29]

II.4.4. Impact sur les délais, la qualité et la sécurité

L'ensemble de ces innovations numériques a un impact positif sur les délais, la qualité et la sécurité du projet.

II.4.4.1. Réduction des délais et gain de productivité

- L'intégration BIM-GIS chez Pomerleau a permis de terminer un projet 33 % plus rapidement que prévu, avec sept silos construits en seulement six jours.[27]
- Skanska a économisé au moins 25 heures d'enquêtes et de documentation suite à un incident imprévu grâce à l'analyse des enregistrements vidéo.[26]

II.4.4.2. Élévation de la qualité d'exécution

La qualité est améliorée à chaque étape grâce à ces technologies :

- **Prédiction de la résistance du béton** : suivi la résistance du béton en temps réel par l'utilisation des capteurs intégrés dans le béton pour travailler en toute sécurité.
- **Préfabrication de précision** : facilite la fabrication des éléments complexes du bâtiments grâce au BIM, puis simplement assemblés sur le chantier.[35]
- **Contrôle continu** : détection des erreurs grâce au scanner 3D. [31]

II.4.4.3. Renforcement spectaculaire de la sécurité

La sécurité constitue l'impact le plus important sur le chantier.

- **Technologies avancées pour la sécurité**
 - **Cartographie dynamique des dangers** : la visualisation de l'évolution des risques grâce à des systèmes AI qui permettent de visualiser les zones de danger sous forme de cartes de chaleur 3D dans l'environnement BIM.

- **Détection automatisée des dangers** : des systèmes intégrant ROS (Robot Operating System), vision par ordinateur et BIM permettant une détection continue des dangers et un suivi en temps réel des travailleurs et des risques.
- **Surveillance des zones dangereuses** : surveillance des opérations sur chantier en temps réel et déclenche des alarmes en cas des risques.
- **Prévention proactive**

Le système développé par l'équipe de Park utilise la localisation UWB pour suivre les mouvements des travailleurs et prévenir les collisions, avec une réduction prouvée des incidents de sécurité de 45 % grâce aux technologies de localisation.[31]

- **Gestion post-incident**

Suite à un événement imprévu, Skanska a utilisé les enregistrements Evercam pour une analyse post-événement rapide, économisant « au moins 25 heures d'entretiens et de documentation officielle ».[26]

II.4.4.4. Impacts sur le bien-être des travailleurs

Les outils numériques jouent un rôle important dans l'état général des travailleurs et offrent plusieurs avantages et bénéfices par rapport au suivi traditionnel, notamment en ce qui concerne les délais, la qualité et la sécurité. Parmi ces avantages :

- Des systèmes de distribution d'eau chaude, froide et gazeuse, installés sur le chantier de l'hôpital Queen Mary, assurent un meilleur temps de repos pour les travailleurs.[30]
- Si, dans un chantier, il y a une diminution des cas dangereux et une meilleure sécurité, cela améliore le moral des travailleurs.
- La formation immersive VR aide les travailleurs à mieux comprendre les situations réelles et à acquérir plus d'expérience.

II.5. Comparaison directe entre les deux méthodes :

Dans le contexte de BTP, le suivi de chantier a connu une évolution remarquable ces dernières années. Alors que le suivi traditionnel reposait sur des supports papier, des réunions présentiels et des appels téléphoniques. Le suivi numérique utilise des outils avancés tels que le BIM, les applications, etc., principalement basés sur l'intelligence artificielle.

Selon l'étude de McKinsey & Company (2017), la digitalisation peut améliorer la productivité jusqu'à 15% et réduire significativement les erreurs. [33]

Nous allons donc comparer ces deux méthodes de suivi en fonction de plusieurs facteurs importants :

II.5.1. Tableau comparatif global

Tableau 2 : Comparaison des méthodes de suivi de chantier

Critères d'analyse	Suivi traditionnel	Suivi numérique
Outils de suivi	- Plans sur papier - Cahier de charge en papier - Rapports/PV(Word/Excel)	- BIM - Tablettes - Applications mobiles - Plateformes collaboratives
Communication entre les acteurs	- Réunions présentiels, - Appel téléphonique - Échanges informels (discussion non officielle)	Communication instantanée via plateformes partagées
Gestion des données	- Archivage manuel - Données dispersées	- Centralisation des données (cloud) - Mise à jour en temps réel
Performance globale du chantier	- Gestion réactive - Retards fréquents - Contrôle limité	- Gestion anticipative - Suivi en temps réel - Optimisation planning

II.5.2. Analyse détaillée

II.5.2.1. Comparaison des outils de suivi

Le suivi traditionnel repose surtout sur des outils basés entièrement sur l'effort de l'être humain. Les mises à jour nécessitent une modification manuelle des documents, ce qui augmente le risque d'erreurs tels que les retards dans la transmission des informations, la perte de documents, les erreurs dans les PV, les surcouts et le manque de traçabilité.

Contrairement au suivi numérique qui utilise des outils plus avancés comme le BIM et les plateformes collaboratives. Ces outils permettent une visualisation dynamique du projet et une mise à jour instantanée des informations. Cela facilite le travail et réduit l'effort humain.

Selon Autodesk, l'utilisation du BIM réduit significativement les conflits de conception et améliore la coordination technique.[34]

Donc, le suivi numérique favorise une gestion plus précise et plus fiable du chantier.

II.5.2.2. Comparaison de la communication entre les acteurs

Dans le suivi traditionnel, la communication est basée sur des réunions hebdomadaires et de réunions inattendues en cas d'incidents, en présentiel. Ce système peut entraîner des retards dans la transmission des informations.

Le suivi numérique, permet une communication en temps réel grâce aux plateformes partagées. La possibilité d'accéder aux informations actualisées à tout moment par les intervenants surtout sur chantier, ce qui facilite la prise de décision et réduit les malentendus.

Ce développement de la communication entre les acteurs utilisant la digitalisation constitue l'un des principaux avantages du suivi numérique.

II.5.2.3. Comparaison de la gestion des données

La gestion des données est l'un des aspects les plus complexes dans un suivi de chantier.

Dans le suivi traditionnel, les documents sont dispersés souvent stockés dans plusieurs supports, rendant la recherche d'information difficile et prend beaucoup de temps.

En revanche, dans le suivi numérique, les données sont centralisées sur une seule base partagée et sécurisée (cloud). Cette centralisation assure une meilleure traçabilité et permet d'éviter les pertes d'information.

Selon McKinsey & Company, la mauvaise gestion de l'information est l'un des principaux facteurs de perte de productivité dans le secteur de la construction.[33]

II.5.2.4. Comparaison en termes de performance globale du chantier

L'évaluation de la performance globale d'un chantier repose sur les facteurs suivants : délais, qualité, coûts et sécurité.

Dans le suivi traditionnel les problèmes sont identifiés après leur apparition. Ce qui peut causer des retards et des surcoûts.

Contrairement au suivi numérique qui repose sur une approche anticipative grâce à l'analyse en temps réel des données et à l'intelligence artificielle. Cette capacité d'anticipation permet :

- Un respect des délais
- Une réduction des erreurs et des risques
- Garantir la sécurité sur chantier
- Eviter les surcouts

Donc, le suivi numérique ne constitue pas seulement une modernisation des outils, mais un facteur important dans la performance globale des projets de construction.

II.5.3. Méthodologie comparative : résultat du questionnaire

Afin d'améliorer notre recherche pour répondre à notre objectif, nous avons élaboré un questionnaire d'enquête en interrogeant directement les professionnels du secteur de BTP, ce qui permet de faire une comparaison entre les pratiques traditionnelles et les solutions numériques, d'analyser les méthodes traditionnelles d'organisation, la complexité rencontrée dans le suivi de chantier en Algérie et de déterminer les besoins ainsi que l'acceptation d'un outil numérique adapté au contexte du BTP algérien.

II.5.3.1. Description détaillée

Le questionnaire a été bien étudié et basé sur sept sections complémentaires :

- **Section A : profil du répondant**

Cette première partie est basée sur le profil du répondant selon la fonction, l'expérience, le type, la taille et la localisation des chantier gérés. Ces variables sont très importantes pour interpréter correctement les réponses.

- **Section B : organisation actuelle du chantier**

Cette section permet d'identifier explicitement les méthodes traditionnelles (cahier de chantier papier, rapport Word/Excel, appels téléphoniques) et les méthodes numériques (messagerie, outils numériques). Cette section constitue la base de l'approche comparative de notre étude.

- **Section C : difficultés rencontrées**

Cette section nous a permis d'identifier les contraintes auxquelles font face les répondants dans le suivi traditionnel, telles que les retards de transmissions, la perte des documents, les erreurs dans les procès-verbaux et le manque de traçabilité.

- **Section D : digitalisation et outils numériques**

Cette section permet d'évaluer le niveau actuel de la digitalisation dans le secteur du BTP, tels que les modes de stockage des données et les facteurs limitant l'adoption des outils numériques sur les chantiers algériens.

- **Section E : application mobile ou bot WhatsApp**

Cette section permet d'identifier la capacité des répondants dans l'utilisation des technologies avancées (bots intelligents, service cloud) et leurs préférences d'utilisation des outils numériques (application dédiée, bots WhatsApp) ainsi que les fonctionnalités souhaitées.

- **Section F : besoins des entreprises**

Cette section permet d'identifier les fonctionnalités attendues et les critères d'acceptation d'une solution numérique (simplicité, gain de temps, adaptation au contexte local).

- **Section G : vision et amélioration**

Finalement, cette dernière partie rassemble les priorités et les suggestions des professionnels pour le développement d'un outil numérique adapté.

La structure du questionnaire est basée sur des questions fermées à choix multiples et des questions ouvertes, ce qui permet de faire une analyse quantitative et une étude qualitative des attentes des acteurs du BTP. Ainsi, elle permet d'offrir un cadre comparatif rigoureux entre le suivi traditionnel et le suivi numérique.

II.5.3.2. Présentation des résultats

L'étude des résultats repose sur une comparaison organisée par le questionnaire. La section B décrit les méthodes classiques et numériques qui existe dans les chantiers, les sections C et D présentent leur limite et les contraintes, et les sections E, F et G montrent ce que l'utilisateur attend de cette solution et s'il accepte ou non d'utiliser cette solution numérique. Cela permet de démontrer que la digitalisation présente plusieurs avantages par rapport au suivi traditionnel et que son utilisation sur les chantiers du BTP facilitera plusieurs tâches sur le terrain.

II.5.3.3. Analyse multicritères

Selon le questionnaire qui a été créé pour étudier les méthodes de suivi en cours des chantiers et reconnaître les difficultés détectées dans le domaine du BTP. Les réponses des entreprises montrent qu'il y a des complications dans le secteur du BTP, telles que les retards, les difficultés de communication entre les intervenants, le manque de sécurité et de traçabilité, la perte de documents, les surcoûts et les erreurs dans les PV. [Tableau3]

Pour comparer le suivi traditionnel et le suivi numérique, une analyse multicritère (AMC) a été effectuée, basée sur des critères importants et pertinents, notamment :

- Temps et réactivité
- Gestion de l'information
- Traçabilité
- Qualité
- Coût
- Sécurité

Tableau 3 : Résultat de l'analyse multicritère.

Critère	Coefficient	Suivi traditionnel	Suivi digital
Sécurité	6	2	4
Coût	5	2	3
Qualité	4	3	4
Temps et réactivité	3	2	4
Gestion de l'information	2	2	4
Traçabilité	1	2	5
		46	80

Les critères ont été notés selon l'échelle normalisée du tableau ci-dessus, allant de 1 à 5 permettent une évaluation qualitative structurée des différents critères. [Tableau 4]

Tableau 4 : Échelle de l'analyse multicritère.

Échelle	5	4	3	2	1
Mention	Excellent	Très bonne	Bonne	Moyenne	Pas bonne

II.5.3.4. Analyse de choix

Cette étude repose sur une analyse multicritère (AMC) qui a permis la comparaison entre le suivi traditionnel et le suivi numérique sur les chantiers du secteur du BTP en Algérie. Sur la base de six critères extraits, chacun est caractérisé par un coefficient qui indique son importance dans le contexte du BTP.

Les résultats présentés dans le tableau 1 indiquent clairement la différence entre les deux suivis.

Le suivi traditionnel a un score total de 46, contrairement à 80 pour le suivi numérique.

Cette différence est due aux facteurs suivants :

- Sécurité (coefficient 6) : le suivi numérique (note4) est plus sécurisé que le suivi traditionnel (note2)
- Coût (coefficient 5) : le suivi traditionnel (note2) il fait face à des retards et des surcoûts au contraire du suivi numérique (note3)
- Qualité (coefficient 4) : le suivi numérique caractérisé par la meilleure note (note4), il assure la fluidité des informations au contraire du suivi traditionnel
- Temps et réactivité (coefficient 3) : le suivi numérique (note4) est plus fluide et rapide par rapport au suivi traditionnel (note2)
- Gestion de l'information (coefficient 2) : le suivi numérique (note4) collecte et centralise les informations plus efficacement que le suivi traditionnel (note2)
- Traçabilité (coefficient 1) : ce facteur montre la supériorité de la numérisation pour contrôler et suivre les étapes sur chantier.

Le graphique de radar montre bien que le suivi numérique dépasse largement le suivi traditionnel.

