



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

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

**VALORISATION DES DEBLAIS DE CHANTIER POUR
LA FABRICATION DE MATERIAUX DE
CONSTRUCTION LEGERS : EXPERIMENTATION ET
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE**

Présenté et soutenu publiquement par :

BACHIRI Ibtihal Firdaous & FEKROUN Ibrahim

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
	Pr.	IMSI	Président
Mr. NADJI Mohamed El Amine	MCB	IMSI	Encadrant
	MCA	IMSI	Examineur
	Ing.		Représentant Partenaire Socio-économique

Année 2025/2026

RÉSUMÉ

Ce mémoire étudie la valorisation des déblais de chantier en vue de la fabrication de matériaux de construction légers, dans une logique de développement durable et d'économie circulaire. Face à l'augmentation des déchets du BTP et à leur gestion encore largement fondée sur la mise en décharge, ce travail propose une alternative de réutilisation des matériaux inertes issus des chantiers. L'étude commence par une analyse de la typologie des déchets de chantier, de leur composition, de leurs caractéristiques physico-chimiques et de leurs impacts environnementaux, ainsi que du cadre réglementaire et de la situation actuelle de leur gestion en Algérie. La partie expérimentale consiste à préparer des déblais sélectionnés, à les transformer en granulats ou fractions utilisables, puis à élaborer des matériaux de construction légers selon différents dosages. Les essais réalisés permettent d'évaluer leurs propriétés physiques et mécaniques, ainsi que leur aptitude à une utilisation dans des applications de construction non structurales. Les résultats montrent que la valorisation des déblais constitue une solution prometteuse pour réduire les volumes mis en décharge, limiter l'extraction des ressources naturelles et améliorer la gestion environnementale du secteur de la construction

ABSTRACT

This thesis investigates the valorization of construction excavation waste for the manufacture of lightweight building materials within a sustainable development and circular economy framework. In response to the increasing volume of construction and demolition waste and its still largely landfill-based management, this study proposes an alternative approach based on the reuse of inert materials generated on construction sites. The work first examines the typology of construction waste, its composition, physicochemical characteristics, environmental impacts, and the regulatory framework and current waste management situation in Algeria. The experimental part focuses on the selection and preparation of excavation materials, their transformation into usable fractions or aggregates, and the development of lightweight construction materials using different mix proportions. The tests performed assess the physical and mechanical properties of the produced materials as well as their suitability for non-structural construction applications. The results indicate that the valorization of excavation waste is a promising solution to reduce landfill disposal, limit the extraction of natural resources, and improve the environmental performance of the construction sector.

ملخص

يتناول هذا المذكرة موضوع تثمين مخلفات ورشات البناء بهدف تصنيع مواد بناء خفيفة، وذلك في إطار التنمية المستدامة والاقتصاد الدائري. وفي ظل الارتفاع المتزايد في حجم نفايات البناء والهدم، واعتماد طرق التخلص منها أساساً على الطمر، يقترح هذا العمل بديلاً يقوم على إعادة استعمال المواد الخاملة الناتجة عن الورشات. تبدأ الدراسة بتحليل أنواع نفايات البناء، وتركيبها، وخصائصها الفيزيائية والكيميائية، وآثارها البيئية، إضافة إلى عرض الإطار التنظيمي ووضعيتها تسيير هذه النفايات في الجزائر. أما الجانب التجريبي، فيتمثل في اختيار مخلفات الحفر وتحضيرها ثم تحويلها إلى حبيبات أو كسور قابلة للاستعمال، ومن ثم إعداد مواد بناء خفيفة بنسب خلط مختلفة. وتسمح التجارب المنجزة بتقييم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمواد المنتجة، وكذا مدى ملاءمتها للاستعمال في تطبيقات إنشائية غير حاملة. وتبين النتائج أن تثمين مخلفات الورشات يمثل حلاً واعدًا للحد من الطمر، وتقليل استنزاف الموارد الطبيعية، وتحسين الأداء البيئي لقطاع البناء.

REMERCIEMENTS

On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Je remercie toutes les âmes lumineuses qui ont croisé mon chemin et ont su à leur manière m'apporter un souffle d'encouragement, un regard de confiance, ou un simple mot qui m'a fait avancer.

À ma maman mon pilier, mon repère dans ce monde en mouvement, merci pour ton amour inconditionnel, pour tes sacrifices silencieux et pour tes prières discrètes.

À mon père, pour son soutien au fil des années.

À mes sœurs Meriem et Israa, ainsi qu'à mes frères Aissa et Moussa pour leur présence et tous ces moments de réconfort qui donnent un sens aux épreuves comme aux réussites.

À Ma chère amie Karima pour sa bienveillance et ses encouragements sincères qui ont souvent ravivé ma motivation lorsque la fatigue prenait le dessus.

J'adresse également mes plus sincères remerciements à mon encadrant NADJI Mohamed el amine pour son accompagnement, sa patience et sa disponibilité tout au long de ce travail.

Mes remerciements vont aussi au Professeur BOUHADIBA Ibrahim pour la qualité de son enseignement, sa pédagogie remarquable ainsi que sa passion pour la transmission du savoir.

À Nadir mon collègue pour son aide précieuse, sa disponibilité et ses encouragements tout au long de ce travail.

À mon binôme FEKROUN Ibrahim pour son esprit de coopération, son engagement et les efforts fournis durant la réalisation de ce mémoire.

DÉDICACE

Je dédie ce travail à toutes les personnes qui m'ont soutenue tout au long de mon parcours.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	v
DÉDICACE	vi
LISTE DES FIGURES	x
Liste des tableaux	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS	xi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I.1 Introduction	4
I.2 Typologie des déchets de chantier	4
I.2.1 Les déblais :	5
I.2.2 Le béton :	6
I.2.3 Les briques :	7
I.2.4 Les métaux :	8
I.2.5 Le plâtre :	9
I.2.6 Le bois :	9
I.2.7 Le verre :	10
I.3 Composition et caractéristiques des déblais :	11
I.3.1 La composition des déblais :	11
I.3.2 Caractéristiques des déblais :	14
I.4 Gestion des déchets de chantier dans le monde	15
I.4.1 Pratiques en Europe	15
I.4.2 Pratiques en Asie et dans les pays émergents	15
I.4.3 Collecte et transport des déchets	16
I.5 Gestion des déchets de chantier en Algérie :	16
I.5.1 Cadre Réglementaire de la gestion des déchets de chantier en Algérie :	16
I.5.2 Situation de la gestion des déchets de chantier en Algérie :	18
I.5.3 Flux des déchets en Algérie :	18
I.5.4 Modes d'élimination des déchets inertes en Algérie :	20
I.6 Impacts environnementaux des déchets de chantier :	21
I.6.1 Pollution des sols	21
I.6.2 Saturation des décharges :	22
I.6.5 Pollution des eaux souterraines :	22
I.6.6 Érosion et sédimentation :	22
I.6.7 Emissions de CO₂ :	23
I.7 L'économie circulaire appliquée aux déchets de chantier :	23
I.8 Possibilités de valorisation des déblais en d'autres produits :	24
I.9 Conclusion	30

II.1 Introduction.....	32
II.2 Étude de terrain et stratégie d'approvisionnement	32
II.2.1 Méthodologie de l'étude de terrain.....	32
II.2.2 Résultats de l'étude de terrain	32
II.2.3 Valeur ajoutée pour les chantiers partenaires	34
II.3 Matériels utilisés :	34
II.4 Matériaux utilisés.....	36
II.4.1 Granulats recyclés.....	36
II.4.2 Le ciment :	37
II.4.3 L'eau de gâchage :	38
II.4.4 L'adjuvant :	38
II.5 ANALYSE DES RISQUES — HYGIÈNE, SÉCURITÉ, ENVIRONNEMENT (HSE) :	39
II.5.1 Équipements de Protection Individuelle (EPI) obligatoires.....	40
II.6 Préparation des matériaux recyclés :	40
II.6.1 justification du choix des pavés écologiques :.....	40
II.6 PROGRAMME EXPÉRIMENTAL — FORMULATIONS :	41
II.7 Schéma du Processus de Fabrication:.....	43
II.7.1 Protocole de fabrication détaillé	43
Étape 1 — Collecte des Déblais de Chantier	44
Étape 2 — Tri et Préparation	44
Étape 3 — Concassage Manuel.....	44
Étape 4 — Tamisage	45
Étape 5—Humidification des déblais	46
Étape 6—Mélange à sec	47
Étape 7— Dosage des Constituants	48
Étape 8 — Mélange	48
Étape 9 — Moulage.....	49
Étape 10 — Compactage	50
Étape 11— Démoulage.....	50
Étape 12 — Cure (Conservation)	50
Étape 13 — Stockage à 28 Jours.....	50
II.8 Polyvalence du mélange développé et perspectives de diversification	53
II.9 Conclusion	54
III.1 Introduction	56
III.2 Observation générale des pavés fabriqués	56
III.3 Observations visuelles et comportement mécanique préliminaire	56
III.4 FICHES DE SUIVI ET JOURNAL DE FABRICATION.....	57
III.4.1Fiche de Suivi de Séance	57

III.4.2 Journal de Cure — Suivi Quotidien	57
III.5 Faisabilité du procédé :	58
III.5.2 Simplicité et reproductibilité du procédé	59
III.6 Analyse environnementale	59
III.6.1 Émissions de gaz à effet de serre (GES) : granulats naturels versus granulats recyclés	59
III.6.2 Consommation d'énergie	60
III.6.3 Conséquences environnementales de la mise en décharge des déchets inertes.....	60
III.6.4 Économie circulaire appliquée au secteur de la construction	61
III.6.5 Protection de l'environnement : bilan chiffré.....	61
III.6.6 Limites de l'étude et perspectives	61
III.7 Bénéfices attendus pour le secteur du BTP et perspectives de valorisation.....	62
III.7.1 Bénéfices techniques et économiques pour le secteur	62
III.7.2 Perspectives de valorisation industrielle	62
III.7.3 Limites de la phase 1 et voie vers la phase 2	62
III.8 Discussion	63
III.9 Conclusion	64
CONCLUSION GENERALE	65
BIBLIOGRAPHIE	66
ANNEXE.....	68

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Catégories de déchets de chantier.....	5
Figure1. 2: les déblais de chantier.....	6
Figure1. 3: le béton	7
Figure1. 4: La Brique	8
Figure1. 5: les métaux.....	8
Figure1. 6: Le plâtre.....	9
Figure1. 7:Le bois	10
Figure1. 8: le verre	10
Figure1. 9:les différents types de sol	12
Figure 10:les granulats naturels	12
Figure1.11:les fragments de roches	13
Figure1.12:les résidus de matériaux de construction	13
Figure1.13:pots de fleurs:	25
Figure1.14:pot de fleurs	25
Figure1.15:dalles de sol pour jardin.....	26
Figure1.16:dalles de sol pour jardin.....	26
Figure1.17:bordures de séparation.	27
Figure1.18:une fontaine	27
Figure1.19:éléments de décoration	28
Figure1.20:blocs de maçonnerie	29
Figure1.21:mobilier urbain	29
Figure2. 22:granulats de céramique et béton recyclés	37
Figure2.23:le ciment	37
Figure2.24:Adjuvant	38
Figure2.25:Shéma synthétique du procédé de fabrication de pavés à base de déblais recyclés	43
Figure2.26:Le tri des déblais.....	44
Figure2.27: Le concassage du céramique	45
Figure2.28: Le concassage du béton.....	45
Figure2.29: Le tamisage du céramique	46
Figure2.30:Humidification des déblais	47
Figure 31:le sable	47
Figure 32:le gravat.....	47
Figure2.33:mélange du sable,gravats et céramiques.....	48
Figure2.34:malaxage du mélange	49
Figure2.35:Mise en moule du mélange pour la fabrication des pavés écologiques.....	49
Figure2.36:pavé écologique fabriqué (série1)	51
Figure 37:shéma synthétique du procédé de fabrication des pavés écologiques à base de déblais recyclés.....	52
Figure3.38: le pavé fabriqué	57
Figure 39:chantier (03).....	69
Figure 40:chantier (01).....	70
Figure 41:chantier (02).....	70

Liste des tableaux

Table 1:les dimensions des granulats.....	11
Table 2.1:une synthèse comparative des trois chantiers visités dans la wilaya d'Oran	34
Table 3:matériels utilisés.	36
Table 4:Analyse des risques.....	39
Table 5:Proportions des mélanges	41
Table 6:formulation des trois mélanges	42
Table3.7:fiche de suivi de séance	57
Table3.8:journal de cure	58
Table 9:caractéristiques du ciment MATINE 42.5	71
Table 10:caractéristiques de l'adjuvant Sika	72
Table 11:critères de conformité de l'eau de gachage	72
Table 12:caractérisation visuelle des granulats utilisés	73
Table 13:normes de référence applicable à l'étude	74
Table 14:principaux textes réglementaires algériens relatifs aux déchets de chantier	74

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
AND	Agence Nationale des Déchets
BTP	Bâtiment et Travaux Publics
CDW	Construction and Demolition Waste (déchets de construction et de démolition)
CEC	Capacité d'Échange Cationique
CEM I	Ciment Portland ordinaire (norme NF EN 197-1)
CET	Centre d'Enfouissement Technique
CNFE	Conservatoire National des Formations à l'Environnement
CNERIB	Centre National d'Études et de Recherches Intégrées du Bâtiment
CO₂	Dioxyde de carbone
CRA	Coarse Recycled Aggregate (granulats recyclés grossiers)
CSD	Centre de Stockage de Déchets
DBR	Déchets de Béton Recyclé
DCR	Déchets de Céramique Recyclée
DCD	Déchets de Construction et Démolition
DEW	Direction de l'Environnement de Wilaya
DTR	Document Technique Réglementaire (Algérie)
E/C	Rapport Eau / Ciment
E/L	Rapport Eau / Liant
EN	Norme Européenne (European Norm)
EPI	Équipements de Protection Individuelle
FRA	Fine Recycled Aggregate (granulats recyclés fins)
HSE	Hygiène, Sécurité et Environnement
IMSI	Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
MATET	Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme
MPa	Mégapascal — unité de contrainte/résistance mécanique
NF	Norme Française
ONEDD	Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable

Abréviation	Signification
pH	Potentiel Hydrogène
PNAE-DD	Plan National d'Actions Environnementales et du Développement Durable
PNAEDD	Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable
PROGDEM	Programme National de Gestion des Déchets Municipaux
PUPE	Police de l'Urbanisme et de la Protection de l'Environnement
Rc	Résistance à la compression (MPa)
RSE	Responsabilité Sociétale des Entreprises
SIE	Sécurité Industrielle et Environnement
SNE	Stratégie Nationale Environnementale
SR	Sulfate Résistant (type de ciment)
wt. %	Pourcentage en masse (weight percent)
P	Masse volumique (kg/m ³)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

En Algérie, plusieurs tonnes de déchets sont produites annuellement, dont la grande majorité est constituée de déblais issus des activités de construction et de démolition. Depuis 2001, la politique nationale de gestion de ces déchets a principalement privilégié l'enfouissement, une pratique qui entraîne aujourd'hui un gaspillage massif de matières potentiellement valorisables. En effet, les opérations d'aménagement urbain exigent souvent de déconstruire l'existant, laissant derrière elles d'importants volumes de déblais composés de béton, de briques, de verre, de sable et de bois,.