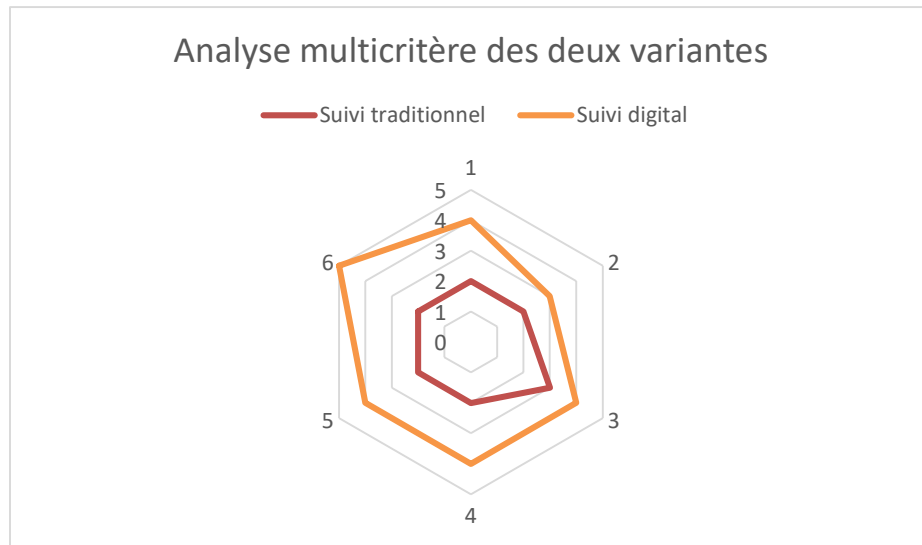


Figure 6 : Présentation de la variante optimale par le graphique « Radar ».

II.5.3.5. L'indice global de performance

$$IGP = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \times P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

Où :

- N_i : note attribuée au critère i (sur une échelle de 1 à 5).
- P_i : coefficient d'importance du critère i .
- n : nombre total de critères ($n=6$).

Tableau 5 : Calcul de l'indice global de performance (IGP).

Mode de suivi	Score	IGP
Traditionnel	46	$\frac{46}{21}=2,19$
Numérique	80	$\frac{80}{21}=3,80$

Interprétation :

L'indice global du suivi numérique (3,80 sur 5) est supérieur à celui du suivi traditionnel (2,19 sur 5), soit un écart de 1,62 point. Ce résultat confirme la supériorité de la solution numérique au regard des critères évalués et de leur importance relative dans le secteur.

- Cette étude permet d'évaluer la transition du suivi traditionnel vers un suivi numérique dans le contexte du BTP algérien. Les scores obtenus de l'analyse multicritères montrent que la digitalisation répond mieux aux exigences opérationnelles des chantiers. Ce qui confirme l'importance de la numérisation dans l'amélioration du suivi des chantiers.

II.6. Transformation digitale du suivi de chantier

Malgré tous les avantages qu'offre la digitalisation dans la modernisation technologique, elle sert aussi à modifier la logique organisationnelle classique des sociétés de BTP. Elle vise directement la structure profonde de la gestion des BTP avec l'intégration des outils numériques tels que le BIM, les plateformes collaboratives et les applications mobiles, les systèmes de gestion électronique des documents (GED).

Traditionnellement, les entreprises du BTP fonctionnent d'une manière classique selon une organisation hiérarchique verticale, où la décision n'est pas partagée et les informations sont centralisées au niveau de la direction du projet. Ce mode de travail entraîne une mauvaise gestion des projets.

II.6.1. L'évolution organisationnelle des entreprises du BTP

Aujourd'hui la numérisation présente une organisation plus simple et développée. Elle favorise le travail d'équipes et facilite la communication entre les intervenants : les équipes de conception, d'exécution et de gestion travaillent dans un environnement numérique commun, appelé Common Data Environment (EDC).

Selon les travaux de Charles Eastman, Dans son livre BIM Handbook, cette centralisation numérique impose une coordination permanente entre disciplines, ce qui transforme profondément la gouvernance des projets. L'adoption du BIM implique une réorganisation profonde des processus internes, dans laquelle l'information devient centralisée dans un modèle partagé plutôt que dispersée entre services.[34]

Cette évolution organisationnelle se traduit par :

- La création de services spécialisés en gestion numérique (BIM management, digital engineering).
- Assurer que tous les modèles numériques des différents acteurs sont cohérents et compatibles entre eux.
- L'intégration d'outils de suivi en temps réel.
- L'organisation structurée des documents numériques (BIM Exécution Plan, charte de nommage, workflow digital).

Des entreprises internationales comme Skanska adoptent une stratégie qui permet une meilleure coordination entre les équipes locales et internationales. Consacrer des services dédiés à la transformation digitale, intégrant innovation, gestion des données et pilotage numérique des projets. [26]

Donc, le suivi numérique est important dans la modernisation organisationnelle. Il ne développe pas seulement les outils, mais redéfinit les responsabilités, les décisions et les modes de collaboration internes.

II.6.2. Évolution des compétences et des métiers

La digitalisation représente également une évolution des profils des ingénieurs dans le contexte de BTP car leur rôle ne se limite pas au suivi technique, mais inclut l'analyse et la numérisation.

Cela implique la maîtrise :

- Des logiciels de modélisation BIM (Revit, ArchiCAD, Tekla).
- Des plateformes collaboratives numériques.
- De l'analyse des données issues de capteurs connectés.
- Des outils de planification.
- Des notions de cybersécurité appliquées aux projets.

L'intégration de la digitalisation nécessite une capacité élevée d'interprétation des modèles numériques et améliore l'intégration des plusieurs domaines. Les professionnels doivent comprendre les interactions entre structures, architecture, réseaux et planification dans un environnement numérique intégré.

Par ailleurs, l'évolution ne concerne pas uniquement les ingénieurs. Les techniciens et ouvriers utilisent désormais :

- Des tablettes pour consulter les plans numériques.
- Des casques de réalité augmentée pour visualiser les réseaux cachés.
- Des applications mobiles pour signaler les observations terrain.

Aujourd'hui les établissements d'enseignement supérieurs se sont intéressés à la digitalisation et commencent à adapter leurs programmes. Les écoles d'ingénierie et les facultés intègrent des modules liés au BIM, à la gestion des données et à l'intelligence artificielle appliquée au BTP. Cette transformation pédagogique cherche à préparer une nouvelle génération d'ingénieurs capables d'évoluer dans un environnement digitalisé.

II.6.3. Impact économique et compétitivité

La digitalisation du suivi de chantier joue un rôle important pour améliorer la gestion des entreprises du BTP à l'échelle nationale et internationale.

D'après le rapport de McKinsey & Company, le suivi de chantier présente des retards et des difficultés au niveau mondial par rapport aux développements existants. la transformation numérique est donc identifiée comme un facteur efficace pour réduire cet écart.[32]

L'intégration des outils digitaux permet :

- Une meilleure maîtrise des coûts.
- Une estimation plus précise des variations financières.
- Une optimisation de l'utilisation des ressources humaines et matérielles.
- Une diminution des pertes liées aux erreurs de coordination.

Grace a la digitalisation les entreprises peuvent améliorer également attirer :

- Des investisseurs.
- Des partenaires financiers.
- Des maîtres d’ouvrage internationaux.

Avec la digitalisation une entreprise capable de démontrer une gestion numérique structurée facilite les appels d’offres complexes.

Le suivi numérique constitue un avantage crucial durable dans un marché globalisé.

II.6.4. Innovation technologique et chantier intelligent

La transformation digitale du suivi de chantier permet de créer des chantiers intelligents « Smart Construction ».

Ce concept repose sur l’intégration de technologies avancées :

- BIM évolutif connecté aux données terrain
- Capteurs IoT
- Intelligence artificielle
- Réalité virtuelle et augmentée
- Jumeau numérique

Des études publiées dans la revue Elsevier montrent que l’intégration de capteurs et de systèmes de surveillance dans un modèle numérique facilite l’analyse et la planification des projets complexes.[35]

Pour améliorer la précision des grands projets, des entreprises comme Pomerleau a utilisé le BIM associé aux systèmes géographiques (SIG), permettant une visualisation avancée entre le projet et son environnement.

Le chantier intelligent intègre également :

- Des drones pour la cartographie automatique.
- Des robots pour certaines tâches répétitives.
- Des systèmes de géolocalisation des équipements.
- Des plateformes d'analyse prédictive basées sur l'intelligence artificielle.

À long terme, cette évolution contribue au développement du secteur du BTP. Le chantier de demain sera connecté, intelligent et piloté par l'analyse continue des données.

II.7. Limites du suivi numérique

La digitalisation du suivi de chantier représente un facteur important dans le contexte du BTP. Malgré ces nombreux avantages tels que l'intégration des données, l'amélioration de la coordination et une meilleure traçabilité des opérations, elle présente également des limites qui ne sont pas uniquement technique mais aussi organisationnelles et humaines, ce qui montre que la transformation numérique en BTP est un processus complexe.

II.7.1. Contraintes techniques

La digitalisation est particulièrement complexe dans le domaine technique :

II.7.1.1. Problèmes d'intégration des solutions digitales

L'un des obstacles les plus fréquemment mentionnés dans la numérisation de suivi de chantier est le manque de la compatibilité entre les logiciels. L'échange de données n'est pas toujours parfaitement fiable et peut provoquer des pertes d'informations lors des transferts de fichiers.

Le BIM Handbook montre que les différents acteurs du projet utilisent de multiples plateformes numériques (logiciels de modélisation, outils de planification, systèmes de gestion documentaire), qui ne sont pas toujours compatibles entre elles.[35]

II.7.1.2. Capacité technologique limitée

L'utilisation du suivi numérique nécessite une infrastructure informatique solide :

- Connexion Internet stable sur chantier.
- Serveurs sécurisés.
- Stockage cloud.
- Équipements mobiles adaptés.

L'accès aux réseaux peut être limité, notamment sur des chantiers éloignés ou de grande envergure, ce qui restreint l'utilisation en temps réel des plateformes collaboratives.

II.7.1.3. Gestion et fiabilité des données

Le suivi numérique repose entièrement sur la qualité des données. Une donnée incorrecte ou mal mise à jour peut affecter l'ensemble du projet, et le système numérique peut devenir une source d'erreurs plutôt qu'un outil d'amélioration. La digitalisation ne supprime pas les erreurs humaines ; elle en modifie simplement la nature.

Le BIM Handbook souligne que la mise en place de protocoles et d'une gestion d'information est le plus indispensable, basée sur :

- La structuration des fichiers.
- La mise à jour des modèles.
- La validation des informations.[35]

II.7.1.4. Cybersécurité et protection des données

Bien que le suivi numérique centralise les informations, il peut être exposé à des risques liés à la cybersécurité, tels que :

- Des risques de piratage.
- Des pertes de données.
- Des accès non autorisés.

II.7.2. Contraintes organisationnelles

La digitalisation du suivi de chantier, entraîne une transformation profonde de l'organisation.

II.7.2.1. Amélioration des méthodes opérationnelles

L'intégration des outils numériques modifie les méthodes traditionnelles du BTP. Cela implique :

- Une redéfinition des responsabilités.
- La mise en place de protocoles collaboratifs.
- Une planification optimisée dès les phases initiales.

Une mauvaise utilisation de ces outils peut engendrer des erreurs et des problèmes internes.

II.7.2.2. Fragmentation du secteur

D'après le rapport de McKinsey montre que le chantier est un environnement complexe et composé de nombreux intervenants (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprises, sous-traitants) ce qui impose leur fragmentation.[33]

Cette fragmentation rend difficile :

- L'utilisation d'un seul système numérique.
- La centralisation des données.

S'il n'y a pas une forte coordination le suivi numérique peut devenir inefficace.

II.7.2.3. Coûts d'exécution

La digitalisation nécessite des investissements importants :

- La mise en place des logiciels spécialisés.
- L'obligation des formations.
- La maintenance des systèmes.
- La mise à jour des équipements.

II.7.3. Acceptation des outils numériques par les acteurs du chantier

Les aspects humains constituent souvent la contrainte la plus déterminante dans la digitalisation.

II.7.3.1. Manque de compétences numériques

Selon McKinsey (2017), le secteur du BTP rencontre des difficultés en matière de formation des acteurs.

Celles-ci se traduisent par :

- L'insuffisance de maîtrise des logiciels BIM.
- La mauvaise formation aux plateformes collaboratives.
- Le manque de connaissances en gestion de données.[33]

II.7.3.2. Difficulté d'adaptation aux nouvelles méthodes

Le BIM Handbook indique que l'adoption des outils numérique implique un changement culturel important. Certains professionnels considèrent que l'intégration de ces nouvelles méthodes peut réduire leur valeur et remettre en cause leur expertise.

La résistance au changement peut se manifester par :

- Une difficulté à utiliser les nouvelles plateformes.
- Une utilisation simultanée des méthodes traditionnelles et numériques.
- Un manque d'implication dans la mise à jour des données.[35]

II.7.3.3. Changement des interactions professionnelles

Selon Eastman et al., le suivi numérique modifie les modes de communication sur chantier. Les réunions présentiellees sont remplacées par des réunions en ligne via des plateformes collaboratives et des outils de communication digitales, ce qui nécessite une adaptation des habitudes professionnelles.[35]

II.7.3.4. Besoin d'une direction efficace

McKinsey (2017) souligne que la réussite de la transformation nécessite une direction compétente. Cela nécessite :

- D'une vision stratégique claire.
- D'un accompagnement du changement.
- De la Mise en place d'un programme de formation continue.[33]

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons comparé le suivi traditionnel et numérique de chantier en fonction de plusieurs facteurs, notamment le temps, la gestion de l'information, la communication et la performance globale. À partir de cette comparaison, nous avons conclu que la suivi traditionnelle repose principalement sur des documents papier et les réunions en présentiel, ce qui peut engendrer divers problèmes.

À l'inverse, le suivi numérique utilise des outils numériques performants, basés seulement sur la technologie et l'intelligence artificielle, tels que les applications mobiles et les logiciels. Ceci facilite le travail sur le chantier et rend la suivi plus rapide et plus efficace, améliorant ainsi la performance du projet.