Une gestion inadéquate de ces déchets constitue une problématique majeure. S'ils ne sont pas pris en charge correctement, certains matériaux peuvent libérer des substances nocives entraînant la contamination des sols, des eaux souterraines et des cours d'eau. Parallèlement, la fabrication de nouveaux matériaux de construction repose sur l'extraction intensive de ressources naturelles limitées, telles que celles issues des carrières. En gérant les déchets de chantier de manière responsable, on favorise la réutilisation et le recyclage, non seulement pour réduire les volumes mis en décharge, mais surtout pour transformer ces rebuts en nouvelles ressources, ce qui constitue le fondement même de l'économie circulaire.

C'est dans ce contexte précis que s'inscrit la présente étude, qui cherche à transformer ces déchets en matériaux utilisables pour réduire l'impact environnemental du secteur du BTP. Dès lors, la question fondamentale qui oriente cette réflexion est la suivante :

Face à l'accumulation non contrôlée des déchets inertes de chantier dans les périphéries urbaines algériennes, à la raréfaction des granulats naturels et à la hausse des coûts des matériaux de construction, dans quelle mesure est-il possible de concevoir un procédé de fabrication simple et low-cost de matériaux de construction (tels que des pavés écologiques) à base de déblais de chantier tout-venant, stabilisés par un liant accessible localement, permettant d'obtenir un produit techniquement conforme aux exigences réglementaires tout en constituant le fondement d'un modèle économique viable pour une startup en phase d'amorçage dans la wilaya d'Oran ?

Il convient de préciser que la réponse à cette problématique s'articule en deux temps. Ce présent mémoire constitue la **première phase** de notre projet de fin d'études. Elle est exclusivement concentrée sur la validation technique, scientifique et sécuritaire (HSE) du procédé de recyclage. La **seconde phase**, prévue pour décembre, sera quant à elle dédiée à la valorisation économique de ces résultats, avec la présentation détaillée du projet de startup, de son modèle économique et de son analyse stratégique.

Afin de mener à bien cette première phase technique, le mémoire est structuré en trois chapitres :

- **Le premier chapitre** dresse une revue bibliographique sur la typologie des déchets de chantier, leurs impacts environnementaux et l'état des lieux de leur gestion en Algérie et dans le monde.
- **Le deuxième chapitre** est consacré à la méthodologie expérimentale. Il détaille la stratégie d'approvisionnement à Oran, le processus de fabrication des matériaux recyclés, et intègre une indispensable analyse des risques (HSE) liés aux opérations.
- **Le troisième chapitre** est consacré à la présentation et à l'analyse des résultats obtenus dans le cadre de cette première phase du projet. L'objectif n'est pas d'apporter une validation définitive des performances du produit, mais de démontrer la faisabilité du procédé, la compatibilité des matières premières utilisées et l'intérêt environnemental de la démarche. Les essais complémentaires de performance, l'étude technico-économique et la validation finale du produit seront développés lors de la seconde phase du projet prévue en décembre.

Il convient de préciser que le présent mémoire s'inscrit dans la première phase d'un projet plus global de valorisation des déblais de chantier dans une démarche d'économie circulaire. Cette première étape est consacrée principalement à la validation scientifique, technique, environnementale et HSE de la solution proposée, à travers l'étude des matières premières, l'élaboration du procédé de fabrication et l'analyse de sa faisabilité. Les aspects relatifs à la création de la startup, à l'étude technico-économique, au modèle économique, aux performances détaillées du produit ainsi qu'au développement industriel du projet feront l'objet d'une seconde phase qui sera présentée lors d'une deuxième soutenance prévue en décembre. Cette distinction permet de définir clairement le périmètre du présent travail et les objectifs poursuivis dans cette première étape du projet.

CHAPITRE I :

Déchets de chantier et valorisation dans la construction

I.1 Introduction

La valorisation de ces terres de déblais sous forme de matériaux est un questionnement récent. Pour le moment, aucune documentation scientifique n'aborde directement le sujet qui mérite pourtant d'être examiné. Il existe cependant un certain nombre d'études et de plans de gestion abordant la problématique des ressources autour des travaux souterrains ou d'affouillement notamment le plan national d'actions environnementales et du développement durable (PNAE-DD) qui s'est concrétisée par la promulgation de la loi 01-19 du 12 Décembre 2001.

Dans ce contexte le secteur de la construction génère une grande quantité de déchets issus des activités de terrassement, de construction et de démolition. Ces déchets comprennent notamment les déblais, le béton, les briques et les métaux. Leur accumulation représente un problème environnemental important, en raison de la pollution qu'ils peuvent provoquer et de la saturation des décharges.

Face à ces enjeux, la valorisation des déchets de chantier apparaît comme une solution durable permettant de réduire leur impact environnemental tout en favorisant la réutilisation des matériaux dans le domaine de la construction. Dans ce contexte, ce chapitre présente les différents types de déchets de chantier, la composition des déblais, les pratiques de gestion en Algérie ainsi que les impacts environnementaux et les possibilités de valorisation dans le cadre de l'économie circulaire.

I.2 Typologie des déchets de chantier

Les activités de construction, de rénovation et de démolition génèrent une quantité importante de déchets appelés déchets de chantier ou déchets du BTP (Bâtiment et Travaux Publics). Ces déchets proviennent principalement des travaux de terrassement, de construction de bâtiments, de démolition et de réhabilitation d'ouvrages. Ils représentent une part significative de la production totale de déchets dans de nombreux pays et constituent un enjeu majeur pour la gestion environnementale.

Les déchets de chantier peuvent être classés en plusieurs catégories selon leur nature et leur dangerosité (fig.1).

On distingue généralement trois grandes catégories :

- **Les déchets inertes** : définis par l'article R541-8 du Code de l'Environnement comme : « Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique

importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé ». (Code de l'environnement - Article R541-8, 2016)

- **Les déchets non dangereux non inertes** : ils comprennent notamment les métaux, le bois, les plastiques et les emballages provenant des activités de chantier. Bien qu'ils ne soient pas dangereux, ils nécessitent un tri et une gestion adaptés pour permettre leur recyclage.
- **Les déchets dangereux** : ils contiennent des substances pouvant représenter un risque pour la santé humaine et l'environnement, comme l'amiante, les solvants, les peintures ou certains produits chimiques utilisés dans la construction.

INERTES		DÉCHETS NON DANGEREUX		DÉCHETS DANGEREUX	
					
Béton	Gravat	Bois & Palette	Plastique	Bois traité (classe C)	Batterie
					
Tuile	Terre	Revêtement de sol	Plâtre	Goudron	Peinture & Solvant
					
Verre	Brique	Papier & Carton	Métaux	Déchets dang. mélangés	Aérosol & Cartouche
					
		Déchet vert	Laine minérale	Terre polluée	Amiante

Figure 1.1 : Catégories de déchets de chantier

I.2.1 Les déblais :

Les déblais sont des matériaux extraits du sol lors des travaux de terrassement, d'excavation ou de nivellement du terrain. Ils sont généralement composés de terres, de sable, d'argile, de graviers et parfois de fragments de roches. Les déblais sont considérés comme des déchets inertes, car ils ne subissent pas de transformation chimique importante et ne présentent généralement pas de danger pour l'environnement lorsqu'ils ne sont pas contaminés [1] ,(fig.2).



Figure1. 2: les déblais de chantier

I.2.2 Le béton :

Le béton est un matériau de construction constitué principalement de ciment, de sable, de granulats (gravier) et d'eau. Comme le souligne Romain Anger[2], cette composition granulaire où les granulats sont agglomérés par un liant colloïdal présente des analogies essentielles avec la terre crue, qualifiée de « béton d'argile » où cailloux, sables et silts sont liés par les argiles. Les déchets de béton proviennent souvent de la démolition d'ouvrages, de structures en béton armé ou de surplus de béton sur les chantiers, et peuvent être recyclés pour produire des granulats recyclés utilisés dans la fabrication de nouveaux matériaux de construction (fig.3), optimisant ainsi la densité et transférant les innovations du béton haute performance vers une économie circulaire.

« Le fil conducteur de cette double approche granulaire et colloïdale qui est présentée ici est le suivant : la terre est un béton d'argile. « Béton » est un terme générique : il désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats agglomérés par un liant. Le béton, dans lequel les graviers et les sables sont agglomérés par le ciment, présente ainsi des analogies essentielles avec la terre, dans laquelle les cailloux, graviers, sables et silts sont agglomérés par les argiles. De cette prise de conscience découle la leçon suivante : la plupart des innovations majeures qui, au cours des 30 dernières années, ont menés à la mise au point des spectaculaires bétons à ultra hautes performances sont directement transférables au matériau terre. »

I.2.2.1 Caractéristiques et utilisation :

Les qualités les plus remarquables du béton sont une masse volumique (densité) élevée, un poids important, une dureté presque égale à celle de la pierre, une grande résistance à l'usure, une étanchéité à l'eau presque parfaite et une remarquable résistance au gel et aux intempéries. Dans la construction, le béton est apprécié pour ses propriétés d'isolation phonique et pour sa capacité à stocker la chaleur. En revanche comme tout bon conducteur de la chaleur, c'est un très mauvais isolant.

La grande innovation qu'a apporté le béton, c'est de pouvoir être moulé dans n'importe quelle forme, d'où son usage si répandu.



Figure1. 3: le béton

I.2.3 Les briques :

Les briques sont des matériaux de construction fabriqués à partir d'argile ou d'autres matériaux minéraux, puis cuits à haute température. Les déchets de briques proviennent principalement des travaux de démolition ou de rénovation de bâtiments. Comme le béton, les briques sont classées parmi les déchets inertes et peuvent être recyclées ou réutilisées dans certains travaux de construction (fig.4).

I.2.3.1 Caractéristiques et utilisation :

Les matériaux de construction fabriqués en terre cuite se caractérisent par une bonne résistance mécanique ainsi qu'une bonne résistance à l'usure. Ils sont chimiquement inertes et résistants au feu.



Figure1. 4: La Brique

I.2.4 Les métaux :

Les métaux présents sur les chantiers proviennent notamment des structures métalliques, des armatures en acier utilisées dans le béton armé, ou encore des installations techniques des bâtiments. Contrairement aux déchets minéraux, les métaux possèdent un fort potentiel de recyclage, car ils peuvent être fondus et réutilisés pour produire de nouveaux matériaux sans perte importante de leurs propriétés (fig.5).



Figure1. 5: les métaux

I.2.5 Le plâtre :

C'est un matériau de construction naturel, obtenu par calcination du gypse, utilisé pour le revêtement (murs, plafonds) et le moulage. Il se présente sous forme de poudre blanche qui est mélangée à l'eau, durcit rapidement. Durable et régulateur d'humidité, il est indispensable en construction intérieure (fig.6).



Figure1. 6: Le plâtre

I.2.6 Le bois :

Le bois est un matériel naturel d'origine végétale. Il est constitué par un tissu végétal formant la plus grande partie du tronc des plantes ligneuses. Le bois assure, chez la plante, le rôle de conduction de la sève brute des racines jusqu'aux feuilles et le rôle de soutien mécanique de l'arbre ou de l'arbuste (fig.7).



Figure1. 7:Le bois

I.2.7 Le verre :

Minéral, inerte, et recyclable à l'infini, le verre est le matériau phare du recyclage. En effet, le verre n'est pas dangereux et se dégrade très peu lors de son recyclage. Mais bien que ce soit le seul déchet ménager à 100 % recyclable (fig.8).

I.2.7.1 Caractéristiques et utilisation :

Le verre est un solide non cristallin, obtenu par solidification d'un mélange de sable pur et de soude, fondu à une température de l'ordre de 1 500 °C. Des additifs, choisis en fonction des usages, améliorent et modifient les propriétés du verre ainsi que le procédé de fabrication. Les productions en verre se présentent sous deux formes : les verres creux et les verres plats. Ce sont les verres plats qui sont utilisés dans la construction, à l'exception des briques de verre.



Figure1. 8: le verre

I.3 Composition et caractéristiques des déblais :

I.3.1 La composition des déblais :

La composition des déblais dépend principalement de la nature géologique du sol, de la profondeur des travaux et du type d'activité réalisée sur le chantier. Cependant, dans la plupart des cas, les déblais sont constitués essentiellement de matériaux minéraux naturels [3].

Parmi les principaux éléments composant les déblais, on peut citer :

I.3.1.1 Les terres naturelles :

Les terres naturelles constituent la fraction la plus importante des déblais. Elles sont composées de différentes particules du sol telles que l'argile, le limon et le sable. L'argile est caractérisée par des particules très fines qui présentent une forte capacité de rétention d'eau, tandis que le limon possède une granulométrie intermédiaire. Le sable, quant à lui, est constitué de particules plus grossières qui favorisent le drainage de l'eau dans le sol (fig.9).

granulats	Dimensions
Cailloux	20 mm – 200 mm
Graviers	2 mm – 20 mm
Sables grossiers	0,2 mm – 2 mm
Sables fins	0,06 mm – 0,2 mm
Limons	0,02 mm – 0,06 mm
Limons fins	0,002 mm – 0,02 mm
Argiles	< 0,002 mm

Table 1: les dimensions des granulats



Figure1. 9:les différents types de sol

I.3.1.2 Les granulats naturels :

Les déblais contiennent également des granulats naturels, tels que les graviers et les cailloux. Ces éléments proviennent souvent de la fragmentation naturelle des roches présentes dans le sol. Les granulats contribuent à améliorer la résistance mécanique et la stabilité des matériaux lorsque les déblais sont réutilisés dans certains travaux de construction (fig.10).



Figure 10:les granulats naturels

I.3.1.3 Les fragments de roches :

Lors des travaux de terrassement ou d'excavation, il est fréquent de rencontrer des fragments de roches provenant des couches géologiques plus profondes. Ces fragments peuvent être constitués de différentes roches comme le calcaire, le granite ou le grès, selon la région géographique du chantier (fig.11).



Figure1.11:les fragments de roches

I.3.1.4 Les résidus de matériaux de construction :

Dans certains cas, les déblais peuvent contenir de petites quantités de matériaux issus d'anciennes constructions ou de travaux de démolition, tels que des fragments de béton, de briques ou de mortier. Toutefois, ces éléments représentent généralement une proportion relativement faible par rapport aux matériaux naturels (fig.12).



Figure1.12:les résidus de matériaux de construction

I.3.2 Caractéristiques des déblais :

Les déblais présentent plusieurs caractéristiques physico-chimiques qui influencent leur gestion et leur potentiel de valorisation.