Chapitre III :

Analyse des besoins et étude fonctionnelle

III.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de développer une analyse fonctionnelle d'un système innovant de suivi de chantier, basé sur l'intégration de bots conversationnels et de services clouds. Cette analyse représente une étape cruciale du processus de conception, car elle permet de définir avec précision les besoins, les fonctions attendues ainsi que les contraintes du système, indépendamment des choix technologiques qui seront pris ultérieurement.

L'analyse fonctionnelle est considérée comme une étape essentielle dans toute démarche de conception et d'optimisation des solutions. Elle repose sur une interrogation fondamentale du raisonnement orienté valeur : « à quoi sert le système ? », ce qui permet de comprendre d'une manière plus précise les besoins véritables des différentes parties intéressées (maître d'ouvrage, entreprise, chef de chantier, bureau d'étude, etc.).

Cette approche facilite une formulation et une organisation claires des besoins du projet, favorise une compréhension approfondie des attentes fonctionnelles et une structuration des exigences du projet, sans tenir compte des choix techniques.

Ainsi, cette méthode permet de garantir une formulation claire, cohérente et structurée des besoins. Elle constitue donc un outil indispensable pour assurer l'efficacité de la solution proposée, particulièrement dans le cadre de la digitalisation du contexte du bâtiment et des travaux publics.

L'analyse fonctionnelle est généralement dévisée en deux phases complémentaires :

- **L'analyse fonctionnelle externe** : Elle vise à déterminer les fonctions prévues du système en tenant compte du point de vue de l'utilisateur. Elle permet d'identifier les interactions entre le système et son environnement et aussi les services rendus aux différents acteurs. Cette étape a pour objectif de structurer les fonctionnalités principales de l'application et de garantir qu'elle répond efficacement aux exigences.
- **L'analyse fonctionnelle interne** : Elle permet d'assurer les fonctions spécifiées avec les solutions techniques appliquées. En prenant en considération l'avis du concepteur ou de l'exploitant, nous analysons les fonctions réalisées. Cette démarche est importante pour garantir l'amélioration des performances de l'application de suivi de chantier.

Cette analyse fonctionnelle constitue une base solide pour développer le système proposé, en assurant une adéquation optimale entre les besoins identifiés et les solutions mises en œuvre.

III.2. Présentation du système étudié

La solution élaborée se définit comme une plateforme intelligente s'appuyant sur une architecture cloud sécurisée et intégrant un assistant conversationnel (bots). Elle contribue à faciliter la centralisation et l'organisation des informations relatives à l'avancement des travaux, en permettant une gestion efficace et en temps réel des données de chantier.

Ce système est destiné aux chefs de projet, aux conducteurs des travaux et aux maîtres d'ouvrage. Cette application contribuera de manière importante au développement des chantiers de construction. Elle sert à améliorer la prise des décisions, la productivité et la traçabilité, ainsi qu'à réduire les erreurs et les défauts manuels dans les projets de construction, à garantir une exécution avec grande précision des délais, des coûts.

La plateforme améliore aussi la communication entre les différents intervenants du chantier. Elle rend disponibles des outils intelligents tels que : la génération automatique des rapports, des tableaux de bord personnalisés, des alertes et des signalements. L'assistant conversationnel (bot) facilite et simplifie l'utilisation de ce système en réduisant le temps consacré à la recherche de l'information et en aidant à la saisie des données.

Il est nécessaire de présenter le système étudié d'une manière claire à l'aide d'une analyse fonctionnelle externe. Cette étape repose sur trois interrogations fondamentales permettant de préciser le rôle du système, son interaction avec l'environnement ainsi que sa finalité.

Ces questions sont : « À qui rend service le système ? », « Sur quoi agit-il ? » et « Dans quel but ? ».

III.2.1. A qui rend service le système ?

Un chantier est constitué de plusieurs intervenants dont les responsabilités et les besoins varient selon le rôle. Notre système développé s'adresse aux différents acteurs dans la gestion et le suivi des chantiers de construction.

Parmi les acteurs concernés par cette application :

- Chef de Projet.
- Conducteur des travaux.
- Chef de chantier.
- Laboratoire.
- Bureau de contrôle.
- Entreprise.

III.2.2. Sur quoi agit le système ?

L'application de suivi de chantier constitue une plateforme numérique permettant de centraliser, structurer et exploiter les données de manière efficace. Elle agit principalement sur l'ensemble des données et des informations nécessaires pour l'avancement des travaux.

Parmi les éléments sur lesquels agit le système :

- Données du chantier (les plans).
- Informations d'avancement (planning).
- Documents et rapports (PV).
- Données qualité.
- Données de sécurité.
- Non-conformités.
- Historique du projet.

III.2.3. Dans quel but ?

L'objectif principale de ce système est d'assurer un suivi performant.

Le système étudié a pour objectif principale d'assurer un suivi efficace et d'améliorer la gestion des chantiers de construction. Il vise à répondre aux besoins des utilisateurs en proposant une solution numérique permettant d'améliorer la gestion des projets.

L'objectif de ce système :

- Faciliter la centralisation des données liée au chantier.
- Réduire la dispersion des informations et éviter les pertes de données.
- Améliorer la communication entre les différents intervenants.
- Fluidifier la coordination et la prise de décision.

- Réduire les efforts manuels et optimiser le temps de travail.
- Améliorer la qualité et la fiabilité du suivi de chantier.

III.3. Analyse des besoins

III.3.1. Acteurs

- Le Chef de projet : Il est responsable de prendre les décisions nécessaires pour le bon déroulement du projet, contrôler et suivre l'avancement des travaux.
- Le Conducteur des travaux : planifie et organise les travaux, vérifie l'exécution sur le terrain et gère les équipes du chantier.
- Chef de chantier : assure la gestion quotidienne du chantier, vérifie l'avancement des tâches et propose des solutions aux problèmes existants.
- Laboratoire : effectue les essais techniques pour vérifier la qualité des matériaux et valide leur conformité.
- Bureau de contrôle : garantit la qualité et la sécurité du chantier par la vérification de la conformité réglementaire et la validation des étapes du projet.
- Entreprise : Exécute les travaux, fournit les ressources humaines et matérielles en respectant le délai et le coût.

III.3.2. Fonctionnalités

L'architecture présentée intègre une série de fonctionnalités visant à garantir un suivi de chantier efficace et organisé. Elle inclut deux types de fonctionnalités : fonctionnalités principales et fonctionnalités techniques.

- Les fonctionnalités principales :
 1. La centralisation des données :
 - Le stockage des plans et des documents
 - La centralisation des PV et des rapports
 - L'historique du projet.
 2. Assurer le suivi de chantier :
 - Un suivi d'avancement des travaux,
 - Un suivi de qualité,
 - Un suivi de sécurité
 - Un suivi des non-conformités.

3. Fluidifier la communication :
 - Les échanges entre les acteurs
 - Le partage des documents et des rapports
 - Les alertes automatiques.
4. Faciliter la prise de décisions :
 - Les tableaux de bord visuels
 - La comparaison prévu/réalisé
 - La détection automatique des retards
 - La proposition des solutions et à la génération des rapports.
- Les fonctionnalités techniques :
 1. Conception :
 - Une architecture sécurisée
 - Une base de données centralisée
 - Interface simple
 2. Exécution :
 - Un développement multiplateforme
 - Authentification sécurisée
 - Chiffrement des données sensibles
 - Sauvegarde automatique
 - Traçabilité

III.3.3. Analyse des contraintes

L'utilisation d'un système de suivi numérique des chantiers de construction est soumise à plusieurs contraintes qu'il convient de considérer ces contraintes avec attention pour garantir la fiabilité de cette application.

- Contraintes techniques :
 - L'accès à l'internet est obligatoire dans les chantiers de construction.
 - L'adaptabilité avec les différents appareils (smartphones, tablettes, ordinateurs).
 - Volume élevé de stockage des données.
 - Assurer la sécurité de système.
 - Effectuer la mise à jour de l'application.
- Contraintes humaines :
 - Habitude de suivi traditionnel.
 - Nécessité des formations pour l'utilisation du système numérique.

- Contraintes organisationnelles :
 - La communication entre les différents acteurs de chantier.
 - L'intégration de système dans les méthodes de travail existantes.
 - Gestion des rôles des intervenants.
 - La coordination entre services (laboratoire, contrôle, entreprise)
- Contraintes économiques :
 - Coût de développement et de la maintenance de l'application.
 - Analyser le rapport coût/performance de l'entreprise.

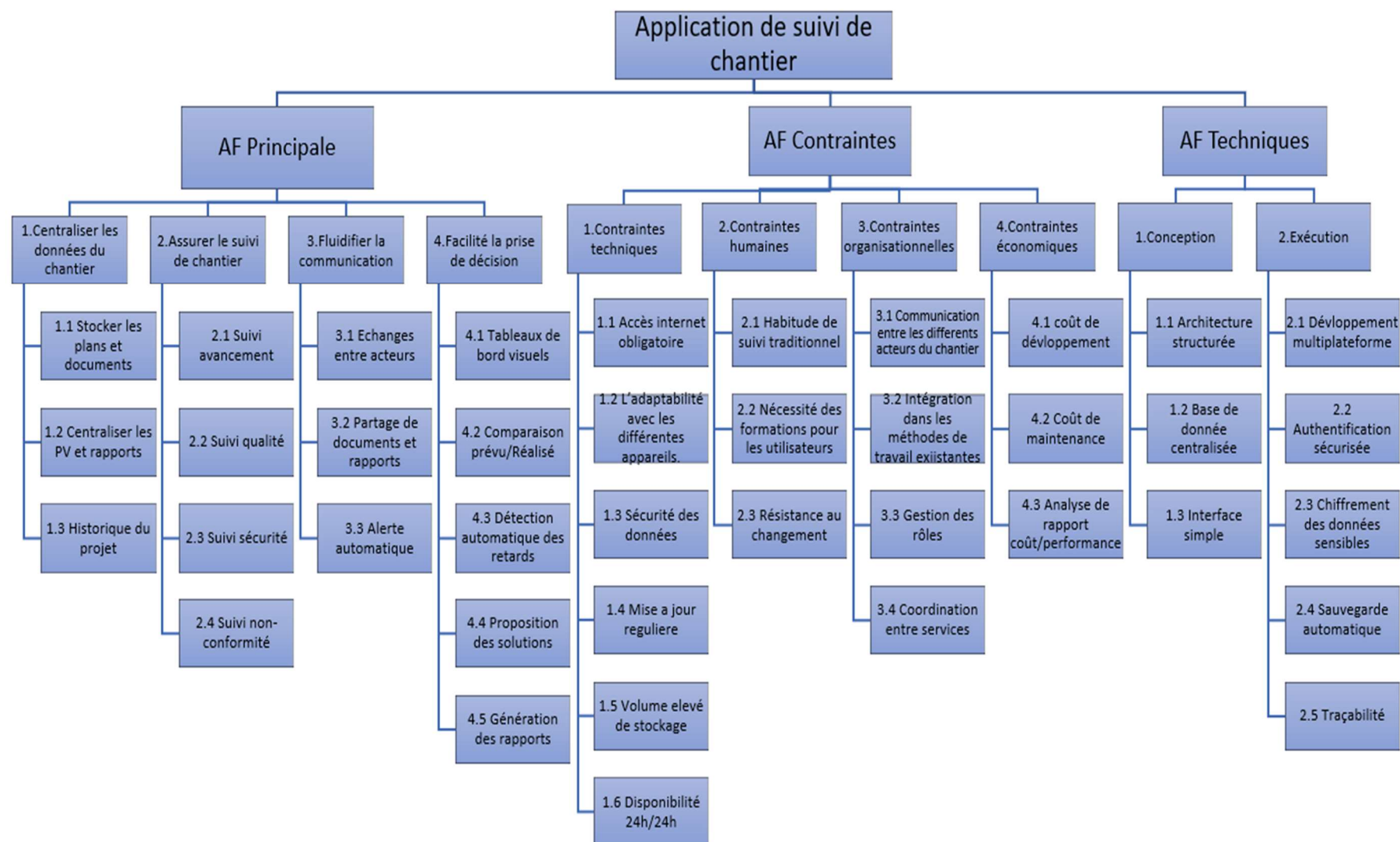


Figure 7 : : Analyse fonctionnelle de l'application de suivi de chantier

III.4. Etude économique du projet**III.4.1. Etude du marché**

- **Présentation du secteur d'activité :**

Le secteur du Bâtiment et Travaux Publics (BTP) joue un rôle crucial dans le développement économique et représente un domaine d'investissement national important, notamment en Algérie. Il est constitué de différentes entreprises publiques et privées. Ce secteur regroupe plusieurs activités telles que le terrassement et la préparation du terrain, la réhabilitation et la rénovation, etc.

Ces dernières années, face aux complexités et aux problèmes rencontrés dans ce domaine sur la plupart des chantiers de construction, plusieurs outils numériques ont vu le jour afin de renforcer le suivi traditionnel et d'éviter les techniques et méthodes anciennes et manuelles (suivi papier, rapports manuels, réunions en présentiel, etc.). Parmi ces solutions intelligentes, on retrouve le BIM, les drones, les logiciels et plateformes de gestion de chantier, le scan 3D, internet des objets IoT et aussi l'intégration de l'intelligence artificielle et le cloud facilite une gestion performante des données, la mise en place d'une automatisation de certaines opérations favorisant des décisions plus rapides et plus sûres, des logiciels de planification comme MS Project qui participent à l'amélioration de la gestion de temps et au contrôle des délais.

Aujourd'hui, la disponibilité des technologies et la digitalisation sur les chantiers est devenue un élément essentiel pour le progrès de ce secteur. Elle contribue à l'amélioration de la productivité, de la traçabilité, de la sécurité des projets, ainsi que leur qualité.

Face à l'évolution des exigences du secteur, l'intégration des solutions innovantes se présente comme une nécessité pour moderniser les pratiques et améliorer la performance des projets.