I.3.2.1 Caractéristiques physiques :

Les principales propriétés physiques étudiées sont :

Granulométrie : elle correspond à la répartition des tailles des particules composant le matériau (argiles, limons, sables, graviers). Cette caractéristique influence directement la perméabilité, la compacité et la portance du sol.

Teneur en eau : elle représente la quantité d'eau contenue dans le matériau et joue un rôle important dans la maniabilité, le compactage et la stabilité des déblais.

Masse volumique ou densité : elle permet d'évaluer la quantité de matière contenue dans un volume donné et influence notamment les conditions de transport et de stockage des matériaux excavés.

Propriétés géotechniques (cohésion et angle de frottement interne) : ces paramètres déterminent la résistance au cisaillement du matériau et sont essentiels pour l'évaluation de la stabilité des remblais et des ouvrages en terre.

I.3.2.2 Caractéristiques chimiques :

L'analyse chimique des déblais permet d'identifier les éléments susceptibles d'avoir un impact environnemental ou d'influencer leur valorisation

PH : il indique le caractère acide ou basique du matériau et influence la mobilité et la solubilité de certains polluants.

Teneur en matière organique : elle correspond à la quantité de carbone organique présent dans le sol et peut influencer certaines réactions chimiques ou biologiques.

Sulfates solubles : leur présence peut provoquer une agressivité chimique vis-à-vis de certains matériaux de construction, notamment les bétons.

CHAPITRE I : Déchets de chantier et valorisation dans la construction

Polluants ou contaminants : il peut s'agir de métaux lourds (plomb, mercure, chrome), d'hydrocarbures ou d'autres substances chimiques susceptibles de limiter la valorisation des déblais.

Capacité d'échange cationique (CEC) : elle correspond à la capacité du sol à retenir et échanger certains ions, ce qui influence la fixation des nutriments ou des polluants.

I.4 Gestion des déchets de chantier dans le monde

À l'échelle internationale, la gestion des déchets de construction et de démolition (DCD) a considérablement évolué depuis les années 2000, portée par les politiques de développement durable et la raréfaction des ressources naturelles.

I.4.1 Pratiques en Europe

L'Union Européenne avait fixé un objectif de valorisation de 70 % des déchets de construction et de démolition (DCD) à l'horizon 2020 (Directive-Cadre Déchets 2008/98/CE), objectif désormais atteint voire dépassé par plusieurs États membres. Dans le cadre du Pacte Vert européen et du paquet économie circulaire, de nouveaux objectifs spécifiques aux DCD sont en cours de définition pour l'horizon 2030 (Directive (UE) 2025/1892, à transposer avant juin 2027). Certains pays comme les Pays-Bas (32,7 % de taux de circularité), la Belgique (22,7 %) et l'Allemagne maintiennent des performances de recyclage parmi les plus élevées d'Europe. En France, le taux de valorisation matière des déchets du bâtiment atteint 71 %, porté notamment par la création en 2023 d'une filière à Responsabilité Élargie du Producteur (REP) dédiée aux matériaux de construction. Le Projet National RECYBETON (2012-2018), financé à 4,7 M€, a démontré la faisabilité technique de l'utilisation de granulats recyclés jusqu'à 100 % dans des bétons de structure, avec des résistances de 20 à 40 MPa.

I.4.2 Pratiques en Asie et dans les pays émergents

Le Japon recycle plus de 97 % de ses déchets de béton. En Chine, face à l'urbanisation massive, des politiques ambitieuses de recyclage des DCD ont été mises en place dans les grandes villes. En Afrique du Sud et au Maroc, des expériences pionnières de fabrication de matériaux de construction à base de DCD ont été documentées, ouvrant la voie à des applications adaptées aux pays en développement.

I.4.3 Collecte et transport des déchets

Les bonnes pratiques internationales en matière de collecte et transport des DCD incluent : la mise en place de bennes de tri sélectif sur chantier, le recours à des transporteurs agréés, la traçabilité des flux via des bordereaux de suivi, et l'utilisation de plateformes de regroupement et de valorisation. Ces mesures permettent d'optimiser les coûts logistiques tout en garantissant la qualité des matériaux recyclés.

I.5 Gestion des déchets de chantier en Algérie :

I.5.1 Cadre Réglementaire de la gestion des déchets de chantier en Algérie :

L'Algérie avait fixé des objectifs à l'horizon 2025 dans le domaine de l'aménagement du territoire dans lequel elle intégrait le concept du développement durable. Cette stratégie reposait sur la croissance économique, l'équité sociale et la protection de l'environnement. Elle visait l'amélioration de la qualité de vie et du bien-être de la population dans une logique de gestion durable des déchets. Les objectifs nationaux algériens consistaient en la réduction des quantités de déchets produites et l'atténuation de l'impact de leur élimination sur l'environnement. Le gouvernement algérien avait élaboré une stratégie nationale environnementale (SNE) destinée à poser les premiers jalons du développement durable.

Toutefois, à l'issue de l'échéance 2025 et en 2026, ces objectifs n'ont été que partiellement atteints, en raison de contraintes infrastructurelles, de faiblesses réglementaires et d'un manque de moyens de mise en œuvre.

L'Algérie a introduit la loi 01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, qui constitue le point de départ et la référence de cette nouvelle stratégie. Des dispositions pénales sont instaurées par cette loi, qui stipule que quiconque dépose, jette ou abandonne des déchets inertes sur tout site non désigné à cet effet, et notamment sur la voie publique, est puni d'une amende de dix mille (10 000) à cinquante mille (50 000) dinars. En cas de récidive, l'amende est portée au double[4] .

En matière d'installations de stockage de déchets, le décret du 03 novembre 1998 établit les différentes catégories des installations soumises à autorisation ou à déclaration, ainsi que les organismes compétents pour la délivrance de ces autorisations. Des règles d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement ont été instaurées en 2004, accompagnées des conditions d'admission des déchets au niveau de ces installations, parmi lesquelles figurent : les centres d'enfouissement techniques (CET), les centres de décharge, les installations d'incinération et les installations de valorisation.

CHAPITRE I : Déchets de chantier et valorisation dans la construction

Un plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable (PNAEDD) a été adopté en 2002, proposant une vision d'avenir et engageant le pays dans un développement écologiquement durable.

Afin de maîtriser sa politique environnementale, notamment celle relative aux déchets, l'Algérie a créé des institutions spécifiques :

Le Ministère de l'Environnement et de la Qualité de la Vie (MEQV), responsable de la stratégie de gestion des déchets solides, conçoit les programmes de formation et de sensibilisation et réalise les centres d'enfouissement techniques. Suite au remaniement gouvernemental du 15 septembre 2025, ce ministère a pris sa dénomination actuelle, en remplacement de l'ancienne appellation « Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables »[5].

L'Agence Nationale des Déchets (AND), créée par le décret exécutif n°02-175 du 20 mai 2002 et placée sous la tutelle du MEQV. Elle est chargée d'apporter une assistance aux collectivités locales dans la mise en œuvre de la politique nationale des déchets, de promouvoir les activités de tri, de collecte, de traitement, de valorisation et d'élimination des déchets, de réaliser des études et projets de démonstration, et de diffuser l'information scientifique et technique[6].

L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD), créé le 3 avril 2002, est compétent en matière de collecte, de traitement, de production et de diffusion de l'information environnementale.

Le Conservatoire National des Formations à l'Environnement (CNFE), créé en août 2002, assure deux missions principales : la formation des intervenants publics et privés dans le domaine de l'environnement, et l'éducation à l'environnement pour le grand public.

Les Inspections Régionales de l'Environnement, créées par le décret n°88-227 du 5 novembre 1988, ont pour mission de veiller au respect de la législation et de la réglementation en matière de protection de l'environnement, et de constater et rechercher les infractions[7].

Les Directions de l'Environnement de Wilaya (DEW), créées par le décret exécutif n°96-60 du 27 janvier 1996, ont succédé aux inspections de l'environnement de wilaya. Leurs activités s'articulent autour de trois axes : la coordination, le contrôle et l'information[8].

La Police de l'Urbanisme et de la Protection de l'Environnement (PUPE) et les Cellules de Protection de l'Environnement, créées respectivement par la Direction Générale de la Sécurité

CHAPITRE I : Déchets de chantier et valorisation dans la construction

Nationale (DGSN) et la Gendarmerie Nationale, ont pour mission de prévenir et de réduire les infractions à la législation relative à la protection de l'environnement[9].

I.5.2 Situation de la gestion des déchets de chantier en Algérie :

La production des déchets ne fait qu'augmenter en Algérie comme partout dans le monde. Les transformations socioéconomiques et démographiques qu'a connues le pays durant ces trente dernières années ont été accompagnées par des modifications notables au niveau des quantités et de la qualité des déchets produits.

L'enquête réalisée par des services du Ministère de l'Environnement en 2005, fait état de 2100 décharges sauvages sur le territoire national, dont 350 décharges sauvages au niveau de 40 grandes villes du pays et occupent une superficie totale de 22000 ha. 90 CET sont finalisés et lancés pour exploitation, et au niveau de la wilaya d'Alger, 4 CET sont en cours de lancement (Staouali, Hamici, Korso, et Reghaia).

À ce jour, la principale voie de traitement des déchets en Algérie est la mise en décharge. Cette technique est souvent utilisée dans les Pays en voie de développement, mais elle aboutit souvent à des décharges incontrôlées. La notion décharge contrôlée et des différents modes d'exploitation visant la protection de l'environnement apparaît pour la première fois en 1983 loi n° 83.03 du 05 février 1983, relative à la protection de l'environnement, elle précise la nocivité des déchets et demande à mettre fin à la mise en décharge brute des ordures.

En effet, la loi relative à la gestion des déchets, est une avancée qui amène des mesures positives, qui joueront un rôle dans la résorption des décharges sauvages et l'introduction de la pratique des décharges contrôlées appelée actuellement Centre de Stockage de Déchets (CSD), ou encore Centre d'Enfouissement Technique (CET), mais les textes d'application de cette dernière sont insuffisants.

I.5.3 Flux des déchets en Algérie :

I.5.3.1 Production des déchets :

Les déchets de construction sont principalement des déchets inertes, c'est-à-dire des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge. Ces déchets proviennent essentiellement des travaux de construction, de démolition et de rénovation, et ne sont généralement pas contaminés par des substances dangereuses

CHAPITRE I : Déchets de chantier et valorisation dans la construction

susceptibles de nuire à la santé humaine ou à l'environnement. La gestion de ce type de déchets relève principalement de la gestion communale.

En l'absence d'un service fiable de collecte des déchets inertes et du manque d'installations spécifiques telles que des centres d'enfouissement technique (CET) de classe I, il est actuellement difficile d'établir une estimation précise des quantités produites. Les principales sources de ces déchets sont les chantiers de bâtiment, les travaux publics ainsi que les activités de rénovation des habitations. Ils sont composés essentiellement de gravats, décombres, déblais et autres résidus de chantier, tels que le bois, l'acier ou encore le plâtre.

Face à cette situation, des dépotoirs sauvages sont apparus dans de nombreuses communes et parfois même au sein des quartiers et des villages. Une estimation réalisée par le Centre National d'Études et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) concernant les déchets inertes dans quatre wilayas de la région centre les évalue entre 300 000 et 500 000 tonnes par an, dont environ 12 % d'acier et 40 % de béton [10] .

Par ailleurs, à la suite du séisme de Boumerdes en 2003, plus de 2,5 millions de tonnes de déchets inertes ont été générées. Cependant, la valorisation de ces déchets reste limitée et repose principalement sur leur réutilisation dans les travaux de remblayage. Dans ce contexte, le Programme National de Gestion des Déchets Municipaux (PROGDEM) vise notamment à développer des centres d'enfouissement technique (CET) de classe II destinés à la gestion des déchets inertes.

I.5.3.2 Élimination des déchets :

Nous exposons les deux approches adoptées à l'élimination et au traitement des déchets (l'élimination et la valorisation). En général, l'élimination reste la solution appliquée à 97 % des déchets produits en Algérie. Les déchets destinés à l'élimination sont mis en décharges sauvages à (57%), brûlés à l'air libre dans des décharges publiques ou communales non contrôlées (30%), en décharge contrôlée et des CET (10%). Le nombre de décharges sauvages est passé de 2000 en 1980 à 3130 en 2007. Par contre, les quantités destinées à être valorisées sont trop faibles, dont seulement 2% par recyclage, et 1% par compostage, En 2023, la quantité de déchets ménagers et assimilés produite en Algérie est estimée à plus de 12 millions de tonnes[11].

Une autre source de 2023 indique que l'Algérie génère environ 36 millions de tonnes de déchets par an, dont seulement 10% sont recyclés des 36 millions de tonnes collectées sont recyclées. La ministre de l'Environnement a indiqué que seuls 7% des déchets inertes produits en Algérie sont recyclés [12].

I.5.4 Modes d'élimination des déchets inertes en Algérie :

Les déchets inertes issus des activités de construction et de démolition sont éliminés en Algérie par différents procédés. Les principaux modes d'élimination sont les décharges sauvages, l'enfouissement technique et, dans certains cas particuliers, l'incinération.

I.5.4.1 Dépotoirs et décharges sauvages

Dans de nombreux pays en voie de développement, la méthode la plus couramment utilisée pour l'élimination des déchets reste la mise en décharges ouvertes, qu'elles soient sauvages ou parfois contrôlées par les autorités locales. Ce type de décharge présente plusieurs risques environnementaux, notamment des déséquilibres écologiques importants, la contamination des sols et des eaux par les lixiviats, ainsi que la pollution de l'air due aux fumées dégagées.

En Algérie, l'élimination des déchets par décharges sauvages constitue encore le mode le plus répandu, avec un taux estimé à 87 %. Malgré l'existence d'une politique environnementale et d'une réglementation relative à la gestion des déchets, leur nombre continue d'augmenter. Selon une enquête menée par les services du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) [13], plus de 3 130 décharges sauvages ont été recensées dans les 69 wilayas, couvrant une superficie d'environ 4 552,5 hectares[14].

La majorité de ces décharges se situe généralement le long des routes, des cours d'eau ou sur des terres agricoles. De plus, la plupart d'entre elles sont aujourd'hui quasi saturées, ce qui limite leur capacité à recevoir de nouveaux déchets. Leur état actuel représente donc une menace importante pour l'environnement et la santé publique, notamment pour les populations vivant à proximité.

I.5.4.2 Enfouissement technique

L'enfouissement technique consiste à stocker les déchets dans des installations aménagées en sous-sol, appelées Centres d'Enfouissement Technique (CET). On distingue généralement trois types de CET : classe I, classe II et classe III, selon la nature des déchets traités.

Depuis 2001, le gouvernement algérien a adopté une politique visant à améliorer la gestion des déchets par la création de centres d'enfouissement technique sur l'ensemble du territoire national. Dans ce cadre, le Programme National de Gestion des Déchets Municipaux (PROGDEM) a été lancé afin de remplacer progressivement les décharges sauvages par des installations contrôlées[15] .

La mise en place d'un CET nécessite la sélection de sites appropriés, la réalisation d'études d'impact environnemental ainsi que l'aménagement d'infrastructures adaptées. En moyenne, la construction d'un CET nécessite une superficie d'environ 40 hectares, comprenant des zones clôturées et des pistes internes pour la circulation des véhicules. La durée de vie d'un CET est généralement comprise entre 7 et 15 ans, avec une capacité moyenne d'environ 100 000 tonnes de déchets par an. Ces installations doivent également être équipées de systèmes de collecte et de traitement des lixiviats ainsi que de récupération du biogaz.

I.5.4.3 Incinération :

L'incinération est une technique de traitement des déchets qui consiste à brûler les déchets à haute température afin de réduire leur volume et leur toxicité. Selon la stratégie européenne de gestion des déchets, cette méthode est généralement utilisée après les opérations de valorisation et avant la mise en décharge.

En Algérie, l'incinération est principalement utilisée pour le traitement des déchets hospitaliers au sein des établissements de santé. En revanche, ce mode de traitement n'est pas appliqué aux déchets de construction, même si, dans certains cas, il pourrait constituer une alternative plus contrôlée que l'enfouissement.

I.5.4.4 Valorisation, recyclage :

La valorisation des déchets de construction est un procédé qui est en plein essor consiste à transformer la matière originelle du déchet pour produire un nouveau matériau, à pour avantage d'éviter le gaspillage pur et simple de l'objet d'origine. C'est en ce sens qu'en par le procédé de valorisation des déchets. À cet effet, le gouvernement algérien a comme objectif pour 2025 d'augmenter le taux de recyclage global et par matière, et d'éradiquer les décharges sauvages.

I.6 Impacts environnementaux des déchets de chantier :

I.6.1 Pollution des sols

Les terres de chantier peuvent contenir des substances telles que des métaux lourds, des hydrocarbures, des solvants et d'autres produits chimiques provenant des activités de construction, de démolition ou de stockage antérieur. Lorsqu'elles sont déposées sans contrôle ou utilisées comme remblai, ces substances peuvent contaminer les sols adjacents, réduisant leur qualité et leur fertilité.

I.6.2 Saturation des décharges :

Le secteur de la construction contribue fortement à l'encombrement des décharges. Entre les matériaux de construction restants, les emballages et les débris de démolition, la quantité de déchets générés est immense. Il ne s'agit pas seulement d'un problème esthétique ; cela épuise l'espace précieux des décharges et représente une perte considérable de ressources potentiellement réutilisables. L'accumulation de bois, de béton et de métaux non valorisés contribue à la saturation rapide des centres d'enfouissement, représentant une perte significative de ressources matérielles.

I.6.3 Destruction des habitats naturels :

Le dépôt non contrôlé des déblais dans des zones naturelles peut détruire la végétation existante et perturber les habitats de la faune et de la flore, entraînant une perte de biodiversité et une modification des écosystèmes locaux.

I.6.4 Pollution de l'air :

Le transport, le stockage et la manipulation des déblais peuvent générer des poussières et des particules fines. Ces particules affectent la qualité de l'air et peuvent provoquer des problèmes respiratoires chez les travailleurs et les populations proches du chantier.

I.6.5 Pollution des eaux souterraines :

Les contaminants présents dans les terres de chantier peuvent également infiltrer les eaux souterraines, mettant en danger la qualité de l'eau potable et des écosystèmes aquatiques. Les substances toxiques peuvent migrer à travers le sol et atteindre les nappes phréatiques, entraînant une pollution à long terme et des risques pour la santé humaine et environnementale.

I.6.6 Érosion et sédimentation :

Lorsque les terres de chantier ne sont pas correctement stockées ou stabilisées, elles peuvent être emportées par les eaux de ruissellement et entraîner une érosion des sols, ainsi qu'une sédimentation des cours d'eau et des habitats aquatiques. Cela peut perturber les écosystèmes naturels et augmenter les risques d'inondations et de détérioration de la qualité de l'eau[16].

I.6.7 Emissions de CO2 :

Les déchets sont responsables d'émissions directes et indirectes de CO2. Les émissions directes sont causées par l'exploitation des matières premières, le processus de fabrication, le transport et le gaspillage. Consentir des efforts minimales pour réduire les montagnes de déchets ou les recycler contribue à réduire les émissions de CO2 bien plus que vous ne le pensez! Le déversement des déchets est toujours plus néfaste et produit par tonne, en fonction du type de matériau, entre 30 et 95 kg d'émissions de CO2 de plus que le recyclage. (Bruxelles Environnement, 2009)[17].

L'ensemble de ces impacts met en évidence les limites du modèle linéaire traditionnel fondé sur l'extraction des ressources, leur utilisation puis leur élimination en fin de vie. Face à l'augmentation des quantités de déchets de chantier et à la raréfaction progressive des ressources naturelles, il devient nécessaire d'adopter une approche plus durable. Dans cette perspective, l'économie circulaire apparaît comme une solution pertinente permettant de considérer les déchets non plus comme des rebuts, mais comme des ressources pouvant être réintroduites dans un nouveau cycle de production.

I.7 L'économie circulaire appliquée aux déchets de chantier :

L'économie circulaire est un modèle de production et de consommation qui vise à optimiser l'utilisation des ressources naturelles tout en limitant la production de déchets. Contrairement au modèle économique linéaire basé sur le schéma « extraire – produire – consommer – jeter », l'économie circulaire cherche à maintenir les matériaux, les produits et les ressources dans le cycle économique le plus longtemps possible.

Dans le secteur du bâtiment et des travaux publics, cette approche représente un enjeu majeur en raison des quantités considérables de déchets générées chaque année par les activités de construction, de rénovation et de démolition. Les déchets de chantier, notamment les déblais, le béton, les briques et les granulats, possèdent un potentiel important de réutilisation et de recyclage. Leur valorisation permet non seulement de réduire les volumes destinés aux décharges mais également de diminuer l'exploitation des carrières et la consommation de matières premières naturelles.

Les déblais de chantier occupent une place particulière dans cette démarche. Longtemps considérés comme de simples déchets destinés à l'enfouissement, ils sont aujourd'hui reconnus comme une ressource secondaire pouvant être transformée en nouveaux matériaux de

CHAPITRE I : Déchets de chantier et valorisation dans la construction

construction. Après des opérations de tri, de concassage et de préparation adaptées, ils peuvent être incorporés dans la fabrication de pavés, de briques, de blocs de maçonnerie ou encore d'éléments d'aménagement urbain.

La valorisation des déblais présente plusieurs avantages environnementaux. Elle contribue à réduire la quantité de déchets stockés dans les centres d'enfouissement, limite les nuisances liées aux dépôts sauvages et diminue l'extraction des granulats naturels. Elle permet également de réduire les émissions de gaz à effet de serre associées au transport des déchets et à l'exploitation des ressources vierges.

Sur le plan économique, la valorisation des déblais favorise l'émergence de nouvelles filières de recyclage et de nouvelles opportunités d'investissement. Elle contribue à la création d'emplois locaux tout en réduisant les coûts liés à l'évacuation et à la mise en décharge des déchets de chantier.

Dans le cadre de cette étude, la fabrication de pavés écologiques à partir de déblais de chantier s'inscrit pleinement dans les principes de l'économie circulaire. Cette démarche permet de transformer un déchet inerte en un matériau utile, tout en participant à la préservation des ressources naturelles et à l'amélioration des performances environnementales du secteur de la construction.

I.8 Possibilités de valorisation des déblais en d'autres produits :

Au-delà des pavés écologiques, les déblais stabilisés au ciment peuvent être utilisés pour fabriquer une large gamme de produits de construction légers et décoratifs, ouvrant ainsi des perspectives de diversification du modèle économique :

- Pots de fleurs et jardinières urbaines.



Figure1.13:pots de fleurs:



Figure1.14:pot de fleurs

- Dalles de sol pour terrasses et jardins.



Figure1.15:dalles de sol pour jardin



Figure1.16:dalles de sol pour jardin

- Bordures de trottoir et éléments de séparation.



Figure1.17:bordures de séparation.

- Éléments décoratifs (murets, claustra, fontaines).



Figure1.18:une fontaine



Figure1.19:éléments de décoration

- Blocs de maçonnerie pour murs non porteurs.



Figure1.20:blocs de maçonnerie

- Mobilier urbain léger (bancs, tables, supports).



Figure1.21:mobilier urbain

Cette diversification constitue un avantage concurrentiel majeur pour une unité de production en phase d'amorçage, permettant de s'adapter à la demande du marché local et d'optimiser l'utilisation des déblais collectés.

I.9 Conclusion

Au terme de ce chapitre, il apparaît que les déchets de chantier représentent un enjeu environnemental majeur en raison des quantités importantes générées par les activités de construction, de démolition et de terrassement. Leur diversité, comprenant notamment les déblais, le béton, les briques et les métaux, implique une gestion spécifique adaptée à leur nature et à leur niveau de dangerosité.

L'étude de la composition et des caractéristiques des déblais a permis de mettre en évidence leur nature principalement minérale ainsi que leurs propriétés physico-chimiques et géotechniques, qui conditionnent leur potentiel de réutilisation. Bien que généralement considérés comme inertes, leur valorisation reste dépendante de leur qualité et de l'absence de contaminants.

Par ailleurs, l'analyse de la gestion des déchets de chantier en Algérie a révélé l'existence d'un cadre réglementaire et institutionnel structuré, mais encore insuffisamment appliqué sur le terrain. En effet, la prédominance des décharges sauvages et le faible taux de valorisation témoignent des limites actuelles du système de gestion. Cette situation engendre des impacts environnementaux significatifs, tels que la pollution des sols, de l'air et des eaux, la saturation des décharges ainsi que l'augmentation des émissions de CO₂.

Face à ces constats, la valorisation des déchets de chantier apparaît comme une solution durable et nécessaire. Elle permet de réduire les impacts environnementaux tout en favorisant une gestion plus rationnelle des ressources, en s'inscrivant dans une logique d'économie circulaire.

Dans cette perspective, le chapitre suivant sera consacré à la présentation de la méthodologie adoptée pour la valorisation des déblais à travers la fabrication de pavés écologiques, en détaillant les étapes de collecte, de préparation, de formulation et de mise en œuvre expérimentale.

CHAPITRE II :
**Méthodologie et fabrication des Pavés
écologiques**

II.1 Introduction

Dans un contexte marqué par l'augmentation continue des déchets issus du secteur du bâtiment et des travaux publics, la valorisation de ces matériaux constitue une opportunité majeure pour réduire l'impact environnemental tout en répondant aux besoins croissants en matériaux de construction. Après avoir analysé, dans le chapitre précédent, la nature et les enjeux liés aux déchets de chantier, ce chapitre s'intéresse à leur transformation en un produit à valeur ajoutée : le pavé écologique.

L'objectif principal de ce chapitre est de présenter la démarche méthodologique adoptée pour la conception et la fabrication d'un pavé à base de déblais de chantier. Cette approche repose sur une étude de terrain permettant d'identifier les types de déchets disponibles et d'estimer leur potentiel de valorisation. Elle inclut également les étapes de tri, de préparation et de traitement des matériaux afin de garantir leur adéquation avec les exigences techniques de fabrication.

Par ailleurs, ce chapitre détaille le choix des matériaux utilisés, notamment les déblais comme matière première principale, ainsi que le liant nécessaire à la formulation du mélange. Une attention particulière est accordée à la détermination des proportions optimales, en tenant compte des propriétés physiques et mécaniques recherchées.

Enfin, les différentes étapes du processus de fabrication des pavés sont décrites, depuis le moulage jusqu'au séchage, en passant par les conditions de cure et les caractéristiques dimensionnelles des échantillons réalisés. Cette méthodologie constitue la base expérimentale

II.2 Étude de terrain et stratégie d'approvisionnement

II.2.1 Méthodologie de l'étude de terrain

L'étude de terrain repose sur une démarche de visite et d'enquête réalisée sur plusieurs chantiers de construction situés dans la wilaya d'Oran. Ces visites ont permis de rapprocher de la réalité du terrain et de comprendre concrètement la manière dont les déchets de chantier sont générés et gérés au quotidien. Lors de ces visites, les différentes activités de construction ainsi que les zones de stockage des déchets ont été observées. Des échanges ont également été réalisés avec les responsables présents sur les chantiers, notamment les chefs de chantier.

II.2.2 Résultats de l'étude de terrain

Les observations réalisées montrent que les déchets sont stockés de manière temporaire sur site avant leur évacuation, avec un tri peu structuré à la source. L'ensemble des déblais sont

acheminés vers la décharge sans valorisation préalable, représentant une perte économique significative et un impact environnemental évitable.

Chantier	Localisation (Oran)	Type	Durée	Ce qu'ils construisent	Type de déblais	Volum e estimé	Gestion actuelle	Destination
01	Bir El Djir	Const ruction neuve	24 mois	Immeuble résidentiel	Terre, sable, gravats, béton, bois, briques	< 10 m³/sem aine	Partielle ment triés	Décharge communale
02	Oran centre	Réhabilitation	36 mois	Rénovation de bâtiments anciens	Terre, sable, gravats, béton, bois, verre, métaux, briques, plastique, plâtre	10–50 m³/sem aine	Partielle ment triés	Décharge communale
03	Es Sénia	Démolition/rec	24 mois	Démolition + construc	Terre, sable, gravats	~40 m³/sem aine	Partielle ment triés	Décharge communale

		onstr uctio n		tion commer cial	s, béton, bois, verre, briqu es, plasti que, métau x, plâtre			
--	--	---------------------	--	------------------------	--	--	--	--

Table 2.1:une synthèse comparative des trois chantiers visités dans la wilaya d'Oran

Ce tableau met en évidence plusieurs constats importants : l'ensemble des déblais observés sont inertes ou assimilés inertes, présentant un fort potentiel de valorisation ; aucun des trois chantiers ne pratique une valorisation des déblais ; les volumes générés sont suffisants pour alimenter régulièrement une unité de production de pavés écologiques à l'échelle d'une startup.

II.2.3 Valeur ajoutée pour les chantiers partenaires

Cette démarche apporte une valeur ajoutée concrète aux chantiers partenaires qui acceptent de nous fournir leurs déblais :

- Réduction ou suppression des frais d'évacuation vers la décharge (économie directe de 500 à 2 000 DA/m³ selon les distances).
- Démarche RSE valorisante auprès des maîtres d'ouvrage et clients.
- Conformité facilitée avec les exigences réglementaires en matière de gestion des déchets.
- Contribution à la réduction de l'empreinte carbone du secteur du BTP local.
- Partenariat potentiel pour l'achat des pavés produits (économie circulaire de proximité).