- **Cible clientèle :**

Les principaux clients de notre application sont les maîtres d'ouvrage (MOA), qui se divisent en deux types : les maîtres d'ouvrage publics (ministères, communes, AADL, OPGI, etc.) et les maîtres d'ouvrage privés (promoteurs immobiliers, grands propriétaires). Ils sont responsables du financement et de la propriété du projet de construction.

Il s'agit généralement de clients âgés de 35 à 60 ans, disposant d'un pouvoir d'achat moyen à élever ou d'un budget de construction important. D'un point de vue géographique, ils sont principalement localisés dans les zones où le secteur de construction est le plus développé, notamment les zones urbaines et les régions en développement en Algérie.

L'un de leurs objectifs clés est de garantir un suivi efficace et structuré de l'avancement des chantiers, sans être présents physiquement sur site, mais en s'appuyant sur une solution de suivi à distance via notre application. Cela leur offre la possibilité de s'assurer du respect des délais, de la conformité des travaux et de la qualité d'exécution.

L'utilisation de notre application permet ainsi de répondre à ces besoins en proposant une vision claire, centralisée et transparente de l'état d'avancement du chantier.

- **Besoin ou problème à résoudre :**

Le secteur du BTP fait face à plusieurs difficultés et problèmes qui impactent négativement le suivi de chantier, ce qui peut entraîner de graves conséquences sur les délais, les coûts et la qualité des projets. Les contraintes les plus courantes comprennent la mauvaise communication entre les acteurs, la perte d'informations et de données importantes, ainsi qu'une faible traçabilité des tâches du projet. Ces difficultés ont un effet néfaste sur la performance globale et rendent la coordination du projet plus délicate.

De plus, le traitement des défauts et des anomalies se fait de manière non automatisée et non organisée, ce qui engendre des retards dans la prise de décisions. Dans la plupart des cas, ces incidents sont gérés à l'aide de moyens traditionnels, comme les appels téléphoniques et les documents papier, ce qui limite la fiabilité du suivi, complique sa mise en œuvre et favorise l'apparition d'erreurs. Le manque d'une structure organisationnelle claire ralentit les processus décisionnels et peut causer des retards dans le délai de l'avancement des travaux tout en pouvant impacter la conformité des travaux.

Au regard de ces limites, la transition vers le numérique constitue une réponse pertinente opportune aux défis actuels du secteur. Dans ce cadre, notre solution intelligente, basée sur une plateforme centralisée, permet d'assurer un suivi en temps réel des activités de chantier, une gestion efficace des non-conformités à travers des workflows adaptés, ainsi qu'une meilleure répartition des rôles et des responsabilités.

Ainsi, notre solution améliore la traçabilité des activités, facilite et accélère la prise de décisions et optimise la performance globale des projets de construction. Tout en limitant les risques d'erreurs, des retards et de désorganisation.

- **Analyse de la concurrence :**

Dans le secteur de génie civil, il existe plusieurs solutions de suivi de chantier, se distinguant par la présence de concurrents directs et indirects. Nous trouvons parmi les concurrents directs des plateformes internationales offrant des fonctionnalités avancées dans la planification et la gestion des projets.

Mais, dans le contexte algérien, ces solutions présentent plusieurs limites telles que leur coût élevé, leur complexité d'utilisation, ainsi que leur faible adaptation aux normes locales (langue, méthodes de construction, contraintes réglementaires).

D'autre part, les concurrents indirects incluent des outils généralistes comme Excel et les applications de communication (WhatsApp, Telegram...etc.) aussi l'utilisation des techniques traditionnelles.

Ces outils, même s'ils sont largement utilisés, restent peu structurés et n'assurent ni le suivi ni l'amélioration des procédures.

Dans ce contexte, notre application se définit comme une solution innovante et adaptée aux normes algériennes en raison de sa simplicité d'utilisation, ainsi que ses fonctionnalités nécessaires pour assurer un suivi rigoureux du chantier.

- **Estimation de la demande :**

L'estimation de la demande repose sur une analyse du secteur du BTP en Algérie, marqué par la présence de plusieurs entreprises opérationnelles et de chantiers en cours, ce qui représente une opportunité importante pour notre solution digitale de suivi de chantier.

A partir de cette estimation, nous prévoyons, lors de la première étape, de viser environ 1% de ce marché, soit près d'une centaine de clients potentiels.

En adoptant un modèle économique :

1) Formule Start (Bureaux d'études / Architectes) : 150 000 DZD (Accès limité à 3 chantiers simultanés, idéal pour les suivis de petits projets ou de villas).

2) Formule Business (Entreprises Générales de BTP - Recommandée) : 250 000 DZD (Chantiers et utilisateurs illimités pour la structure).

3) Formule Entreprise (Grands Promoteurs, OPGI, ENPI) : 500 000 DZD (Avec hébergement des données sur serveur local en Algérie si exigé pour des raisons de souveraineté numérique, et formation sur site des équipes).

Cette prévision reste délibérément prudente et pourrait connaître une amélioration en fonction du niveau de satisfaction des utilisateurs et de la clientèle à travers le pays.

- **Stratégie marketing :**

La stratégie marketing repose sur une démarche graduelle et ciblée, adaptée au domaine du BTP. L'idée est de sensibiliser les professionnels grâce à des exposées et des séances de formation, ainsi qu'à des démarches effectuées auprès des bureaux d'études et aux maîtres d'ouvrages, afin de lever les contraintes liées au changement et de renforcer la visibilité des avantages de notre solution.

En parallèle, l'utilisation des réseaux sociaux favorise l'augmentation de la visibilité du produit ainsi que l'accès à un public plus vaste.

Aussi, la mise en place de collaboration avec des entreprises du domaine ou des institutions de formations permet de favoriser l'adoption de la solution.

Enfin, la satisfaction des premiers utilisateurs reste le facteur le plus important pour la diffusion et la crédibilité du produit.

III.4.2. Etude financière

- **Investissement initial (besoin de financement) :**

Dans le contexte de notre projet, l'investissement initial fait partie des étapes les plus cruciales, car si cette étape est bien menée, la réalisation du projet sera fluide et correcte. Elle influence directement la mise en place technique, organisationnelle et juridique de la solution. L'investissement initial correspond aux moyens financiers nécessaires pour démarrer le projet de l'application de suivi de chantier avant sa réalisation.

En premier lieu, des outils indispensables et avancés sont exigés pour le démarrage du projet et sa réussite, tels que des ordinateurs performants pour les développeurs, des écrans supplémentaires, ainsi que des dispositifs de stockage permettant de sécuriser les données.

Afin de garantir le bon fonctionnement de l'application, l'utilisation de smartphones ou de tablettes est également nécessaire pour effectuer des tests dans des conditions réelles.

Ensuite, il existe divers outils avancés utilisés pour le développement de l'application (Visual Studio Code, Android Studio), gère le projet (Trello, Jira), les plateformes de conception d'interface (Figma), ainsi que les services cloud (base de données, API). Ces outils font partie des éléments clés pris en compte dans le budget global du projet.

Par ailleurs, les charges juridiques et administratives, telles que la création de l'entreprise et son enregistrement légal, doivent également être considérées. Elles permettent de sécuriser juridiquement le projet et de le placer dans un cadre officiel, tout en protégeant les informations, la marque et le logo contre toute utilisation non autorisée.

Enfin, les espaces de travail peuvent aussi être pris en compte dans le budget si l'équipe travaille dans un environnement physique, tel qu'un bureau loué ou un espace de coworking.

En conclusion, il est essentiel d'établir un budget global pour l'ensemble des éléments mentionnées afin de permettre l'initialisation du projet dans de bonnes conditions.

- **Financement (ressources) :**

Le financement exprime les montants financiers ayant pour objectif de couvrir l'investissement initial. Il définit la manière dont le projet sera financé ainsi que les moyens nécessaires pour lui garantir les ressources financières indispensables à son lancement et à sa réalisation.

La première source est l'apport personnel. Il s'agit de l'argent utilisé par les propriétaires du projet sans intervention de financement externe. Cette source est considérée comme une étape importante, car elle permet de réduire les recours aux sources externes en favorisant les ressources financières personnelles dans le but de limiter les contraintes financières et d'assurer la stabilité et la réussite du projet.

- **Compte de résultat prévisionnelle (sur 3 ans) :**

Le compte résultat prévisionnelle représente un ensemble de prévisions permettant de déterminer si le projet sera rentable ou s'il va générer des pertes à l'avenir sur une période de trois ans. Il permet également de comparer les gains du projet aux coûts nécessaires à son fonctionnement.

Les gains proviennent principalement des abonnements mensuels ou annuels, qui constituent la source de revenus principale. Toutefois, il existe d'autres moyens de revenus, tels que la personnalisation de l'application, la formation des utilisateurs ainsi que le support technique et la maintenance.

La première année correspond à l'étape de lancement du projet, avec un nombre restreint de clients. La deuxième année enregistre une augmentation grâce à l'arrivée de nouveaux utilisateurs, tandis que la troisième année connaît une forte croissance et une grande communauté d'utilisateurs.

Les coûts se composent de deux types de charges : les charges fixes et les charges variables. Les charges fixes comprennent les salaires, les loyers et les services numériques.

A l'envers aux charges variables selon le nombre des utilisateurs car plus notre application connaît de succès et de la réussite, plus les couts augmentent.

Le but est d'identifier les aspects positifs et négatifs du projet au fil des années. La première année est généralement caractérisée par des pertes, mais la situation s'améliore durant la deuxième et la troisième année.

- **Plan de trésorerie :**

Le plan de trésorerie constitue un outil essentiel de la gestion financière qui permet de suivre les mouvements d'argent du projet, entrants et sortants, de manière mensuelle.

Les entrées de trésorerie sont générées par les ventes de l'application, les services associés ainsi que les investissements externes.

Les sorties de trésorerie incluent les couts liés aux salaires, aux charges sociales, à l'hébergement et au marketing.

Ce plan permet de représenter les moments de pression financières, ainsi que les moments où les dépenses peuvent dépasser les recettes. Il permet donc de prévoir les besoins à l'avance afin de garantir la continuité du projet.

- **Seuil de rentabilité :**

L'atteinte de ce seuil représente une étape importante signalant le passage d'une phase déficitaire à une phase rentabilité. Il permet de définir le chiffre d'affaires duquel le projet devient économiquement rentable, c'est-à-dire lorsque les revenus couvrent toutes les dépenses.

Pour notre application le seuil de rentabilité définit le nombre minimum de clients nécessaires pour couvrir les frais fixes et variables associés à l'exploitation. La différence entre les coûts fixes et variables permet de prévenir les contraintes financières.

- **Indicateurs de rentabilité :**

L'évaluation de la rentabilité du projet repose sur plusieurs indicateurs financiers complémentaires offrant une vision globale et cohérente de la performance financière du projet et facilitant la prise de décision.

Ces indicateurs sont :

- **La valeur actuelle nette (VAN) :** Mesure la valeur générée par le projet en actualisant les flux de trésorerie futurs ; une valeur actuelle nette positive signifie que le projet est économiquement viable.
- **Le taux de rendement interne (TRI) :** Il représente le taux d'actualisation auquel la valeur actuelle nette devient nulle. Il permet d'analyser la performance du projet.
- **La période de récupération :** Elle permet d'évaluer le temps nécessaire pour recouvrer l'investissement initial grâce aux flux de trésorerie.

III.5. Conclusion

L'analyse fonctionnelle a permis d'identifier de manière claire et structurée les principaux acteurs et leurs attentes spécifiques dans un chantier concernant le système proposé. Elle permet aussi de définir les fonctionnalités à intégrer dans l'application, notamment la gestion des rapports journaliers, le suivi de l'avancement des travaux, le contrôle de la sécurité et l'archivage des données.

Par ailleurs, cette démarche nous a aidées à éviter les contraintes que le système pourrait rencontrer sur le terrain, telles que les contraintes techniques, organisationnelles ou opérationnelles. La phase d'analyse constitue un élément important dans la prise en compte de ces contraintes, en garantissant la faisabilité et la pertinence de la solution envisagée.

En s'appuyant sur les informations collectées et les exigences identifiées, cette phase a une base solide pour guider la création du système. Elle assure donc une cohérence entre les besoins des utilisateurs et les fonctionnalités offertes. Ainsi, tous ces éléments permettent d'aborder, dans le chapitre suivant, l'élaboration détaillée de la solution choisie, tout en s'assurant de répondre aux exigences du projet.

Chapitre IV :

Etude technique et conception du système

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons pour objectif de présenter l'étude technique et la conception du système proposé. Cette étape représente une phase importante dans la réalisation du projet, car elle permet de répondre aux besoins identifiés dans le chapitre précédant. Cette étude détaille les fonctions du système réalisé, les choix technologiques ainsi que l'architecture générale de l'application. L'objectif principal est d'établir une solution capable de garantir une gestion efficace des chantiers.

IV.2. Développement de l'interface et choix technologiques

L'interface utilisateur a été réalisée d'une façon claire et facile, ce qui permet d'offrir une expérience utilisateur de qualité supérieure. Elle est cruciale dans notre système, car elle représente la relation directe entre l'utilisateur et le système.

Dans cette partie, nous avons utilisé le langage REACT, qui est un langage de programmation permettant la conception de l'interface selon les besoins proposés. Le choix de ce langage est basé sur sa simplicité et sa compatibilité avec nos objectifs.

Cette étape est également mise en évidence par des capture d'écran de l'interface, montrant les différentes fonctionnalités réalisées, afin de mieux comprendre le processus global de l'application et de manière à attirer l'attention des utilisateurs.

IV.2.1. Présentation des tableaux de bord et des fonctionnalités**IV.2.1.1. Authentification**

Le tableau de bord d'authentification, comme il est montré dans la figure 8, contient :

- Trois boutons permettant de choisir le mode d'affichage de l'application :
 - Automatique avec l'AI.
 - Mobile.
 - PC.
 - Deux boutons pour l'authentification :
 - Pour les comptes existants, les utilisateurs peuvent se connecter de deux méthodes : soit avec adresse E-mail ou le numéro de téléphones et le mot de passe, soit directement avec le QR Code du projet.
 - Pour les nouveaux utilisateurs, un bouton (créer un compte) est disponible.
- L'utilisateur doit remplir les données d'identification dans la figure 9 ci-dessous.

Bienvenue

Connectez-vous ou créez un compte.

Se connecter
Créer un compte

Email ou numéro de téléphone

nom@exemple.fr ou 06 12 34 56 78

Mot de passe

☐ Se souvenir de moi (30 j) [Mot de passe oublié ?](#)

Se connecter

OU

Se connecter par QR Code projet

Démo : mot de passe demo1234 ou un compte créé.

Choisissez votre mode d'affichage :

Auto
Selon écran

Mobile
Téléphone

PC
Grand écran

Bienvenue

Connectez-vous ou créez un compte.

Se connecter
Créer un compte

☒ Maquette : les comptes sont stockés localement dans votre navigateur.

Prénom

Nom

Email

nom@exemple.fr

Téléphone (optionnel)

06 12 34 56 78

Mot de passe

Min. 8 caractères, 1 majuscule, 1 chiffre.

Confirmer le mot de passe

☒ Vous choisirez votre rôle juste après la création du compte.

☐ J'accepte les conditions générales d'utilisation

Créer mon compte

- Après la connexion, il apparait un tableau de bord pour choisir le rôle d'utilisateur.

IV.2.1.2. Tableau de bord MOA

Ajouter un nouveau rôle

Choisissez le nouveau rôle à associer à votre compte.

☐ **MOA (Maîtrise d'Ouvrage)**
Accès consultation + dashboard

☐ **Entreprise**
Gestion équipe, planification, validation

☐ **Chef de chantier**
Saisie quotidienne (présence, avancement, photos, incidents)

☐ **BET / MOE**
Validation finale + documents techniques

☐ **Ouvrier**
Consultation de mes projets et de mes tâches assignées

Continuer →

Le maitre d'ouvrage est l'acteur le plus important du chantier ainsi que de notre application. Il permet de contrôler le chantier sans pouvoir modifier les données du terrain.

Son tableau de bord est basé sur les fonctionnalités suivantes :

- En-tête :
 - Une barre de recherche (rechercher un compte)

- Paramètres

	Profil Infos personnelles
	Notifications Gérer les alertes
	Sécurité Mot de passe, 2FA, historique
	Aide & Support FAQ, tutoriels, contact

- Notification.

Notifications



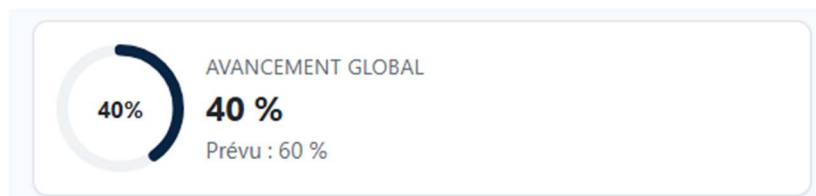
Aucune notification

- Remarque : l'en-tête est similaire pour tous les autres acteurs (entreprise, MOE/BET, chef de chantier, ouvriers)

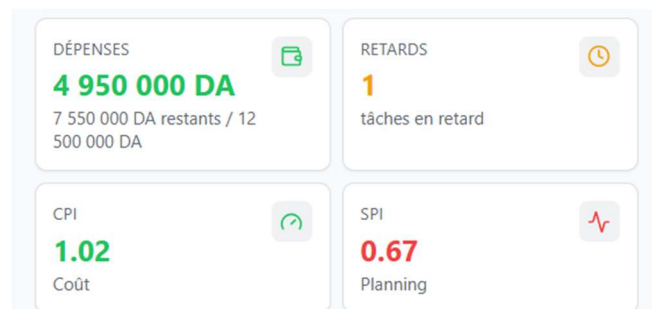
- Sélecteur de projet permettant de changer le projet et d'afficher le nom du projet ainsi que sa localisation.



- Indicateurs KPI affichant :
 - Le pourcentage d'avancement globale du projet (réel et prévu).



- Les dépenses.
- Les retards.
- L'indice de performance des coûts (CPI).
- L'indice de performance des délais (SPI).



- Alertes.

Créer une alerte

×

Signalez un problème à l'équipe du projet. Les destinataires recevront une notification immédiate.

Titre de l'alerte *

Ex: Danger chute hauteur

Projet concerné *

Résidence — Alger

Type *

Sécurité

Priorité *

Haute

Description *

Décrivez la situation en détail...

0/1000

Destinataires *

Toute l'équipe du projet

Pièce jointe (optionnel)

Ajouter une photo ou un fichier

Émetteur :

(MOA (Maîtrise d'Ouvrage))

Annuler

ENVOYER L'ALERTE

- Incidents.

Incidents

1 incidents — lecture seule

Toutes priorités

Tous statuts

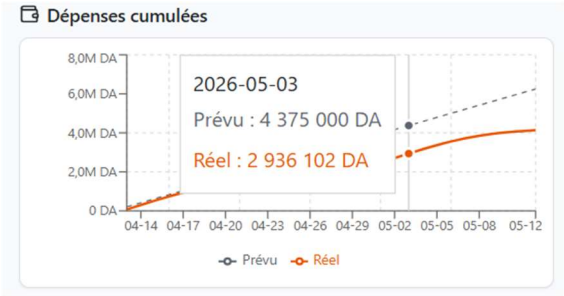
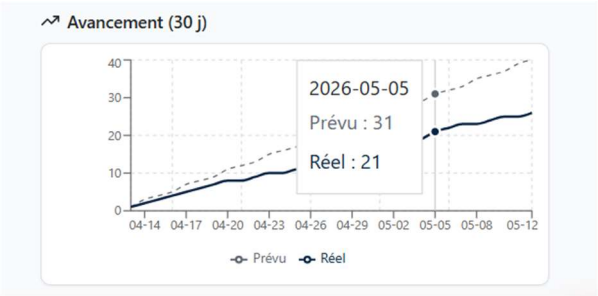
Retard livraison ciment

haute

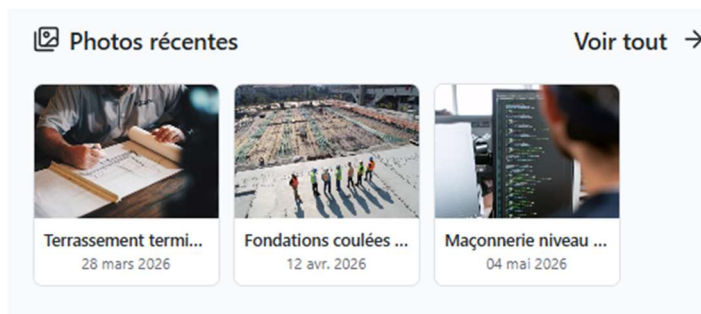
En cours

07 mai 2026

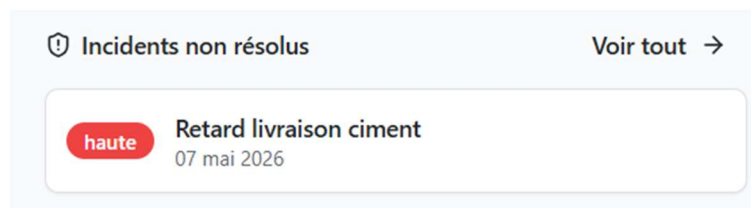
- Graphiques.



- Photos récentes du chantier.



- Incidents non résolus



- Rapports : permet de générer des rapports et de consulter l'historique des rapports.



- Création d'un nouveau projet et la consultation de l'historique du projet.

Mes projets MOA

+ Créer projet

Voir archivés

Créer un projet MOA

← Retour

Nom du projet *

Résidence Les Ormes

Description

Brève description du projet...

Localisation *

Alger, El Biar

Budget total (DZD) *

5000000

Date début

12/05/2026

Date fin

08/11/2026

Créer le projet

- Défauts du projet.

Défauts du chantier

Lecture seule — défauts validés par l'Entreprise.

STATUT	Validé	En cours	Résolu	
PRIORITÉ	Critique	Haute	Moyenne	Basse
TYPE	Sécurité	Technique	Financier	Suivi

- Equipes du chantier.

Équipe

9 membres — Résidence Les Jasmins

Chef de chantier


Sofiane Kaci
 Chef de chantier / Responsable
 sofiane.kaci@buildak.com
 05 50 12 34 56

Ouvrier


Ahmed Mansouri
 Maçon Présent


Karim Saidi
 Electricien Présent

- Juridique.

Documents juridiques

Assistant documentaire — lecture seule

🌟 Posez une question

Ex: pénalité de retard ? OK

🔍 Rechercher dans le référentiel...

Tous Contrats Plans CCTP Marché

📄 **Contrat de marché — Gros œuvre et second œuvre**

Le marché est conclu à prix global. Pénalités de retard : 1/3000ème du montant HT par jour calendaire.

pénalité retard prix forfaitaire

- Sécurité.

Consultation Alertes

🚨 1 alerte

Tous les statuts ▼ Toutes priorités ▼

Critique En attente

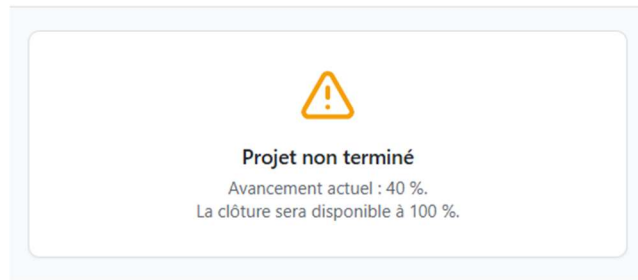
Accident / Blessure

Accident survenu à 10h25 à l'entrée du chantier, côté rue. Un ouvrier a glissé sur une plaque d'huile et s'est blessé au poignet gauche. La zone est dangereuse, du produit est encore au sol.

👤 Karim Benali ⌚ 21/04 13:50

- Clôture du projet.

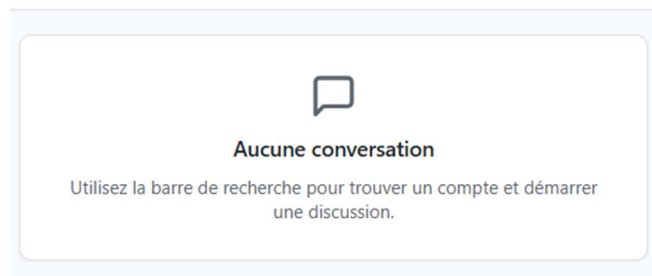
Clôture



- Messages.

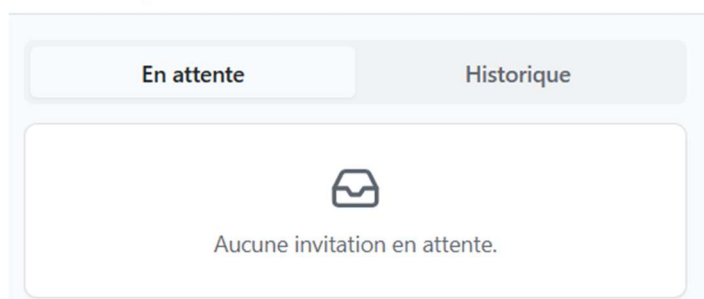
🔍 Rechercher un compte...

Messages



- Invitations.

Mes invitations



IV.2.1.3. Tableau de bord de l'entreprise

- En-tête.
- Sélecteur de projet permettant de changer le projet et d'afficher le nom du projet ainsi que sa localisation.

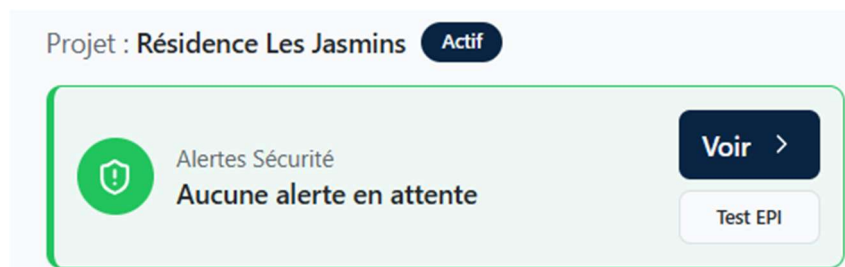


- La liste des projets actifs.

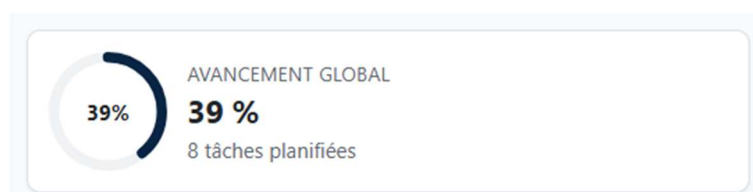


- Indicateurs KPI affichant :

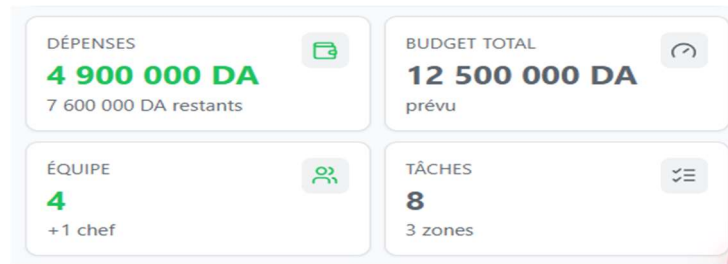
- Notification pour les tests EPI.



- Le pourcentage d'avancement globale.