II.3 Matériels utilisés :

Matériels	Image	Utilisation
Gants		sont utilisés protéger les mains et les poignets contre des risques professionnels spécifiques.
Masque anti-poussière		Utilisé pour la protection respiratoire (EPR) conçu pour filtrer les particules solides, aérosols, fumées et brouillards nocifs présents dans l'air.
Moule		Outil façonné en hêtre ou tilleul présentant une empreinte creuse pour façonner des matières pâteuses.
Tamis de granulométrie		Il est destiné à séparer les particules d'un matériau (granulats, poudre) en différentes classes de taille.
Malaxeur		Il mélange différents matériaux comme les granulats les poudres afin d'obtenir un mélange homogène prêt à l'emploi.
Marteau		Un outil de percussion manuel composé d'un manche et d'une tête principalement en métal, destiné à frapper pour enfoncer des clous, déformer, casser ou assembler des matériaux.

3 Seaux de 10 ml		utilisé pour transporter ou stocker des liquides, des matériaux en vrac (sable, gravât) ou des aliments .
lunettes		Sont des dispositifs conçus pour protéger les yeux d'éventuels impacts, particules en suspension, produits chimiques et rayonnements.
Balance		Utilisée pour déterminer la masse de chaque composant avec précision
Film plastique alimentaire		Emballage hermétique des éprouvettes pendant la cure J1–J7

Table 3:matériels utilisés.

II.4 Matériaux utilisés

II.4.1 Granulats recyclés

Les déblais proviennent de chantiers de construction actifs de la wilaya d'Oran. Leur composition est hétérogène et représentative du tout-venant algérien : béton concassé (env. 50%), briques cassées (25%), mortier durci (15%), parpaings fragmentés (10%). Avant utilisation, ces matériaux subissent un traitement en trois phases :

- Concassage manuel à la masse sur dalle béton imperméable
- Tamisage de 4 mm à 10 mm pour homogénéiser la granulométrie

- Tri visuel : élimination du bois, plastiques, métaux et excès de plâtre



Figure2. 22:granulats de céramique et béton recyclés

II.4.2 Le ciment :

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment MATINE de Lafarge Algérie, de type CEM I 42,5 SR (Portland à haute résistance aux sulfates). La désignation SR (Sulfate Résistant), définie par la norme NF EN 197-1, correspond exactement au besoin identifié : les déblais hétérogènes contenant du plâtre et des mortiers anciens renferment des sulfates résiduels (SO_4^{2-}) qui peuvent provoquer la formation d'étringite expansive sans ciment adapté[18] .

Le DTR C 2.41 (Document Technique Réglementaire algérien sur les bétons) [19]recommande explicitement l'usage de liants composés résistants aux sulfates pour les bétons exposés aux milieux sulfatés, ce qui inclut les bétons à granulats hétérogènes recyclés.



Figure2.23:le ciment

II.4.3 L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour la fabrication des pavés est de l'eau de gâchage, conformément aux pratiques industrielles. L'utilisation d'eau non potable (eau de réseau industriel ou eau récupérée) est techniquement justifiée dès lors qu'elle ne contient pas de chlorures, sulfates ou matières organiques en excès susceptibles d'altérer les performances du ciment. Cela contribue également à réduire les coûts de fabrication. Le rapport eau/ciment effectif retenu est $E/C = 0,45$, conformément à la loi d'Abrams (1919) et aux recommandations de Neville (2011) pour les bétons à granulats recyclés[20].

II.4.4 L'adjuvant :

L'adjuvant utilisé est un hydrofuge en poudre de type Super Sikalite, dosé à un rapport adjuvant/ciment de 0,008 (soit 0,8 % de la masse de ciment). Ce dosage est conforme aux recommandations de la norme NF EN 934-2 (adjuvants pour béton) qui fixe la plage optimale entre 0,4 % et 0,8 % pour les bétons de résistance standard. L'adjuvant améliore la fluidité et la maniabilité du mélange sans nécessiter d'eau supplémentaire.



Figure2.24:Adjuvant

II.5 ANALYSE DES RISQUES — HYGIÈNE, SÉCURITÉ, ENVIRONNEMENT (HSE) :

Avant toute manipulation en atelier, chaque étudiant doit prendre connaissance des risques spécifiques à cette activité et porter les équipements de protection individuelle (EPI) appropriés. Le responsable de séance est garant de l'application de ces mesures.

Source de danger	Risque identifié	Niveau	Mesure de prévention
Concassage à la masse	Projection d'éclats, coupures	ÉLEVÉ	Lunettes de protection + gants résistants aux coupures
Poussières de béton	Inhalation — silicose, irritation respiratoire	ÉLEVÉ	Masque FFP2 ou masque anti-poussières — travail en espace ventilé
Manipulation du ciment	Irritation cutanée et oculaire (alcalin pH 12–13)	MOYEN	Gants nitrile + rinçage immédiat si contact peau ou yeux
Manutention des seaux et déblais	Troubles musculosquelettiques, chute d'objet lourd	MOYEN	Chaussures de sécurité — posture correcte — travailler à deux pour charges >15 kg
Sol humide ou poussières au sol	Glissade, chute de plain-pied	FAIBLE	Nettoyage régulier du poste de travail — signalisation sol mouillé
Adjuvant chimique (Sika)	Irritation cutanée	FAIBLE	Gants nitrile lors du dosage — refermer le bidon après usage

Table 4:Analyse des risques.

II.5.1 Équipements de Protection Individuelle (EPI) obligatoires

- Lunettes de protection contre les projections — obligatoires lors du concassage
- Masque FFP2 ou masque anti-poussières — obligatoire lors du concassage et du mélange
- Gants de protection (nitrile ou résistants aux coupures) — obligatoires en permanence
- Chaussures de sécurité ou chaussures fermées robustes — interdiction des sandales
- Blouse ou vêtement de travail — protection des vêtements personnels
- Station de lavage à l'eau disponible dans l'atelier

II.6 Préparation des matériaux recyclés :

II.6.1 justification du choix des pavés écologiques :

Le pavé écologique à base de granulats recyclés est un matériau de construction qui découle simplement de la valorisation des déchets de construction et de démolition (DCD), en remplaçant les granulats naturels (sable, gravier) par des matériaux recyclés. Sa composition repose

principalement sur des granulats de béton recyclé (DBR), issus du concassage d'anciens ouvrages en béton, et des granulats de céramique recyclée (DCR), provenant de déchets de briques, tuiles ou sanitaires. L'association de ces deux types de granulats permet de régler facilement les propriétés du pavé en fonction de l'usage souhaité, sans nécessiter de procédés complexes.

Sur le plan technique, ces pavés présentent des caractéristiques qui restent adaptées à des applications simples, telles que les zones piétonnières, même si leur résistance mécanique est généralement inférieure à celle des pavés conventionnels. Les résistances à la compression mesurées dépassent souvent 10 MPA, ce qui reste acceptable pour des ouvrages de faible trafic. De plus, la forte porosité des granulats recyclés confère aux pavés une bonne perméabilité à l'eau, pouvant atteindre plus de 14 mm/s, ce qui les rend particulièrement adaptés à la gestion des eaux pluviales et à la réduction du ruissellement urbain.

Le choix du pavé écologique s'explique également par sa facilité de fabrication et son faible niveau d'exigence en moyens. Les opérations nécessaires (tri, concassage, tamisage, pré-saturation, mélange ciment-granulats, moulage et cure à l'air) peuvent être réalisées avec du matériel courant de chantier ou de laboratoire, sans nécessiter d'équipements performants ni de procédés sophistiqués. Le pavé ne demande donc pas de grands efforts techniques ni d'investissements importants, ce qui le rend simple à mettre en œuvre, reproductible et adapté à des conditions de réalisation modestes.

II.6 PROGRAMME EXPÉRIMENTAL -FORMULATIONS :

Ce programme expérimental teste trois formulations complémentaires. La Série 1 appelée Formulation (C) a été élaborée sur la base d'une analyse des travaux antérieurs portant sur les granulats recyclés (FRA - fine recycled aggregate, et CRA - coarse recycled aggregate), un mix bi-composant à proportions égales (35% céramique recyclée / 65% béton recyclé / 7% ciment) a été retenu comme point de départ, sans reproduire directement un protocole publié. Les Séries 2 (70%) et 3 (75%) étudient quant à elles l'effet d'une augmentation progressive de la teneur globale en déblais, le liant restant constant pour isoler ce seul effet. Chaque série comprend trois éprouvettes pour permettre un calcul statistique des résultats.

Constituant	Série 1 Formulation C (0/50/7)	Série 2 (70%)	Série 3 (75%)
Déblais tamisés (0–10 mm)	6 L CRA (céramique + béton recyclé)	8.4 litres	9 litres
Ciment MATINE 42.5	4,5 litres	4,5 litres	4,5 litres
Gravats	6 litres	3.6 litres	3 litres
Sable fin 0–2 mm	2,5 litres	1,5 litres	1 litre
Adjuvant Sika	35 ml	45 ml	55 ml
Eau de gâchage	0,75 litre	1 litre	1,2 litre
Rapport E/Liant	0.40	0.43	0.45

Table 5: Proportions des mélanges

Justification scientifique des formulations

- Série 1 Formulation C 50% CRA et 50% gravats (35% céramique / 65% béton recyclé / 7% ciment) : formulation élaborée après analyse des expériences antérieures sur granulats recyclés,
- Série 2 (70%) : formulation de référence, équilibre entre recyclage et performance, base de comparaison
- Série 3 (75%) : teneur maximale en déblais, brique plus légère, résistance réduite mais économie maximale de liant
- Le liant (ciment) reste constant dans les 3 séries pour isoler le seul effet de la teneur en déblais

Remarque :

La Formulation C (Série 1) constitue une contribution expérimentale originale : elle distingue deux types de granulats recyclés (à parts égales céramique et béton recyclé), avec un dosage en ciment réduit, en s'appuyant sur l'analyse des comportements différenciés des FRA et des CRA. Les Séries 2 et 3 explorent des mélanges tout-venant à 70% et 75% : le liant reste constant à 4,5 L de ciment dans ces deux séries, afin d'isoler le seul effet de la teneur en déblais.

Série	Eau(L)	Liant(L)	Rapport (E/L)
S1_formulation C	0.75 L	7.5 L	=0.10 VOLUMIQUE =0.40 MASSIQUE
S2_70%	1.00 L	7.5 L	=0.13 VOLUMIQUE =0.43 MASSIQUE
S3_75%	1.20 L	7.5 L	=0.16 VOLUMIQUE =0.45 MASSIQUE

Table 6:formulation des trois mélanges

Ce que ça signifie concrètement :

E/L faible (0,40 → Série 1, Formulation C)

- Moins d'eau → la pâte de ciment est plus dense, moins poreuse
- Les cristaux de C-S-H (produits d'hydratation) remplissent mieux les vides
- Résistance plus élevée, absorption d'eau plus faible

E/L élevé (0,45 → Série 3)

- Plus d'eau → nécessaire pour humidifier plus de déblais (75%)
- L'eau en excès s'évapore après durcissement et laisse des pores vides
- Résistance réduite, absorption d'eau plus élevée

La règle fondamentale (loi de Féret / Abrams)

Plus le E/L augmente → plus la résistance diminue

C'est une loi quasi-universelle en technologie du béton. C'est pourquoi l'adjuvant Sika est essentiel : il permet de garder le mélange fluide et moulable sans augmenter davantage l'eau, limitant le E/L à 0,45 même pour la Série 3.

II.7 Schéma du Processus de Fabrication:

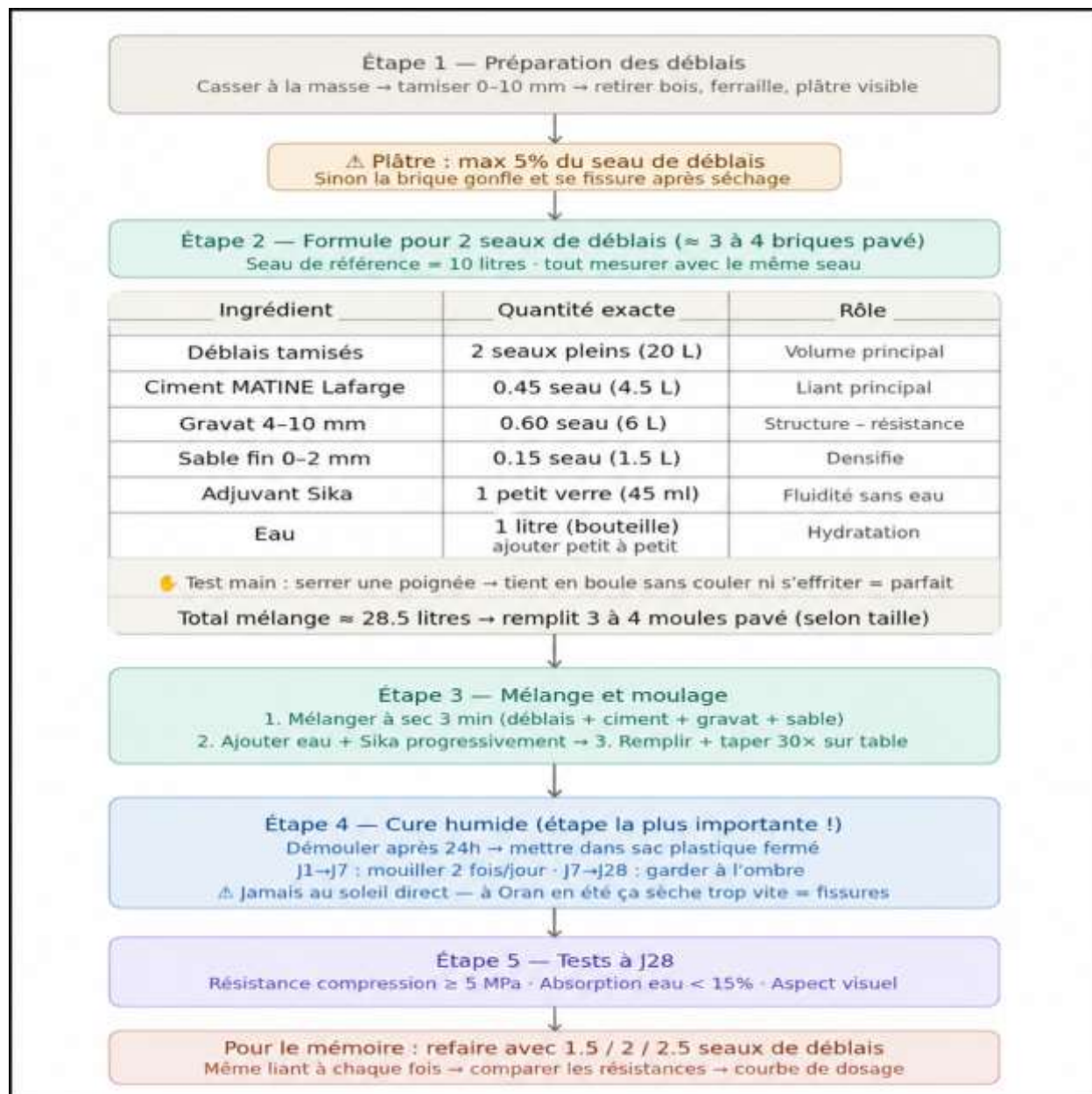


Figure 2.25: Schéma synthétique du procédé de fabrication de pavés à base de déblais recyclés

II.7.1 Protocole de fabrication détaillé

Le protocole se déroule en treize étapes séquentielles. Le respect de l'ordre et des temps est impératif pour garantir la reproductibilité des résultats. Chaque étape est détaillée ci-après avec ses objectifs, son matériel, sa procédure et ses points de vigilance.