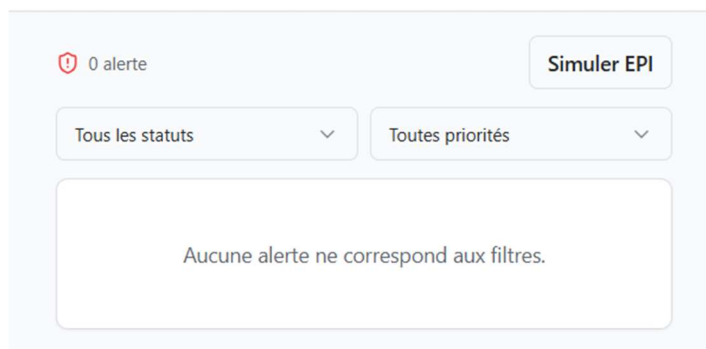


- Dépenses.
- Budget total.
- Equipes.
- Tâches.



- Alertes et test EPI.

Gestion des Alertes Sécurité



Créer une alerte

Signalez un problème à l'équipe du projet. Les destinataires recevront une notification immédiate.

Titre de l'alerte *
Ex: Danger chute hauteur

Projet concerné *
Résidence — Alger

Type *
Sécurité

Priorité *
Haute

Description *
Décrivez la situation en détail...

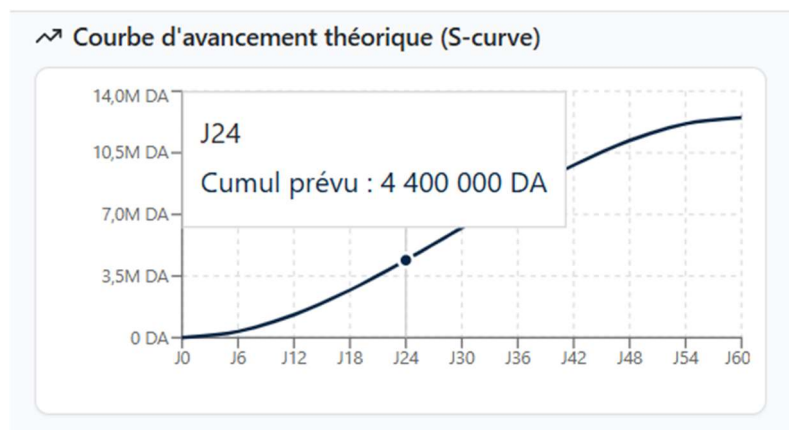
Destinataires *
Toute l'équipe du projet

Pièce jointe (optionnel)
Ajouter une photo ou un fichier

Émetteur : (Entreprise)

Annuler ENVOYER L'ALERTE

- Graphiques.



- Equipes.

Configurer l'équipe

Projet : Résidence Les Jasmins

✓

Équipe verrouillée — modifications désactivées (sauf ajout d'ouvriers).

Chef de chantier

Sofiane Kaci

chef@test.com

Ouvriers (4)

+ Ajouter

Ahmed Mansouri

Maçon - 800 DA/h

Karim Saidi

Électricien - 900 DA/h

Fatima Zohra

Plombier - 850 DA/h

Reda Boumediene

Peintre - 750 DA/h

Zones (3)

Zone A

Zone A+B

Globale

Aller à la planification

- Planification.

Planification

BUDGET TÂCHES

12 500 000 DA

/ 12 500 000 DA

TÂCHES

8

3 zones

✓

Planification validée — projet en statut "Actif".

Terrassement

Zone A

Ahmed Mansouri

13 mars → 27 mars

1 200 000 DA

Fondations

Zone A

Ahmed Mansouri

28 mars → 16 avr.

2 500 000 DA

- Défaut.

Défauts à valider

STATUT

En attente validation

Validé

Rejeté

PRIORITÉ

Critique

Haute

Moyenne

Basse

TYPE

Sécurité

Technique

Financier

Suivi



Échafaudage instable

Échafaudage non sécurisé zone B — intervention urgente requise.

Sécurité

Critique

En attente validation

✓ Valider

✗ Rejeter

87

- Matériels.

Matériel & équipements

Projet : Résidence Les Jasmins

Total14

Dispo7

Utilisé7

Maint.0

Pelle mécanique

Engin · réf. PM-2024-A · 1 u

Caterpillar 320, année 2023

Disponible

Pelle mécanique

Engin · réf. PM-2024-A · 1 u

Caterpillar 320, année 2023

En utilisation

- Messages.

Rechercher un compte...

Messages

Aucune conversation

Utilisez la barre de recherche pour trouver un compte et démarrer une discussion.

- Invitations.

Mes invitations

En attente

Historique

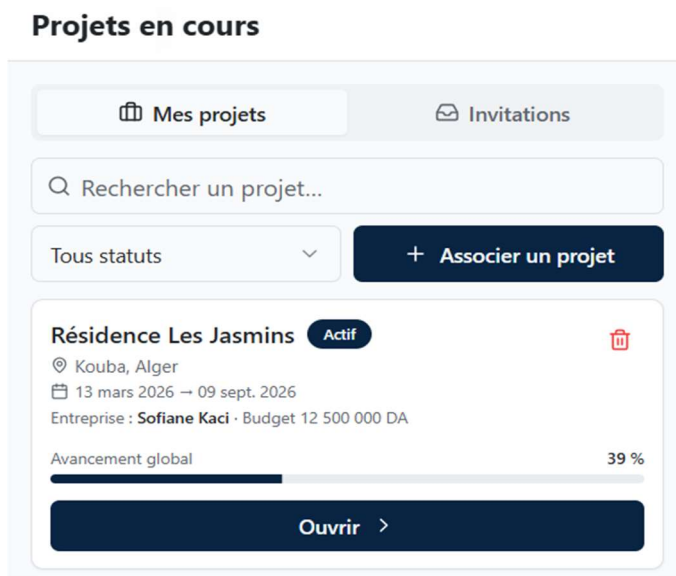
Aucune invitation en attente.

IV.2.1.4. Tableau de bord BET/MOE

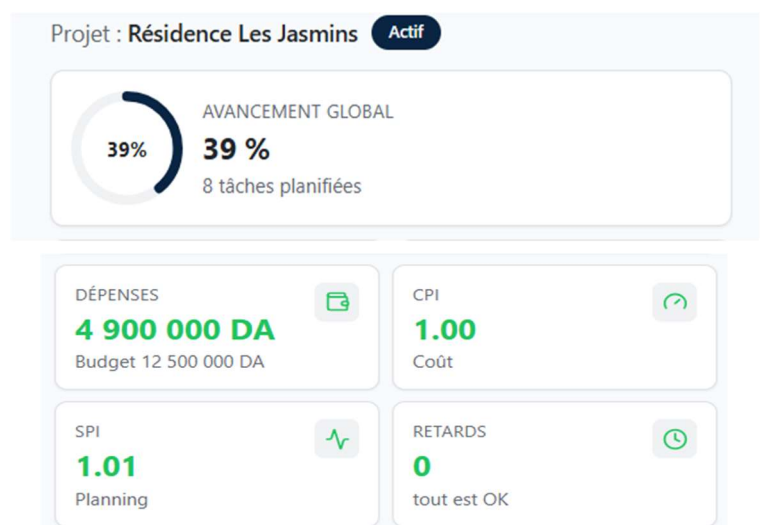
- En-tête.
- Sélecteur de projet permettant de changer le projet et d'afficher le nom du projet ainsi que sa localisation.



- Liste des projets.



- Indicateurs KPI affichant :
 - Le pourcentage d'avancement global.
 - Dépenses.
 - Budget total.
 - CPI.
 - SPI.
 - Retards.



- Alertes et sécurité.

Consultation Alertes

2 alertes

Tous les statuts

Toutes priorités

Critique

En attente

Accident / Blessure

Ce matin à 9h15, dans l'atelier de production (zone B), un employé a glissé sur une flaque d'huile et s'est fracturé le poignet droit en tentant de se rattraper. Le sol n'était pas signalé comme glissant. Une intervention médicale a été effectuée sur place, puis l'employé a été transporté aux urgences. Aucun témoin direct hormis l'opérateur voisin. Machine arrêtée le temps de l'analyse.

Karim Benali 21/04 14:25

Résidence — Alger belhadj kacem rihem · belhadj kacem rihem

Créer une alerte

Signalez un problème à l'équipe du projet. Les destinataires recevront une notification immédiate.

Titre de l'alerte *

Ex: Danger chute hauteur

Projet concerné *

Résidence — Alger

Type *

Sécurité

Priorité *

Haute

Description *

Décrivez la situation en détail...

Destinataires *

Toute l'équipe du projet

Pièce jointe (optionnel)

Ajouter une photo ou un fichier

Émetteur : *

(BET / MOE)

Annuler

ENVOYER L'ALERTE

- Tâches.

Tâches

8 tâches — lecture seule

Toutes

Terrassement

Zone : Zone A · Ahmed Mansouri

100% · fin 27 mars

Terminé

Fondations

Zone : Zone A · Ahmed Mansouri

100% · fin 16 avr.

Terminé

Maçonnerie

Zone : Zone A+B · Ahmed Mansouri

40% · fin 16 mai

En cours

- Validation travaux.

Validation travaux

 8 étapes de travaux

Réception

✓ Valider

✕ Refuser

 Remarque

En attente

Finitions

✓ Valider

✕ Refuser

 Remarque

En attente

Peinture

✓ Valider

✕ Refuser

 Remarque

En attente

- Plans.

Plans

 Upload un plan

- Non-conformité (NC).

Non-conformités

[+ Ajouter une non-conformité](#)

Aucune non-conformité.

- Rappports.

Rapports techniques

+ Générer un rapport

- Validation de clôture.

Validation travaux

☑ 8 étapes de travaux

Réception

En attente

✓ Valider × Refuser

Remarque

Finitions

En attente

✓ Valider × Refuser

Remarque

Peinture

En attente

✓ Valider × Refuser

Remarque

- Messages.

🔍 Rechercher un compte...

Messages

💬

Aucune conversation

Utilisez la barre de recherche pour trouver un compte et démarrer une discussion.

- Invitations.

Mes invitations

En attente Historique

📧

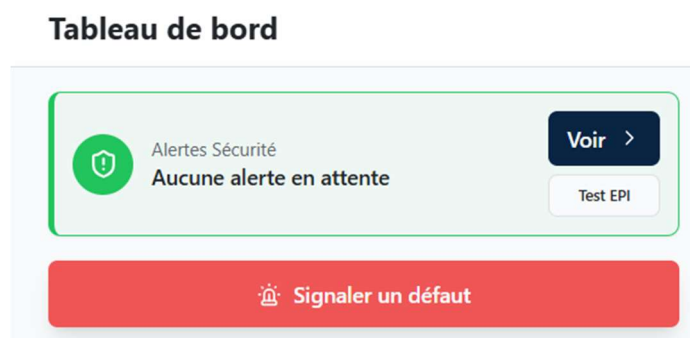
Aucune invitation en attente.

IV.2.1.5. Tableau de bord chef de chantier

- En-tête.
- Sélecteur de projet permettant de changer le projet et d'afficher le nom du projet ainsi que sa localisation.



- Accueil.
- Notification des Alertes.
- Signaler un défaut.



- Indicateurs KPI affichant :
 - Le pourcentage d'avancement.
 - Ouvriers.
 - Tâches en cours.
 - Incidents.



- Liste de présence.

Présence du jour

0/4
PRÉSENTS

0
RETARDS

0
ALERTE EPI

AM

Ahmed Mansouri

Maçon

Non pointé

EPI

Message

Appel

Valider

KS

Karim Saidi

Electricien

Non pointé

EPI

Message

Appel

Valider

- Saisie du jour.

Saisie du jour

12/05/2026
Résidence Les Jasmins

Brouillon

Première saisie
Aucune saisie précédente pour ce projet.

Présence des ouvriers
0/4

Tous présents
Tous absents

AM

Ahmed Mansouri

Maçon

Présent

Absent

KS

Karim Saidi

Electricien

Présent

Absent

FZ

Fatima Zohra

Plombier

Présent

Absent

RB

Reda Boumediene

Peintre

Présent

Absent

Avancement des tâches
L'avancement ne peut pas diminuer.

Terrassement
Zone A
100%

Minimum : 100%

Fondations
Zone A
100%

Minimum : 100%

Maçonnerie
Zone A+B
40%

Photos du chantier
10 photos maximum par jour.

Prendre une photo

Galerie

0/10 photo(s)

Incidents
Aucun incident signalé.

+ Signaler un incident

Commentaire journalier
Remarques générales sur la journée (optionnel)

Enregistrer la journée

- Tâches.

Tâches du chantier



- Planning (Diagramme de Gantt).

Planning



- Défauts.

Défauts du chantier

Résidence Les Jasmins • 0 défaut(s) + Nouveau

STATUT Brouillon En attente validation Validé Rejeté

En cours Résolu

PRIORITÉ Critique Haute Moyenne Basse

TYPE Sécurité Technique Financier Suivi

Aucun défaut. Cliquez sur « Nouveau » pour en créer un.

- Alertes.

Gestion des Alertes Sécurité

0 alerte Simuler EPI

Tous les statuts ▼ Toutes priorités ▼

Aucune alerte ne correspond aux filtres.

Créer une alerte ✕

Signalez un problème à l'équipe du projet. Les destinataires recevront une notification immédiate.

Titre de l'alerte *

Ex: Danger chute hauteur

Projet concerné *

Résidence — Alger ▼

Type * **Priorité ***

Sécurité Haute

Description *

Décrivez la situation en détail...

0/1000

Destinataires *

Toute l'équipe du projet ▼

Pièce jointe (optionnel)

Ajouter une photo ou un fichier

Émetteur : (Chef de chantier)

Annuler ENVOYER L'ALERTE

- Messages.