Étape 1 — Collecte des Déblais de Chantier

Objectif : Constituer un stock représentatif et homogène de déblais locaux.

- Prélever les déblais sur des chantiers de démolition ou de construction actifs de la wilaya d'Oran
- Prélever au minimum deux emplacements différents du chantier pour représentativité
- Identifier et noter la nature approximative des déblais prélevés (béton, maçonnerie, mixte)

Étape 2 — Tri et Préparation

Objectif : Éliminer les impuretés susceptibles de nuire aux propriétés des pavés.

- Étaler les déblais sur une surface propre et plane
- Retirer manuellement : bois, plastiques, métaux, fils métalliques, carton
- Retirer visuellement l'excès de plâtre (fragments blancs, légers, se réduisant en poudre)
- Contrôle : la teneur en plâtre ne doit pas dépasser 5% du volume — estimation visuelle



Figure2.26:Le tri des déblais

Étape 3 — Concassage Manuel

Objectif : Réduire la granulométrie des déblais grossiers en deçà de 15 mm.

- Placer les déblais grossiers sur une dalle béton imperméable et stable
- Porter lunettes et gants obligatoirement — risque de projection d'éclats
- Frapper avec la masse en coups réguliers, verticaux, éviter les rebonds latéraux
- Procéder par petits lots pour un concassage efficace et contrôlé



Figure2.27: Le concassage du céramique



Figure2.28: Le concassage du béton

Étape 4 — Tamisage

Objectif : Obtenir une granulométrie homogène 4–10 mm.

- Verser les déblais concassés sur le tamis à maille 4 mm
- Tamiser par petits lots — agiter manuellement le tamis en mouvements circulaires
- Le refus de tamis (>10 mm) est soit reconcassé, soit mis de côté
- Récupérer le tamisât dans un seau propre et étiqueté



Figure2.29: Le tamisage du céramique

Étape 5—Humidification des déblais

Il a été constaté que les granulats recyclés présentent une capacité d'absorption d'eau plus élevée que les granulats naturels, en raison de la présence de matériaux poreux tels que les résidus de mortier et de céramique. Afin de remédier à cette caractéristique, une étape de **pré-saturation** des granulats a été adoptée. Cette opération consiste à humidifier les granulats pendant une courte durée, estimée à environ **3 minutes**, afin d'atteindre une saturation partielle des pores superficiels.



Figure 2.30: Humidification des déblais

Étape 6—Mélange à sec

Les différents constituants ont ensuite été mélangés à sec jusqu'à la répartition homogène des constituants.



Figure 31: le sable



Figure 32: le gravat



Figure2.33:mélange du sable, gravats et céramiques

Étape 7— Dosage des Constituants

Objectif : Respecter précisément les proportions définies pour chaque série.

- Doser tous les matériaux solides (déblais, ciment, sable) au seau gradué de 10 litres
- Raser le seau avec la truelle pour un dosage précis — ne pas tasser le ciment
- Doser l'adjuvant Sika au verre gradué (précision ± 5 ml)
- Doser l'eau à la bouteille plastique graduée (précision ± 20 ml)
- Diluer l'adjuvant dans l'eau AVANT de les incorporer au mélange

Étape 8 — Mélange

Objectif : Obtenir un mélange homogène et un rapport eau/liant contrôlé.

1. Verser dans le seau : déblais tamisés, puis ciment, puis sable, gravats
2. Mélanger à sec pendant 3 minutes à la truelle jusqu'à couleur uniforme
3. Former un cratère au centre du mélange sec
4. Verser progressivement l'eau + adjuvant dans le cratère — environ 1/3 à la fois
5. Malaxer des bords vers le centre jusqu'à homogénéité complète (~5 minutes)

Test de consistance — la boule

- Prélever une poignée de mélange et la comprimer dans la main en forme de boule
- Résultat correct : la boule tient sa forme sans couler ni s'effriter
- Trop humide (coule) : ajouter un peu de ciment ou de sable sec — noter la quantité ajoutée

- Trop sec (s'effrite) : ajouter quelques millilitres d'eau — noter la quantité ajoutée



Figure 2.34: malaxage du mélange

Étape 9 — Moulage

Objectif : Remplir les moules de façon homogène pour des éprouvettes régulières.

- Vérifier que les moules sont propres et secs
- Verser le mélange dans le moule en une seule couche — éviter les séquences de remplissage partiel
- Remplir légèrement en excès par rapport au bord supérieur



Figure 2.35: Mise en moule du mélange pour la fabrication des pavés écologiques

Étape 10 — Compactage

Objectif : Éliminer les vides d'air et obtenir une masse volumique uniforme.

- Soulever et reposer le moule plein sur la table de travail 30 fois de manière régulière
- Cette opération simule une table vibrante artisanale
- Égaliser et lisser la surface avec la truelle ou le plat d'un couteau
- Marquer immédiatement chaque éprouvette : Série 1, Série 2, Série 3.

Étape 11— Démoulage

Objectif : Extraire les éprouvettes sans les endommager.

- Attendre impérativement 24 heures après le moulage avant de démouler
- Retourner délicatement le moule silicone — sa flexibilité facilite le démoulage
- Si une éprouvette se fracture au démoulage : noter l'incident dans la fiche de suivi et la remplacer
- Peser immédiatement chaque éprouvette à la balance et noter la masse initiale

Étape 12 — Cure (Conservation)

Objectif : Maintenir des conditions d'hydratation optimales du liant pendant 28 jours.

- J0–J1 : éprouvettes dans les moules — à l'abri du vent et du soleil direct
- J1–J7 : envelopper hermétiquement dans un film plastique — humecter 2 fois par jour (matin et soir)
- J7–J28 : conserver à l'ombre dans un local tempéré — protéger du gel et du vent

Étape 13 — Stockage à 28 Jours

Stocker les éprouvettes sur une surface plane, à l'abri de chocs mécaniques. Étiqueter clairement chaque lot. Les éprouvettes sont prêtes pour les tests de caractérisation 28 jours après la date de moulage.



Figure2.36:pavé écologique fabriqué (série1)

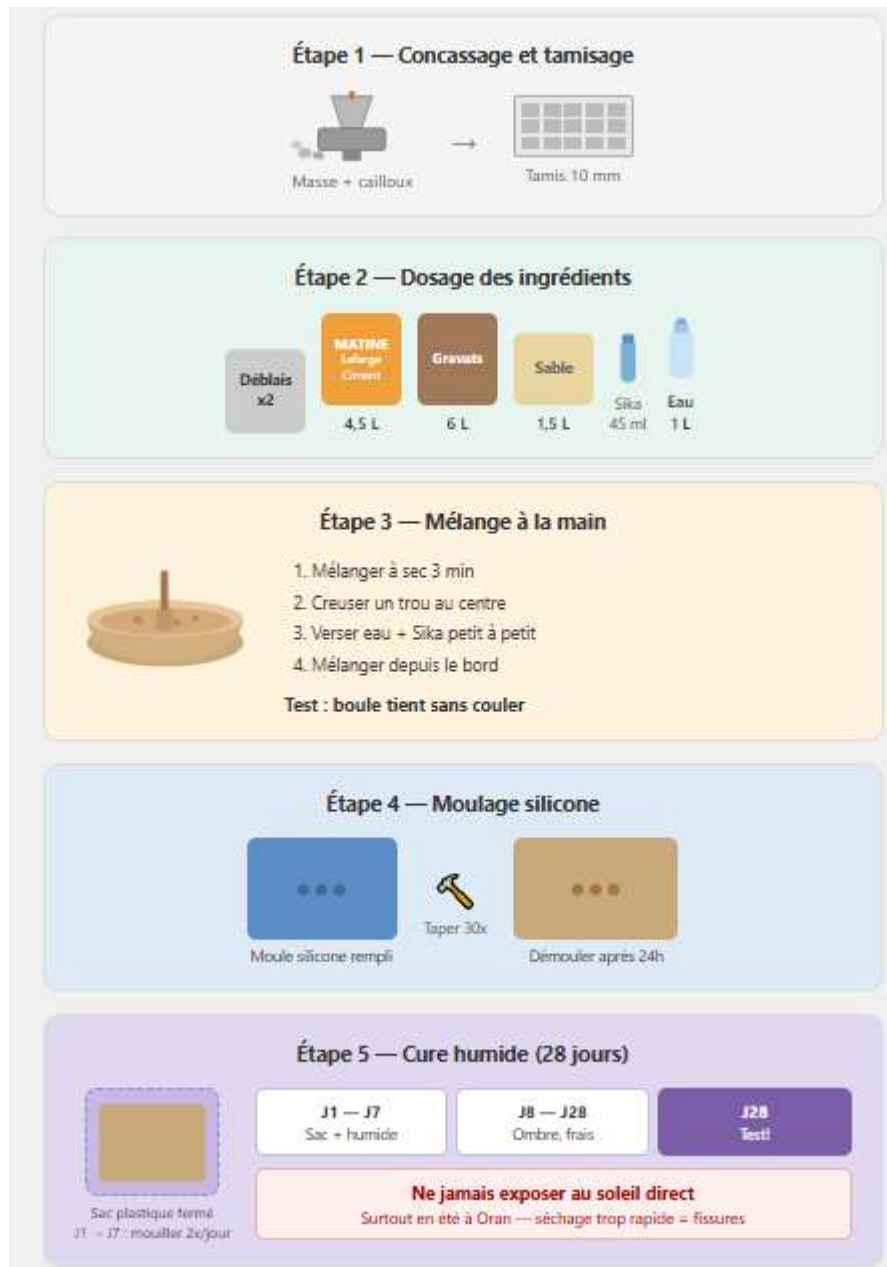


Figure 37:shéma synthétique du procédé de fabrication des pavés écologiques à base de déblais recyclés

Au-delà de la fabrication de pavés écologiques, le mélange développé dans cette étude présente un potentiel important de diversification. En fonction de la géométrie des moules utilisés, les mêmes matières premières peuvent être valorisées pour la fabrication de bordures de trottoirs, de pots de fleurs, de mobilier urbain, d'éléments décoratifs ou d'autres produits préfabriqués destinés à l'aménagement extérieur. Cette polyvalence constitue un avantage technique et économique majeur dans la perspective d'une future valorisation industrielle du procédé.

II.8 Polyvalence du mélange développé et perspectives de diversification

Bien que la présente étude soit principalement consacrée à la fabrication de pavés écologiques à partir de déblais de chantier recyclés, le mélange développé présente une grande polyvalence. En effet, la formulation retenue peut être utilisée pour la réalisation de plusieurs types de produits sans modification majeure des matières premières employées. La principale adaptation concerne le choix du moule utilisé lors du processus de fabrication.

Ainsi, à partir des mêmes constituants (granulats recyclés issus des déblais, ciment, eau et adjuvant), il est possible de produire une gamme variée d'éléments destinés au secteur de la construction et de l'aménagement urbain, notamment :

- Des pavés pour les espaces piétons et les voiries légères ;
- Des dalles pour terrasses, jardins et espaces publics ;
- Des bordures de trottoirs et éléments de séparation ;
- Des pots de fleurs et jardinières ;
- Des blocs de maçonnerie non porteurs ;
- Des éléments décoratifs pour l'aménagement extérieur ;
- Du mobilier urbain léger tel que des bancs, des tables ou des supports.

Cette diversité d'applications démontre que les déblais de chantier peuvent être considérés comme une véritable ressource secondaire et non comme un simple déchet destiné à l'enfouissement. La possibilité de fabriquer plusieurs produits à partir d'une même formulation permet également d'optimiser l'utilisation des matériaux recyclés tout en réduisant la consommation de ressources naturelles.

Par ailleurs, cette polyvalence constitue un avantage stratégique important pour la future startup associée au projet. Elle offre la possibilité d'élargir la gamme de produits proposés, de répondre à différents besoins du marché local et de diversifier les sources de revenus. Cette capacité d'adaptation renforce ainsi la viabilité économique du projet tout en consolidant sa contribution aux principes de l'économie circulaire et du développement durable.

II.9 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter la méthodologie adoptée pour la valorisation des déchets de chantier dans la fabrication de pavés écologiques. Après une analyse des pratiques de gestion des déchets et une étude de terrain réalisée sur plusieurs chantiers à Oran, les différents matériaux nécessaires à la formulation des pavés ont été sélectionnés et préparés.

Les étapes de tri, concassage, tamisage et préparation des granulats recyclés ont été décrites, ainsi que les différentes formulations retenues sur la base des études antérieures et des besoins expérimentaux du projet. Enfin, le procédé de fabrication des pavés écologiques, incluant le mélange, le moulage, le compactage et la cure, a été détaillé.

La validation technique de cette formulation ouvre la voie à la fabrication d'une gamme diversifiée de produits de construction et d'aménagement, renforçant ainsi l'intérêt environnemental et économique de la démarche.

Cette démarche méthodologique constitue une base essentielle pour l'évaluation des propriétés physiques et mécaniques des pavés réalisés, qui sera présentée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III : **Résultats expérimentaux et analyse**

III.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats et observations obtenus dans le cadre de la première phase du projet de valorisation des déblais de chantier. L'objectif central de cette phase n'est pas de fournir une validation mécanique définitive du produit, mais de démontrer la faisabilité du procédé de fabrication, la disponibilité et la compatibilité des matières premières utilisées, ainsi que l'intérêt environnemental de la démarche.

Il convient de souligner que les essais de performance complets, résistance à la compression, absorption d'eau, masse volumique apparente, seront réalisés à 28 jours et pleinement analysés lors de la **seconde phase du projet, prévue en décembre 2026**. Les valeurs correspondantes ne figurent pas dans ce chapitre : elles seront intégrées dans le rapport final de la phase 2, accompagnées d'une interprétation technique rigoureuse et d'une comparaison avec les normes en vigueur (EN 772-1, DTR C 2.41), ce choix méthodologique validé par l'encadrement pédagogique, permet de dédier cette première soutenance exclusivement à la validation du protocole de fabrication, de l'approche HSE et du bilan environnemental.

III.2 Observation générale des pavés fabriqués

Après démoulage et séchage, les pavés obtenus présentent une géométrie relativement homogène ainsi qu'une cohésion globale satisfaisante. Les échantillons fabriqués possèdent une texture légèrement rugueuse due à la présence des granulats recyclés issus des déblais de chantier.