Rechercher un compte...

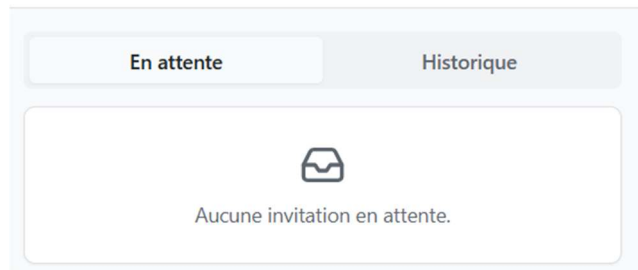
Messages

Aucune conversation

Utilisez la barre de recherche pour trouver un compte et démarrer une discussion.

- Invitations.

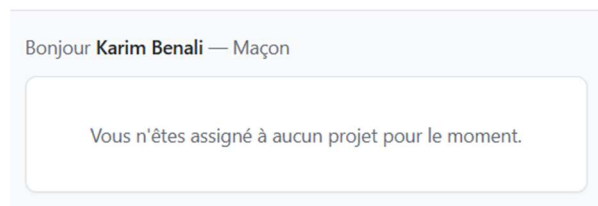
Mes invitations



IV.2.1.6. Tableau de bord ouvriers

- En-tête.
- Liste des projets associés.

Mes projets



- Tâches.

Mes tâches



- Alertes.

Mes signalements

1 alerte

Tous les statuts

Toutes priorités

Critique

En attente

Accident / Blessure

Ce matin à 9h15, dans l'atelier de production (zone B), un employé a glissé sur une flaque d'huile et s'est fracturé le poignet droit en tentant de se rattraper. Le sol n'était pas signalé comme glissant. Une intervention médicale a été effectuée sur place, puis l'employé a été transporté aux urgences. Aucun témoin direct hormis l'opérateur voisin. Machine arrêtée le temps de l'analyse.

Karim Benali 21/04 14:25

Résidence — Alger belhadj kacem rihem · belhadj kacem rihem

Créer une alerte

Signalez un problème à l'équipe du projet. Les destinataires recevront une notification immédiate.

Titre de l'alerte *

Ex: Danger chute hauteur

Projet concerné *

Résidence — Alger

Type * **Priorité ***

Sécurité Haute

Description *

Décrivez la situation en détail...

0/1000

Destinataires *

Toute l'équipe du projet

Pièce jointe (optionnel)

Ajouter une photo ou un fichier

Émetteur : (Ouvrier)

Annuler ENVOYER L'ALERTE

- Messages.

Rechercher un compte...

Messages

Aucune conversation

Utilisez la barre de recherche pour trouver un compte et démarrer une discussion.

- Invitations.

Mes invitations

En attente

Historique

Aucune invitation en attente.

IV.3. Conclusion

Ce chapitre a présenté la réalisation et la conception d'une solution intelligente de suivi de chantier. Nous avons utilisé un langage React pour sa simplicité et de son adaptabilité aux besoins du projet. Cette application contient cinq tableaux de bord chacun relatif à un rôle spécifique des acteurs de chantier.

- Maître d’ouvrage (MOA) : vision globale, indicateurs de performance, alertes, dépenses, retards, rapports, gestion des défauts et clôture.
- Entreprise : suivi des projets, EPI, avancement, budget, équipes, planification, matériels.
- BET / MOE : validation technique, suivi des plans, non-conformités, rapports.
- Chef de chantier : alertes, signalement des défauts, liste de présence, saisie journalière, planning (Gantt).
- Ouvriers : tâches simples, alertes, messagerie.

Ce chapitre montre aussi que les méthodes modernes peuvent remplacer les méthodes traditionnelles de suivi de chantier en Algérie.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre objectif dans ce travail était de proposer un système numérique de gestion de suivi de chantier destiné au secteur du BTP et de la construction en Algérie, afin d'améliorer la performance globale des projets.

Nous avons planifié un plan de travail composé de quatre chapitres, pour répondre à la problématique mentionnée dans l'introduction générale.

Dans un premier temps, une revue bibliographique sur les méthodes traditionnelles de suivi de chantier. Nous avons conclu avec cette analyse que la coordination et le bon déroulement des chantiers nécessitent l'intégration d'une solution intelligente.

Dans le deuxième chapitre, Une comparaison bien étudiée entre le suivi traditionnel et le suivi numérique basée sur des questionnaires destinés à des experts du domaine, et sur une analyse multicritère permettant le calcul de l'indice global de performance.

Ensuite, dans le troisième chapitre, nous avons abordé une analyse fonctionnelle qui se termine par un organigramme présentant les fonctionnalités principales, techniques et les contraintes à éviter dans notre application de suivi de chantier.

Enfin, le quatrième chapitre présente la description de ce système intelligent.

Ce mémoire démontre que la transformation digitale du suivi de chantier n'est pas facile à utiliser, mais reste une solution efficace pour améliorer le secteur de la construction en Algérie.

Références Bibliographiques

- [1] :AGLO.ai. (S. d.). *Chantier — Définition et Explication*. AGLO.ai. Consulté le 3 février 2026, sur https://www.aglo.ai/glossaire/chantier/#elementor-toc_heading-anchor-0
- [2] : TP Demain. (2024). *Les intervenants de la construction*. TP Demain. Consulté le 3 février 2026, sur <https://tpdemain.com/module/les-intervenants-de-la-construction/>
- [3] : Beyond-Suite.com. *Suivi de chantier : comment le réussir ?* [En ligne]. Septembre 2023. Consulté le 3 février 2026, sur : <https://www.beyond-suite.com/fr/suivi-chantier-0923/>
- [4] : Subcllic.com. *Suivi de chantier : guide complet pour un projet de construction réussi* [en ligne]. Écrit par Manon Oliveira, 14 août (S. a.). Consulté le 3 février 2026, sur <https://www.subcllic.com/blog/guide-complet-pour-reussir-le-suivi-de-chantier>
- [5] : IMAAGO. *Planning Gantt et planning chemin de fer* [en ligne]. Publié le 1 février 2023 ; modifié le 19 décembre 2023. Consulter le 3 février 2026, sur : <https://www.imaago.fr/planning-gantt-et-planning-chemin-de-fer/>
- [6] :HELLO-BRICO. *Quel est l'état d'avancement des travaux ?* [En ligne]. (S. l.) : Hello-Brico, (S.d.). Consulté le 3 février 2026, sur : <https://www.hello-brico.fr/quel-est-letat-davancement-des-travaux/>
- [7] : Obat.fr. *Compte rendu de chantier : pourquoi et comment le rédiger ?* [En ligne] : blog Obat. Publié le 08 octobre 2020 ; mis à jour le 08 janvier 2026. Consulter le 3 février 2026, sur : <https://www.obat.fr/blog/compte-rendu-chantier/>
- [8] : **Méthodes BTP**. *Le plan d'installation de chantier*. Consulté le 06 avril 2026, sur : <https://methodesbtp.com/preparation-chantier/le-plan-d-installation-de-chantier/>
- [9] : Mezzoteam. *Introduction au BIM et ses bénéfices pour les projets de construction* [en ligne]. 12 septembre 2024. Consulter le 4 février 2026, sur : <https://www.mezzoteam.fr/introduction-au-bim-et-ses-benefices-pour-les-projets-de-construction/>
- [10] : Forceplus.com. *Le BIM : qu'est-ce que c'est ?* [en ligne]. Publié le 4 janvier 2018 ; mis à jour le 13 janvier 2025. Consulter le 3 février 2026, sur : <https://www.forceplus.com/blog/quest-ce-que-le-bim/>
- [11] : Kraaft. *Applications BTP 2025*. [En ligne]. Consulté le 9 février 2026, sur : <https://www.kraaft.com/articles/applications-btp-2025>

- [12] : Avira. *IoT : Définition, applications et plus* [en ligne]. 4 novembre 2025. Publié par Nicola Massier-Dhillon. Consulter le 4 février 2026, sur : https://www.avira.com/fr/blog/internet-of-things/amp?srsltid=AfmBOorWuyEBnDK4FFseW9uyJr8oJJJoVm_FMTrrSOv2UShsBf3JWez
- [13] : LeMagIT. *Les avantages et inconvénients de l'IoT pour les entreprises* [en ligne]. Publié par Julia Borgini et Gaétan Raoul, 13 septembre 2021. Consulter le 4 février 2026, sur : <https://www.lemagit.fr/conseil/Les-avantages-et-les-inconvenients-de-l-IoT-pour-les-entreprises>
- [14] : IBM. *Qu'est-ce que la RPA ? Think | Business automation* [en ligne]. IBM Corporation, consulté le 8 février 2026, sur : <https://www.ibm.com/fr-fr/think/topics/rpa>
- [15] : salesforce. *Définition et exemples de solutions chatbot*. 2025. Consulté le 8 février 2026, sur : <https://www.salesforce.com/fr/resources/definition/chatbot-solution/#topic1>
- [16] : VirtualWorkforce.ai. *Agents d'IA pour entreprises de construction*. [En ligne] Consulté le 8 février 2026, Sur <https://virtualworkforce.ai/fr/agents-ia-pour-entreprises-de-construction/>
- [17] : IBM Corporation. *Stockage dans le cloud* [en ligne]. Think | IBM. Consulté le 9 février 2026, sur : <https://www.ibm.com/fr-fr/think/topics/cloud-storage>
- [18] : Free-Work. *Cloud: AWS, Azure ou Google Cloud?* [En ligne]. Free-Work, publié le 11 février 2025. Consulté le 8 février 2026, sur : <https://www.free-work.com/fr/tech-it/blog/actualites-informatiques/cloud-aws-azure-ou-google-cloud>
- [19] : Astera Équipe Marketing. *Qu'est-ce qu'une base de données cloud ? Types et avantages expliqués*. Astera, 30 juillet 2025. Consulté le 9 février 2026, sur : <https://www.astera.com/fr/type/blog/cloud-database/>
- [20] : KOHLBERG, Marcus. *Serverless Functions: What are they and when to use them* [en ligne]. 22 janv. 2026. Consulté le 9 février 2026, sur : <https://encore.cloud/resources/serverless-functions>
- [21] : Rapidionline. *Qu'est-ce que l'intégration API ?* [En ligne]. Consulté le 09 février 2026, sur : <https://www.rapidionline.com/fr/blog/qu-est-ce-que-l-integration-api>
- [22] : Alobees. *Les meilleurs logiciels de suivi de chantier en 2026* [en ligne]. Publié par Erwan Baynaud, 28 janvier 2026. Consulté le 4 février 2026, sur : <https://www.alobees.com/conseils/meilleurs-logiciels-suivi-chantier>

- [23] : Appvizer. Logiciel de suivi de chantier pour le BTP. Appvizer, [en ligne]. Consulté le 9 février 2026, sur <https://www.appvizer.fr/magazine/construction/btp/logiciel-suivi-de-chantier#mb-24>
- [24] : ANCO. *Tout ce qu'il faut savoir du contrôle d'un chantier de construction* [en ligne]. 23 janv. 2022. Consulté le 23 février 2026, sur : <https://www.anco.pro/blog/controle-chantier-construction/>
- [25] : BELKADI, A., 2019. *Chimie des surfaces et catalyse*. Alger : GCAlgerie.com. Consulté le 24 février 2026, sur : <https://www.GCAlgerie.com>
- [26]: EVERCAM. *Skanska Partners with Evercam on Simmons University Project to Improve Safety and Compliance* [en ligne]. Evercam, s.d. Consulté le 3 mars 2026, sur : <https://www.evercam.com/customer-stories/skanska-partners-with-evercam-on-simmons-university-project-to-improve-safety-and-compliance>
- [27]: ESRI CANADA, 2025. *Pomerleau boosts construction speed by 33 % with BIM-GIS integration* [video en ligne]. Canada : Esri Canada. Consulté le 01 mars 2026, sur : <https://resources.esri.ca/videos/pomerleau-boosts-construction-speed-by-33-with-bim-gis-integration-2>
- [28] : AUTODESK, INC., 2014. *Building on BIM : Comment les maîtres d'œuvre améliorent la rentabilité en passant à la vitesse supérieure avec le BIM*. États-Unis : Autodesk. Consulté le 01 mars 2026, sur : <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/bim-construction/fy15-aec-expand-construction-ebook-en-gb.pdf>
- [29]: HUMANTECH HORIZON, 2025. *HumanTech Pilots : Dynamic semantic digital twin*. Projet de recherche européen. Consulté le 01 mars 2026, sur : <https://humantech-horizon.eu/>
- [30]: CONSTRUCTION INDUSTRY COUNCIL, 2024. *Smart Construction Sites – A People-Oriented Approach to Enhance Efficiency and Safety* [en ligne]. Consulté le 01 mars 2026, sur : https://www.cic.hk/eng/main/aboutcic/leadership/safety_walk_with_thomas/safety-walk-57.html
- [31]: KIM, J.-Y. et al., 2025. Implementation of Integrated Smart Construction Monitoring System Based on Point Cloud Data and IoT Technique. *Sensors*, 25(13), 3997. Basel : MDPI. Consulté le 01 mars 2026, sur : <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/13/3997>

- [32] : KULINAN, A. S., JEON, Y., AUNG, P. P. W., PARK, M., CHA, G. et PARK, S., 2025. *BIM-based automated analysis of dynamic hazards for proactive safety measures during the earthwork construction stage using CCTV data*. *Advanced Engineering Informatics*, vol. 65, art. 103296, 2025. DOI : 10.1016/j.aei.2025.103296. Consulté le 01 mars 2026, sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034625001892>
- [33]: MCKINSEY & COMPANY, 2017. *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity*. États-Unis : McKinsey & Company. Consulté le 02 mars 2026, sur : <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>
- [34] : AUTODESK, 2025. *Rapports sur l'intégration du BIM et la transformation numérique dans le BTP*. États-Unis : Autodesk. Consulté le 02 mars 2026, sur : <https://www.autodesk.com/solutions/bim>
- [35]: EASTMAN, Charles, SACKS, Rafael, LEE, Ghang et TEICHOLZ, Paul. *BIM Handbook*. Wiley. Consulté le 03 mars 2026, sur : <https://www.wiley-vch.de/en/areas-interest/engineering/bim-handbook-978-1-119-28753-7>
- [36] : WIKIPEDIA. *Automation in Construction* [en ligne]. Wikipédia, s.d. Consulté le 3 mars 2026, sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Automation_in_Construction.