Une légère variation de couleur a été observée selon les proportions de béton recyclé, de céramique et de sable incorporées dans chaque formulation.

Aucune fissuration importante ni désagrégation majeure n'a été constatée après le durcissement, ce qui indique une stabilité acceptable des pavés élaborés.

III.3 Observations visuelles et comportement mécanique préliminaire

L'observation des pavés après durcissement a permis de constater plusieurs éléments :

- Bonne conservation de la forme géométrique après démoulage.
- Répartition relativement homogène des granulats dans la matrice.
- Absence de fissures majeures visibles à l'œil nu.
- La présence de pores fins et quelques vides superficiels.



Figure3.38: le pavé fabriqué

III.4 FICHES DE SUIVI ET JOURNAL DE FABRICATION

III.4.1 Fiche de Suivi de Séance

Champ	Informations	Observations
Date de fabrication	20 Avril -20 Mai	
Opérateurs (noms)	Bachiri ibtihal firdaous Fekkroun ibrahim	
Série fabriquée	S1 ☒ S2 ☐ S3 ☐	
Température ambiante (°C)	24°C	
Humidité ambiante (%)	65%	
Résultat test de la boule	Correct ☐	
Problème rencontré	Aucun	
Heure de moulage	11:30	

Table3.7:fiche de suivi de séance

III.4.2 Journal de Cure — Suivi Quotidien

Jour	Date	Heure	Action réalisée	Observations / Anomalies visuelles
J0	20/04/2026	11h30	Moulage	
J1	21/04/2026	09h00	Démoulage + film	
J2	22/04/2026	10h00_15h00	Arrosage	
J3	23/04/2026	10h00-16h00	Arrosage	
J4	24/04/2026	10h30	Arrosage	
J5	25/04/2026	10h00-15h00	Arrosage	
J6	26/04/2026	09h30	Arrosage	
J7	27/04/2026	09h45	Fin film plastique	
J14	04/05/2026	09h30	Contrôle visuel	
J21	11/05/2026	09h30	Contrôle visuel	
J28	18/05/2026	09h30	Tests de caractérisation	

Table3.8:journal de cure

III.5 Faisabilité du procédé :

III.5.1 Disponibilité et compatibilité des matières premières

L'étude de terrain menée sur plusieurs chantiers actifs de la wilaya d'Oran a démontré la disponibilité constante et abondante des déblais composés de béton concassé et de céramique. Les principales conclusions de cette phase sont les suivantes :

- Les déblais sont disponibles en quantités significatives sur les chantiers de démolition et de construction de la wilaya d'Oran, sans coût d'acquisition.
- La fraction utilisable (granulométrie 4–10 mm obtenue par concassage manuel et tamisage) représente une proportion satisfaisante des déblais collectés.
- Le ciment MATINE 42.5 (CEM I), disponible localement, assure une prise correcte et une compatibilité chimique avec les granulats recyclés utilisés.
- L'adjuvant Sika permet de maintenir une maniabilité suffisante du mélange avec un rapport E/L maîtrisé (0,40 à 0,45 selon les séries), limitant la porosité résiduelle.
- L'eau de gâchage utilisée répond aux exigences standards pour les travaux de construction.

III.5.2 Simplicité et reproductibilité du procédé

L'ensemble des opérations de fabrication (tri, concassage, tamisage, humidification, malaxage, moulage, compactage par chute libre et cure) a été réalisé avec du matériel courant de chantier ou de laboratoire, sans recours à des équipements industriels. Cette simplicité constitue un avantage décisif pour une application à faible coût dans un contexte local :

- Aucun équipement spécialisé requis : masse, tamis manuel, seaux gradués, moules silicone, truelle.
- Le protocole en 13 étapes est reproductible par un opérateur formé en quelques heures.
- La première série a été fabriquée dans des conditions identiques, garantissant la comparabilité des résultats futurs.
- Le test de consistance dit « test de la boule » a fourni un contrôle qualité immédiat, satisfaisant pour la formulation.

III.6 Analyse environnementale

Pour comprendre pleinement la valeur du pavé écologique développé dans cette étude, il convient d'en évaluer les bénéfices environnementaux par rapport aux matériaux conventionnels. L'outil de référence pour cette évaluation est l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), méthodologie normalisée par les standards ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006, qui permet d'évaluer l'ensemble des impacts environnementaux depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie, selon une approche "du berceau à la tombe".

III.6.1 Émissions de gaz à effet de serre (GES) : granulats naturels versus granulats recyclés

La production de granulats naturels est une activité à forte intensité carbone. Elle mobilise des procédés mécaniques lourds (forage, dynamitage, concassage, criblage, lavage) dont la consommation énergétique cumulée génère une empreinte carbone significative. La production d'un mètre cube de granulats naturels (NA) est associée à une consommation de 106,56 MJ et à des émissions de 5,628 kg CO₂ éq [23]. En comparaison, les granulats de béton recyclé (RCA), fraction dominante à 65 % dans les CRA de la présente étude, n'entraînent que 4,641 kg CO₂ éq. pour la même quantité, soit une réduction de 18 % par rapport aux NA. Les granulats de maçonnerie recyclée (RCM), représentant les 35 % restants sous forme de céramique concassée, affichent 3,294 kg CO₂ éq. par mètre cube, soit une réduction de 41 %.

À l'échelle de la tonne, la fabrication de granulats recyclés émet 0,0024 t CO₂ , contre 0,046 t CO₂ pour les granulats naturels, soit une réduction de 95 % par tonne produite. Dans le cadre de la présente étude, les déblais ont été collectés directement sur des chantiers intra-urbains à Oran et traités localement, sans transport longue distance. Les granulats naturels utilisés dans la construction oranaise provenant de carrières extérieures à la ville, la valorisation locale des CRA représente un avantage environnemental additionnel non négligeable. Sur la base de ces données, la substitution partielle des NA par des CRA issus des chantiers oranais permet d'envisager une réduction des émissions de CO₂ de l'ordre de **40 à 65 %** sur la fraction recyclée par rapport à une formulation conventionnelle à base de granulats naturels [21].

III.6.2 Consommation d'énergie

La production de granulats naturels constitue une activité particulièrement énergivore. Pour une couche de base de chaussée, la demande en énergie cumulée associée aux NA atteint entre 148 000 et 326 000 MJ par voie de circulation et par kilomètre selon les scénarios climatiques. En substituant les NA par des granulats recyclés de construction, cette demande est réduite de 46 % à 75 % , grâce à la suppression des étapes d'abattage et d'extraction en carrière. Dans la présente étude, les CRA issus des chantiers oranais — composés à 65 % de béton concassé (RCA) et à 35 % de céramique (RCM) — sont produits localement, ce qui réduit considérablement les besoins en transport et optimise le bilan énergétique global de la fabrication[23].

III.6.3 Conséquences environnementales de la mise en décharge des déchets inertes

La mise en décharge des déchets de construction et de démolition (DCD) constitue l'une des pratiques de gestion les plus problématiques sur le plan environnemental. À l'échelle mondiale, les DCD représentent 30 à 40 % du volume total des déchets solides générés. Sur le plan foncier, les décharges de déchets inertes mobilisent des espaces difficiles à réhabiliter. Sur le plan hydrique, les lixiviats issus de matériaux potentiellement contaminés (peintures, hydrocarbures, métaux lourds) peuvent polluer les nappes phréatiques, problématique particulièrement prégnante en Algérie où les décharges sauvages restent fréquentes. Sur le plan atmosphérique, la présence de fractions organiques mélangées dans les DCD contribue à des émissions de méthane (CH₄), gaz dont le potentiel de réchauffement climatique est 28 fois supérieur à celui du CO₂ sur 100 ans. La mise en décharge des matériaux inertes représente enfin une opportunité manquée de production de granulats recyclés, perpétuant la dépendance à l'extraction de ressources naturelles.

III.6.4 Économie circulaire appliquée au secteur de la construction

Le modèle économique linéaire traditionnel du secteur de la construction (extraire, produire, démolir, jeter) génère des volumes considérables de déchets inertes tout en épuisant des ressources naturelles non renouvelables. L'économie circulaire propose un changement de paradigme fondamental : maintenir les matériaux dans le cycle économique le plus longtemps possible. Dans le secteur du BTP, ce modèle se concrétise par la valorisation des déblais en granulats recyclés : les déchets de démolition, au lieu d'être mis en décharge, deviennent une matière première secondaire réintégrée dans un nouveau cycle de production, réduisant simultanément la pression sur les gisements naturels et le volume de déchets. Dans la présente étude, cette logique circulaire est appliquée à partir de déblais de trois chantiers oranais transformés en CRA puis réincorporés en pavés, illustrant concrètement la faisabilité de ce modèle dans un contexte local où cette transition reste à construire.

III.6.5 Protection de l'environnement : bilan chiffré

La substitution partielle des NA par des CRA réduit les émissions de CO₂ de 18 à 41 % selon la fraction considérée [23], la consommation énergétique de production de 20 à 66 % [23,24], et la consommation d'eau en phase de production de 25 %, tout en détournant plus de 70 % des déchets de béton de la filière décharge. Ces bénéfices représentent une contribution mesurable à la réduction de l'empreinte environnementale du secteur, particulièrement pertinente dans un contexte algérien où le taux de recyclage des déchets inertes demeure inférieur à 10 % et où les objectifs de la SNGID 2035 appellent à une transformation profonde des pratiques de gestion des DCD.

III.6.6 Limites de l'étude et perspectives

Le protocole expérimental mis en œuvre repose sur un nombre limité d'échantillons par formulation, imposé par les contraintes de temps et de ressources disponibles dans le cadre d'un mémoire de master. Ce nombre réduit d'éprouvettes ne permet pas d'établir une analyse statistique robuste des résultats. Par ailleurs, le concassage manuel des déblais introduit une hétérogénéité granulométrique qui limite la reproductibilité d'un lot à l'autre. Enfin, les essais réalisés se limitent à la résistance à la compression, la masse volumique et l'absorption d'eau. D'autres propriétés requises pour la qualification complète selon la norme NF EN 1338, résistance à l'usure, résistance au gel-dégel, durabilité à long terme, seront évaluées lors de la seconde phase du projet prévue en décembre.

III.7 Bénéfices attendus pour le secteur du BTP et perspectives de valorisation

III.7.1 Bénéfices techniques et économiques pour le secteur

- Réduction du coût des matières premières : les déblais collectés sur chantier ont un coût d'acquisition nul, contrairement aux granulats naturels extraits en carrière.
- Accessibilité du procédé : la fabrication peut être réalisée avec un outillage minimal, ouvrant la voie à des unités de production de petite taille, adaptées aux ressources locales.
- Réduction des coûts de gestion des déchets pour les chantiers partenaires : la collecte des déblais libère de l'espace sur chantier et évite les frais d'évacuation vers des décharges.
- Valorisation d'un déchet à forte disponibilité locale : les chantiers de démolition et de construction d'Oran génèrent en permanence des volumes de déblais susceptibles d'alimenter une unité de production.

III.7.2 Perspectives de valorisation industrielle

Les résultats et observations de cette première phase permettent d'identifier les perspectives suivantes pour la seconde phase et le développement industriel du projet :

- Optimisation des formulations : ajustement des proportions de granulats recyclés, du dosage en ciment et du rapport E/L pour améliorer les performances mécaniques.
- Mécanisation partielle du procédé : remplacement du concassage manuel par un concasseur à mâchoires de petite capacité pour améliorer la régularité granulométrique.
- Validation normative complète : essais de résistance à la compression, d'absorption d'eau, de masse volumique, de résistance à l'usure et au gel-dégel selon NF EN 1338.
- Développement d'une gamme de produits : bordures, blocs de maçonnerie non structurelle, mobilier urbain, à partir du même procédé de base.
- Structuration d'un modèle économique : création d'une startup portant la valorisation industrielle du procédé dans la wilaya d'Oran, avec étude technico-économique détaillée.

III.7.3 Limites de la phase 1 et voie vers la phase 2

Le protocole expérimental mis en œuvre repose sur un nombre limité d'échantillons par formulation (3 éprouvettes $\times$ 3 séries), imposé par les contraintes de temps et de ressources disponibles dans le cadre d'un mémoire de master. Ce nombre réduit ne permet pas d'établir une analyse statistique robuste des résultats, qui sera rendue possible lors de la seconde phase.

Par ailleurs, le concassage manuel des déblais introduit une hétérogénéité granulométrique qui limite la reproductibilité d'un lot à l'autre. La mécanisation partielle du procédé, prévue en phase 2, permettra de remédier à cette limitation.

Enfin, les essais réalisés ou en cours se limitent aux propriétés de base du matériau. D'autres propriétés requises pour la qualification complète, résistance à l'usure, résistance au gel-dégel, durabilité à long terme, seront évaluées lors de la seconde phase, selon le calendrier prévu.

III.8 Discussion

Les observations qualitatives et les données de suivi obtenues au cours de cette première phase sont globalement encourageantes. Elles permettent de tirer les enseignements suivants :

- Le procédé de fabrication artisanal mis en œuvre est techniquement faisable, reproductible et adaptable à des conditions de production modestes.
- La compatibilité des matières premières granulats recyclés de béton et de céramique, ciment MATINE 42.5, adjuvant Sika a été confirmée par l'obtention de pavés cohérents et géométriquement stables.
- Aucun incident majeur (désagrégation, fissuration précoce, prise défectueuse) n'a été constaté sur l'ensemble des neuf éprouvettes fabriquées.
- L'intérêt environnemental de la démarche est bien étayé par la bibliographie : la substitution des granulats naturels par des granulats recyclés locaux génère des bénéfices mesurables en termes de CO₂ , d'énergie et de volume de déchets détournés de la décharge.

La littérature confirme que les performances des matériaux recyclés dépendent fortement de la qualité des constituants utilisés, en particulier des granulats et du sable, ainsi que du contrôle du rapport eau/liant et des conditions de fabrication [22]. Les premiers éléments collectés dans cette phase sont cohérents avec ces données et ne remettent pas en cause l'approche retenue.

III.9 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les pavés obtenus ainsi que les observations préliminaires réalisées sur le matériau élaboré. Les résultats montrent que le procédé de fabrication retenu permet d'obtenir un produit cohérent, dont l'aspect et la mise en forme répondent globalement aux objectifs fixés dans le cadre de l'étude.

L'analyse visuelle des pavés fabriqués a montré une bonne stabilité géométrique et une cohésion globale satisfaisante, toutefois, certaines améliorations restent envisageables afin d'optimiser la compacité du matériau et d'améliorer ses performances mécaniques.

Cette première phase expérimentale constitue une base encourageante pour la poursuite des travaux d'optimisation et le développement futur d'un matériau écologique répondant aux exigences environnementales et technique du secteur du bâtiment et travaux publics.