Annexes



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen

Business Model Canvas BMC

Date de dépôt :

N° de projet :

Faculté/Institut : Technologie Abou bakr belakid

Département : Génie Civil

Nom du projet : CHANTIERLY

Encadrant 1 : DAHHAOUI Hachimi

Encadrant 2 : HAMZAOUI Fethi

Etudiants : -BELHADJ KACEM Rihem
 -SEBTI Chaimaa

Année universitaire : 2025/2026

1- القيمة المقترحة (Value Proposition)

a. Quels problèmes résolvons-nous pour nos clients ?

ما هي المشاكل التي نحلها لعملائنا؟

- Application/plateforme
- Manque de visibilité en temps réel sur l'avancement des chantiers.
- Retards fréquents dus à une mauvaise coordination.
- Perte de temps dans les rapports manuels.
- Difficulté à détecter les écarts entre plan et exécution.

b. Quels besoins de nos clients satisfont nos produits ou services ?

ما هي الاحتياجات التي يلبّيها منتجاتنا أو خدماتنا لعملائنا؟

- Suivi automatisé via IA (photos, rapports, alertes).
- Centralisation des données chantier.
- Communication fluide entre équipes.
- Réduction des déplacements sur site.

c. En quoi notre offre est-elle différente de celle de nos concurrents ?

في ماذا تختلف عروضنا عن تلك التي يقدمها منافسونا؟

- Solutions locales adaptées au contexte algérien (hors connexion, langue, réglementation).
- IA pour détection automatique des anomalies sur photos.

d. Quelles est notre proposition unique de valeur ?

ما هو العرض الفريد للقيمة لدينا؟

- Optimisation de la productivité chantier grâce à l'IA.
- Réduction des dépassements de délais et coûts.
- Solution accessible et simple d'utilisation.
- Suivi en temps réel depuis le chantier.
- Alerte sur les délais.
- Collaboration et coordination entre les intervenants.
- Traçabilité.

2- انواع العملاء (Customer Segment)

a. Quels sont nos clients principaux ?

من هم العملاء او الزبائن الرئيسيون؟

- Maître d'Ouvrage (MOA) : promoteur immobilier, propriétaire public (APC, Wilaya, Ministères) ou privé (Agences).
- C'est le seul client qui achète et impose l'application aux autres parties prenantes.
- Organisme de contrôle (CTC, CTH).
- BET.

b. Quels sont les différents segments de clients que nous visons ?

ما هي الفئات المختلفة من العملاء التي تستهدفها؟

- MOA publics (ministères, communes, AADL, OPGI, etc.).
- MOA privés (promoteurs immobiliers, grands propriétaires).

c. Quels sont les besoins spécifiques de chaque segment de clients ?

ما هي الاحتياجات الخاصة لكل فئة من العملاء؟

- MOA publics : traçabilité, conformité réglementaire, rapports officiels.
- MOA privés : rentabilité, réduction des délais et coûts, transparence.

d. Comment pouvons-nous catégoriser nos clients en groupes distincts ?

كيف يمكن تصنيف عملائنا الى مجموعات مختلفة؟

- Par nature du MOA (public / privé).
- Par taille de projet (petit, moyen, grand chantier).
- Par mission (Etude, Réalisation, Suivi et contrôle, ...).

3- Relation avec les clients (Consumer Relationship) العلاقة مع العملاء :

a. Quel type de relation chaque segment de clients attend il de nous ?

اي نوع من العلاقة يتوقعه كل فئة من العملاء منا؟

- **Pour le MOA (notre client) :**
 - Reporting global et indicateurs clés.
 - Assistance rapide en cas de problème majeur.
 - Accès administrateur pour superviser tous les rôles.
- **Pour le MOE (bureau d'études) :**
 - Interface de suivi technique, validation des étapes.
 - Alertes sur les écarts plan/exécution.
 - Intégration avec logiciel (MS Project, BIM, ...).
- **Pour l'entreprise (chef de chantier, ouvriers) :**
 - Application simple, fiable, hors ligne possible.
 - Pas de décision, juste exécution des tâches de saisie.
 - Accompagnement continu.
 - Formations.
 - Mise à jour.
- **Chaque intervenant a son propre compte avec des droits et une interface adaptée :**
 - MOA : vue globale, validation factures.
 - MOE : contrôle technique.
 - Entreprise/chef de chantier : saisie avancement, photos.
 - Ouvriers : tâches simples (pointage, signalement).

b. Comment entretenons-nous actuellement les relations avec nos clients ?

كيف نحافظ حالياً على العلاقات مع عملائنا؟

- Contrat commercial avec le MOA.
- Accès multicomptes pour les autres intervenants.
- Support technique dédié pour le MOA uniquement.
- Documentation et tutoriels pour MOE et entreprise.
- Formation gratuite.
- Notification des évènements.

c. Comment pouvons-nous améliorer ou personnaliser nos interactions avec nos clients ?

كيف يمكننا تحسين أو تخصيص تفاعلاتنا مع عملائنا؟

- Tableau de bord personnalisé par type d'utilisateur.
- Assistance prioritaire pour le MOA.
- Chat intégré pour signaler les blocages (MOE/entreprise).
- Formation initiale offerte au MOA, qui forme ensuite les autres.

4- Canaux de distribution (Channels) قنوات التوزيع :

a. Par quels canaux nos clients veulent-ils être atteints ?

من خلال أي قنوات يفضل عملاؤنا أن يتم التواصل معهم؟

- Démarchage commercial B2B (vente directe au MOA).
- Site web/LinkedIn.
- Salons BTP en Algérie (des regroupements professionnels ou les entreprises de construction viennent pour présenter et expliquer leur produit ou service et faire des réunions avec les clients).
- Page (réseaux sociaux).

b. Quels canaux sont les plus efficaces pour atteindre chaque segment de clients ?

ما هي القنوات الأكثر فعالية للوصول إلى كل فئة من العملاء؟

- Référencement par les architectes et bureaux de contrôle (les professionnels valident un produit ou un service pour qu'il puisse être utilisé sur les chantiers en Algérie).
- Partenariats avec les fournisseurs de matériaux.

c. Comment pouvons-nous intégrer différents canaux pour améliorer l'expérience clients ?

كيف يمكننا دمج مختلف القنوات لتحسين تجربة العملاء؟

- Parcours client : démo gratuite → essai → abonnement.
- Support intégré via l'app et canaux physiques.

5- Partenaires clés (Key Partnerships) : الشراكة الرئيسية

a. Qui sont nos partenaires clés ?

من هم شركاؤنا الرئيسيون؟

- Ministères du BTP, Startup.
- Agences nationales de soutien à l'innovation ANBT, ANA, ANESRIF, ...
- Entreprises BTP
- Un développeur.
- Incubateur universitaire.
- INAPI (dépôt marque).
- Un Marqueteur.

b. Quels sont les partenariats qui nous aident à réduire les coûts, à accéder à de nouvelles ressources ou à améliorer notre proposition de valeur ?

ما هي الشراكات التي تساعدنا على خفض التكاليف أو الوصول إلى موارد جديدة أو تحسين قيمتنا المقترحة؟

- Hébergement cloud via startup partenaire (les informations ne sont pas stockées dans un ordinateur local mais dans une infrastructure informatique gérée par une startup avec laquelle en a signé un contrat).
- Intégration avec outils existants (AutoCAD, MS Project).
- Un développeur (freelance ou agence) : On peut négocier un contrat de maintenance mensuel Cela nous évite d'embaucher trop tôt.
- Partenaires académiques : Ecole d'ingénieur, ordre des ingénieurs, centre de formation professionnel, bureau de normalisation IANOR, ...

c. Comment pouvons-nous aligner nos intérêts avec ceux de nos partenaires ?

كيف يمكننا مزامنة مصالحنا مع تلك لشركائنا؟

- Partage de revenus sur revente (c'est le partage d'argent entre le vendeur et le partenaire après chaque revente, au lieu une centralisation de tous les bénéfices chez une seule personne).
- Co-développement de fonctionnalités (un rassemblement des entreprises dans lequel elles travaillent ensemble pour réaliser des nouvelles fonctions pour une application ou un produit).
- Le développeur est rémunéré pour son travail ; il gagne en visibilité sur un projet innovant. Nous gagnons en autonomie technique.
- **Un département universitaire** : On propose des offres de stage à leurs étudiants. Nous gagnons un développement à coût très réduit.

6- الأنشطة الرئيسية (Key Activities) :

- a. Quelles sont les actions principales que nous devons entreprendre pour livrer notre proposition de valeur ?

ما هي الأنشطة الرئيسية التي يجب علينا القيام بها لتقديم قيمتنا المقترحة؟

- Développement IA (analyse d'images, prédiction délais).
- Conception UI/UX adaptée au terrain (la conception d'une application en se basant sur les besoins et les contraintes des utilisateurs sur terrain).
- Tests terrain avec entreprises pilotes (il faut d'abord faire un essai de l'application ou le produit avant de leur lancement afin de confirmer leur bon fonctionnement).
- Formation et accompagnement.
- Maintenance.

- b. Quelles sont les opérations essentielles pour notre entreprise ?

ما هي العمليات الأساسية لشركتنا؟

- Maintenance applicative (c'est les recommandations essentielles pour garantir le bon fonctionnement de notre application).
- Support client (helpdesk).
- Collecte continue de données terrain (reprendre sans arrêt des informations et des données d'après le chantier pour les examiner).

- c. Quelles sont les activités qui créent le plus de valeur pour nos clients ?

ما هي الأنشطة التي تخلق أكبر قيمة لعملائنا؟

- Rapport automatisé avec alertes.
- Reconnaissance d'avancement via photos.
- Synchronisation hors ligne → en ligne (enregistrer les informations).
- Innovation et amélioration continue.

7- الموارد الرئيسية (Key resources) :

- a. Quels sont nos actifs matériels, immatériels et humains essentiels ?

ما هي الأصول المادية وغير المادية والبشرية الأساسية لدينا؟

- R.H : Porteurs de projets (2), Encadrants, I2E, Formateurs (CDE, NESDA).
- R. Im : algorithmes IA, corpus images Algérie, code source (langage AI).
- R.M: cloud local (stockage).
- R.F : développement, intégration IA, marketing.
- R.I : logo, marque, classement / label.

- b. Quels sont les outils, les technologies ou les partenariats dont nous avons besoin pour réussir ?

ما هي الأدوات والتكنولوجيا أو الشراكات التي نحتاجها لتحقيق النجاح؟

- Infrastructure cloud locale (il faut que l'infrastructure cloud situés dans le même pays que les utilisateurs).
- SDK de traitement d'images (ajouter des fonctions et tester des images).
- Partenariat sécurité des données. (Pour la protection des données et des informations).

- c. Quels sont les principaux avantages concurrentiels de nos ressources ?

ما هي المزايا التنافسية الرئيسية لمواردنا؟

- Dataset propre au contexte algérien (ensemble des données uniquement en Algérie pour que l'application destinés à un usage limité au territoire algérien et non hors du pays).
- Expertise locale en BTP + IA (la connaissance du secteur du BTP relié avec l'intelligence artificielle pour réaliser des outils efficace).

8- Charges et coûts (Coste structure) : التكاليف

- a. Quels sont les coûts fixes et variables associés à notre modèle économique ?

ما هي التكاليف الثابتة والمتغيرة المرتبطة بنموذجنا الاقتصادي؟

- Fixes : salaires des partenaires et ressources clés, hébergement cloud.
- Variables : acquisition client, stockage photos, maintenance, mise à jour.

- b. Quels sont les coûts les plus importants pour notre entreprise ?

ما هي التكاليف الأكثر أهمية لشركتنا؟

- Développement IA.
- Campagnes commerciales B2B.

- c. Comment pouvons-nous réduire les coûts ou améliorer l'efficacité de nos opérations ?

كيف يمكننا خفض التكاليف أو تحسين كفاءة عملياتنا؟

- Utilisation de modèles IA open source (algorithmes AI gratuits).
- Automatisation des tests.

9- Revenus (Revenue) : مصادر الدخل

- a. Quels produits ou services nos clients sont-ils prêts à payer ?

ما هي المنتجات أو الخدمات التي يكون عملاؤنا على استعداد لدفع ثمنها؟

- Abonnement mensuel par utilisateur (par mois).
- Forfait par projet (prix invariable).

b. Quels sont les différents moyens par lesquels nous pouvons générer des revenus ?

ما هي الطرق المختلفة التي يمكننا من خلالها تحقيق الدخل؟

- SaaS (Software as a Service) (un logiciel en ligne pas besoin de l'installer)
- Licence annuelle pour entreprises publiques.
- Intégration personnalisée (l'adaptation de notre application selon les besoins des clients et ils paient une seule fois).
- **Offre : 3 projets réalisés = 1 projet offert (sans frais supplémentaire).**
- **Augmenter le nombre de clients.**

c. Quel est notre modèle de tarification ?

ما هو نموذج التسعير لدينا؟

- Freemium (1 projet gratuit).
- Par tranche de taille chantier (ça dépend la taille du chantier).
- Remise pour équipes publiques (réduire le prix pour le secteur public).
- **Offre de fidélisation (3+1 offert).**

Business Model Canevas : B