La **seconde phase du projet, prévue en décembre 2026**, portera sur les essais de performance complets (absorption d'eau, masse volumique, Résistance à la compression) l'optimisation des formulations, la validation technique définitive, ainsi que la création et la structuration de la startup destinée à assurer la valorisation industrielle de cette innovation.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer la possibilité de valoriser les déblais de chantier dans la fabrication de pavé écologique afin de contribuer à une gestion plus durable des déchets issus du secteur du bâtiment et des travaux publics.

L'analyse bibliographique a permis de mettre en évidence les enjeux environnementaux liés à la production croissante des déchets de chantier ainsi que l'importance du recyclage dans une démarche d'économie circulaire, les différents techniques de traitement et de valorisation des déchets ont montré que les déblais représentent une ressource potentiellement exploitable dans la fabrication de nouveaux matériaux de construction.

La phase expérimentale a consisté à élaborer des pavés à partir de matériaux recyclés issus des déblais de chantier, les résultats obtenus ont confirmé la faisabilité de cette approche et ont permis de produire des échantillons présentant des caractéristiques globalement satisfaisantes pour une première formulation.

Le but majeur de ce travail réside dans sa dimension environnementale. En favorisant la réutilisation des déblais de chantier, cette solution contribue à la réduction des volumes de déchets destinés aux décharges, à la préservation des ressources naturelles et à la diminution des impacts environnementaux associés à l'extraction de nouvelles matières premières.

La valorisation des déblais de chantier dans la fabrication de pavés écologiques apparaît comme une solution prometteuse conciliant protection de l'environnement, gestion durable des déchets et innovation dans le domaine des matériaux de construction. Ce projet démontre que les déchets du secteur du BTP peuvent devenir une ressource à forte valeur ajoutée lorsqu'ils sont intégrés dans une démarche de recyclage et de développement durable.

Cette première phase du projet a permis de démontrer la faisabilité du concept de valorisation des déblais de chantier ainsi que son intérêt technique, environnemental et HSE. Les travaux réalisés ont confirmé la disponibilité des matières premières, la pertinence du procédé proposé et son potentiel d'intégration dans une démarche d'économie circulaire appliquée au secteur du BTP. La seconde phase du projet, prévue pour décembre, portera sur l'étude technico-économique, le développement du produit, les essais de performance complets, la validation technique définitive ainsi que la création et la structuration de la startup destinée à assurer la valorisation industrielle de cette innovation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] « Accueil & recyclage de déblais inertes du BTP », Bronzo Perasso. Consulté le: 1 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://bronzoperasso.fr/notre-engagement-rse/accueil-recyclage-de-deblais-inertes/>
- [2] R. Anger, « Approche granulaire et colloïdale du matériau terre pour la construction ».
- [3] « cetu_di_gestion_des_materiaux_05-2016-version_corrige-bd.pdf ». Consulté le: 1 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/cetu_di_gestion_des_materiaux_05-2016-version_corrige-bd.pdf
- [4] « Loi n° 2001-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination ».
- [5] « Déchets et Recyclage - وزارة البيئة وجودة الحياة ». Consulté le: 10 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.me.gov.dz/fr/dechets-et-recyclage/>
- [6] « SGG Algérie ». Consulté le: 10 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.joradp.dz/HFR/Index.htm>
- [7] « SGG Algérie ». Consulté le: 10 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.joradp.dz/HFR/Index.htm>
- [8] « SGG Algérie ». Consulté le: 10 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.joradp.dz/HFR/Index.htm>
- [9] « Algérie: Kaoutar Krikou prend ses fonctions de ministre de l'Environnement et de la Qualité de la vie - allAfrica.com ». Consulté le: 10 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.allafrica.com/stories/202509160182.html>
- [10] « Microsoft Word - GRIMES3.doc ». Consulté le: 1 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://initiative-pim.org/wp-content/uploads/2022/04/Programme-d%E2%80%99Am%C3%A9nagement-C%C3%B4tier-PAC-Zone-c%C3%B4ti%C3%A8re-alg%C3%A9roise.pdf>
- [11] « Gestion des déchets ménagers et assimilés: plus de 5.000 entreprises recensées – Portail algérien ». Consulté le: 1 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://portail.cder.dz/2024/01/28/gestion-des-dechets-menagers-et-assimiles-plus-de-5-000-entreprises-recensees/>
- [12] « salescrap.online ». Consulté le: 1 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.algeriainvest.com/fr/premium-news/elle-atteint-207-milliards-da-en-2023-la-valeur-marchande-des-dechets-en-hausse-constante-en-algerie>
- [13] « RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE ». Consulté le: 1 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2015/06/These-de-CHENITI-Hamza.pdf>
- [14] « rapport DMA.pdf ». Consulté le: 1 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://and.dz/site/wp-content/uploads/rapport%20DMA.pdf>
- [15] « Stratégie nationale de la gestion des déchets », Agence Nationale des Déchets. Consulté le: 1 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://and.dz/presentation/strategie-nationale-de-la-gestion-des-dechets/>
- [16] « GoodCollect | Prix et tarif de Location de Benne, transport et traitement de déchet ». Consulté le: 1 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://goodcollect.co/>
- [17] « Comment limiter les déchets de construction? ».
- [18] « Kenai, S. and Debieb, F. (2011) Characterization of the Durability of Recycled Concretes using Coarse and Fine Crushed Bricks and Concrete Aggregates. Materials and Structures, 44, 815-824. - References - Scientific Research Publishing ». Consulté le: 7 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3434528>

- [19] « DTR Algérie : Règles de Construction | PDF | Béton armé | Fondation (construction) ». Consulté le: 7 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.scribd.com/document/385735965/DTR>
- [20] « Recommandations RECYBETON », RECYBETON. Consulté le: 7 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://pnrecybeton.irex.asso.fr/rapports/recommandations-recybeton/>
- [21] « Environnement d’Affaires | Algeria Invest ». Consulté le: 11 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.algeriainvest.com/AlgeriaIC/public/fr/premium-news>
- [22] « Comment recycler Le béton dans le béton - Recommandations du projet national RECYBETON ». Consulté le: 5 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://pnrecybeton.irex.asso.fr/recomrecybeton/100/>
- [23] Life cycle assessment and pavement performance of recycled aggregates in road construction by Abdelhalim Azam
- [24] Eco-Pave: Paving Blocks Originating from Construction Waste by Arief Sabdo Yuwono

ANNEXE

Annexe A — Documents de terrain :

A.1Fiche de collecte des déblais par chantier :

Chanti er	Localisati on (Oran)	Type	Duré e	Ce qu'ils construise nt	Type de déblais	Volume estimé	Gestion actuelle	Destinati on
01	Bir El Djir	Constructio n neuve	24 mois	Immeuble résidentiel	Terre, sable, gravats, béton, bois, briques	< 10 m³/semai ne	Partiellem ent triés	Décharge communa le
02	Oran centre	Réhabilitati on	36 mois	Rénovatio n de bâtiments anciens	Terre, sable, gravats, béton, bois, verre, métaux, briques, plastiqu e, plâtre	10–50 m³/semai ne	Partiellem ent triés	Décharge communa le
03	Es Sénia	Démolition / reconstructi on	24 mois	Démoliti on + constructi on commerci ale	Terre, sable, gravats, béton, bois, verre, briques, plastiqu e, métaux, plâtre	~40 m³/semai ne	Partiellem ent triés	Décharge communa le

Table2.1: une synthèse comparative des trois chantiers visités dans la wilaya d'Oran

A.2 Photographies de terrain :



Figure 39:chantier (03)



Figure 40:chantier (01)



Figure 41:chantier (02)

ANNEXE B

B.1 Fiche technique — Ciment MATINE 42.5 (CEM I)

Le ciment utilisé dans toutes les formulations est un ciment Portland ordinaire de classe 42.5, conforme à la norme NF EN 197-1.

Caractéristique	Valeur / Spécification
Désignation normative	CEM I 42.5 N — NF EN 197-1
Producteur / Marque	MATINE — Algérie
Résistance à la compression à 2 jours	≥ 10 MPa
Résistance à la compression à 28 jours	≥ 42.5 MPa et ≤ 62.5 MPa
Début de prise (min)	≥ 60 minutes
Stabilité (expansion, mm)	≤ 10 mm
Teneur en sulfates (SO_3 , %)	$\leq 4,0$ %
Teneur en chlorures (Cl^- , %)	$\leq 0,10$ %
Finesse Blaine (cm^2/g)	À préciser selon fiche fabricant
Conditionnement utilisé	Sacs de 50 kg
Dosage retenu dans l'étude	4,5 litres par gâchée (toutes séries)

Table 9:caractéristiques du ciment MATINE 42.5

Précaution HSE — Manipulation du ciment :

Le ciment est un produit alcalin (pH 12–13). Le contact prolongé avec la peau ou les yeux peut provoquer des irritations et des brûlures chimiques.

→ Port de gants nitrile et de lunettes de protection obligatoire lors du dosage.

→ En cas de contact cutané : rincer abondamment à l'eau pendant 15 minutes.

B.2 Fiche technique — Adjuvant Sika

Un adjuvant plastifiant-réducteur d'eau de la gamme Sika a été utilisé pour améliorer la maniabilité des mélanges sans augmenter le rapport E/L.

Caractéristique	Valeur / Spécification
Type de produit	Plastifiant / réducteur d'eau
Norme de référence	NF EN 934-2

Base chimique	Lignosulfonate / polycarboxylate (selon référence Sika locale)
Forme	Liquide
Densité	≈ 1,05 à 1,20 kg/L
pH	7 à 9 (neutre à légèrement basique)
Dosage retenu — Série 1	35 ml par gâchée
Dosage retenu — Série 2	45 ml par gâchée
Dosage retenu — Série 3	55 ml par gâchée
Mode d'incorporation	Dilué dans l'eau de gâchage avant incorporation
Compatibilité ciment	Compatible avec CEM I

Table 10:caractéristiques de l'adjuvant Sika

Précaution HSE — Adjuvant Sika :

Peut provoquer une légère irritation cutanée par contact prolongé.

→ Port de gants nitrile recommandé lors du dosage.

→ Refermer le bidon après usage. Conserver à l'abri du gel.

B.3 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage des mélanges provient du réseau d'alimentation en eau potable de la wilaya d'Oran. Elle répond aux critères de la norme NF EN 1008 relative aux eaux de gâchage pour béton.

Critère	Spécification NF EN 1008 / Constat
Origine	Wilaya d'Oran
Aspect	Claire, inodore, sans suspension visible
Ph	6 à 9 (eau potable conforme)
Teneur en chlorures	≤ 500 mg/L (eaux de gâchage — béton non précontraint)
Teneur en sulfates	≤ 2 000 mg/L
Huiles et graisses	Absence visuelle confirmée
Conformité présumée	OUI eau potable du réseau public

Table 11:critères de conformité de l'eau de gachage

B.4 Granulats recyclés — Caractérisation visuelle

Les granulats recyclés ont été obtenus par concassage manuel et tamisage des déblais collectés. Le tableau ci-dessous résume leurs caractéristiques visuelles et granulométriques après traitement.

Type de granulat	Fraction granulaire	Observations visuelles
Béton recyclé (DBR)	0 – 10 mm (tamisat)	Gris, aspect calcaire, surface rugueuse, absorption élevée
Céramique recyclée (DCR)	0 – 10 mm (tamisat)	Rouge/brun, anguleux, faible absorption, bonne dureté
Sable fin	0 – 2 mm	Sable naturel local, couleur beige, propre
Gravats	5 – 15 mm	Fragments de maçonnerie, aspect mixte

Table 12:caractérisation visuelle des granulats utilisés

ANNEXE C

Normes de référence applicables

Le tableau ci-dessous résume les normes et documents techniques de référence applicables aux essais de caractérisation des pavés écologiques fabriqués dans le cadre de cette étude.

Référence normative	Domaine	Objet et paramètres couverts
EN 772-1	Résistance à la compression	Méthode d'essai pour la détermination de la résistance à la compression des éléments de maçonnerie (briques, blocs, pavés)
EN 772-21	Absorption d'eau	Méthode d'essai pour la détermination de l'absorption d'eau des éléments de maçonnerie par immersion dans l'eau froide
DTR C 2.41	Algérie — Maçonnerie	Document Technique Réglementaire algérien fixant les valeurs limites de résistance à la compression et d'absorption d'eau pour les éléments de construction
NF EN 1338	Pavés en béton	Spécification des pavés en béton pour voirie et aménagements extérieurs — résistance à l'usure, résistance au gel-dégel, durabilité (Phase 2)
NF EN 197-1	Ciment	Classification et spécifications des ciments courants — CEM I 42.5
NF EN 934-2	Adjuvants béton	Définitions, exigences, conformité des adjuvants pour béton
NF EN 1008	Eau de gâchage	Spécification pour l'échantillonnage, essais et

		évaluation de la conformité de l'eau de gâchage pour béton
ISO 14040:2006	Environnement	Management environnemental — Analyse du cycle de vie (ACV) — Principes et cadre
ISO 14044:2006	Environnement	Management environnemental — ACV — Exigences et lignes directrices

Table 13: normes de référence applicable à l'étude

ANNEXE D

Cadre réglementaire algérien — Textes de référence

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux textes législatifs et réglementaires algériens relatifs à la gestion des déchets de construction et de démolition (DCD), cités dans le Chapitre I du présent mémoire.

Référence	Date	Objet
Loi 01-19	12 décembre 2001	Loi relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets — texte fondateur de la politique nationale algérienne de gestion des déchets
Décret 98-339	3 novembre 1998	Catégories d'installations de stockage et de traitement des déchets soumises à autorisation ou déclaration
Loi 03-10	19 juillet 2003	Loi relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable
PNAE-DD	2002	Plan National d'Actions Environnementales et du Développement Durable — fixe les objectifs nationaux de gestion durable des déchets
PROGDEM	2002–2012	Programme National de Gestion des Déchets Municipaux — incluant les déchets inertes de chantier
SNGID 2035	En vigueur	Stratégie Nationale de Gestion Intégrée des Déchets — objectifs de valorisation et de recyclage à l'horizon 2035
DTR C 2.41	En vigueur	Document Technique Réglementaire — Règles de calcul et de conception des ouvrages en maçonnerie — valeurs limites pour matériaux de construction
Code de l'Environnement Art. R541-8	2016	Définition des déchets inertes : déchets ne subissant aucune modification physique, chimique ou biologique importante

Table 14: principaux textes réglementaires algériens relatifs aux déchets de chantier

D.2 Sanctions prévues — Loi 01-19

Article pertinent — Loi 01-19 du 12 décembre 2001 :

Quiconque dépose, jette ou abandonne des déchets inertes sur tout site non désigné à cet effet, et notamment sur la voie publique, est puni d'une amende de :

- 10 000 DA à 50 000 DA (première infraction)
- Amende portée au double en cas de récidive

→ *Cette disposition souligne l'enjeu légal de la gestion des déblais de chantier*
et renforce la pertinence d'une filière de valorisation locale.