



Université de Constantine 3- Salah BOUBNIDER

Institut de gestion des techniques urbaines

Département gestion des villes et urbanisation

**LES DECHETS DANS L'AMELIORATION DES PERFORMANCES  
ENERGETIQUES DES BATIMENTS DANS LA VILLE DE CONSTANTINE ET  
LA VILLE NOUVELLE ALI MENDJELI**

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en science

Spécialité Gestion des Techniques Urbaines

**Par**

**Halima ZAIDI**

Année Universitaire

2025-2026





**Université de Constantine 3- Salah BOUBNIDER**  
**Institut de gestion des techniques urbaines**  
**Département gestion des villes et urbanisation**

N° de Série :.....

N° d'ordre :.....

**LES DECHETS DANS L'AMELIORATION DES PERFORMANCES  
ENERGETIQUES DES BATIMENTS DANS LA VILLE DE CONSTANTINE ET  
LA VILLE NOUVELLE ALI MENDJELI**

**THESE**

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en science  
Spécialité Gestion des Techniques Urbaines

**Par**

**Halima ZAIDI**

Devant le Jury Composé de :

Hayet MEBIROUK	Présidente	Professeur	Université Constantine 3
Roukia BOUADAM	Directrice	Professeur	Université Constantine 3
Ahmed BOUSMAHA.	Examineur	Professeur	Université d'Oum-El-Bouaghi
Amel GHELLAB	Examinatrice	MCA	Université Jijel
Siheem CHAIB	Examinatrice	MCA	Université Constantine 1
Naouel Hanane BOUDJABI	Examinatrice	MCA	Université Constantine 3

Année Universitaire

2025-2026





## **REMERCIEMENTS**

Je rends grâce, en premier lieu, à Dieu le Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force, la persévérance et la patience nécessaires à l'accomplissement de ce travail de recherche.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à ma directrice de thèse, Pr **Roukia Bouadam**. Son rôle a été déterminant dans l'aboutissement de ce projet. Son expertise scientifique, sa rigueur intellectuelle et la justesse de ses conseils ont guidé ma réflexion tout au long de ce parcours. Je lui suis infiniment reconnaissante pour sa disponibilité sans faille et son soutien indéfectible, particulièrement précieux dans les moments de doute.

J'exprime ma profonde gratitude au Pr **Hayet Mebirouk**, qui me fait l'honneur de présider ce jury de soutenance.

Mes remerciements vont aussi aux membres de jury qui participeront à la soutenance :

- **Pr Ahmed Bousmaha**
- **Dr Amel Ghellab**
- **Dr Sihem Chaib**
- **Dr Naouel Boudjabi**

Leur expertise et leurs observations contribueront à l'enrichissement final de cette étude.

Je tiens à témoigner ma reconnaissance à l'ensemble des personnes qui m'ont accueillie au sein de leurs structures et qui ont contribué, par leur appui technique, à la concrétisation de mes travaux. Je pense particulièrement à Mr Nouredine Choughi (Chef de service matériaux et chimie au LTP-Est), aux Professeurs Abdou et Salaheddine Bensebti (Département de Génie Civil, Université de Constantine 1), à Mr Ammar Zaabat (Chef de laboratoire en Génie Civil, Université de Skikda), à Mme Amina Slyemi (Membre du GTS au CNERIB), au Pr Salah Laouar (Directeur de laboratoire) ainsi qu'au Pr Mourad Zaabat (Directeur de l'ISTAT à Aïn M'lila).

Mes remerciements s'adressent enfin aux responsables et aux personnels administratifs qui ont facilité l'accès aux données nécessaires à cette étude, notamment au sein de la Direction de l'Environnement, de la Direction de l'Énergie, de la SDE (Société de Distribution d'Électricité et de Gaz de l'Est), de la DUAC (Direction de l'Urbanisme) de la Wilaya de Constantine, ainsi qu'auprès de l'Établissement de Gestion des Centres d'Enfouissement Techniques, de l'EAVANAM et de l'EGUVAM.

Merci à toutes celles et ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse.

## ***DEDICACES***

Je dédie ce modeste travail, avec tout mon amour, ma gratitude et mon respect :

**À mes très chers parents,**

Pour leur amour inconditionnel, leurs prières et leurs innombrables sacrifices.

**À mon très cher époux,**

Pour son soutien précieux, sans lequel cette thèse n'aurait jamais vu le jour.

**À mes chères sœurs et à mes chers frères,**

Ainsi qu'à leurs époux, leurs épouses et leurs enfants.

**À mes amies fidèles et sincères,**

Pour leur présence et leurs encouragements constants.

## TABLE DES MATIERES

<b>LISTE DES FIGURES</b>	xi
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	xvi
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>	xix
<b>RESUME</b>	xxi

### CHAPITRE I : INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1. I.1. Introduction	2
1.2. Problématique et question de recherche	4
1.3. Hypothèses	5
1.4. Objectifs de recherche	6
1.5. Méthodologie de recherche	6
I.5.1. Partie théorique	6
I.5.2. Partie collecte et analyses des données	7
I.5.3. Partie expérimentale	7
I.5.4. Partie simulation et application	8
1.6. Structure de la thèse	8
1.7. Contraintes de la recherche	11

### Chapitre II : CADRE THEORIQUE ET ETAT DE L'ART SUR LA VALORISATION DES DECHETS DANS LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Introduction	13
2.1. Concepts clés liés à l'énergie dans le bâtiment	14
2.1.1. Notion du confort	14
2.1.2. Besoins en énergie dans un bâtiment	14
2.1.3. Les différentes formes d'énergie consommées par les bâtiments	15
2.1.4. Performance énergétique du bâtiment	16
2.1.5. Efficacité énergétique	16
2.1.6. Relation entre efficacité énergétique et performance énergétique	16
2.2. Concepts liée à la gestion des déchets	17
2.2.1. Déchets	17
2.2.2. Valorisation des déchets	18
2.2.3. Economie circulaire	18

2.2.4. Matériaux de construction alternatifs	22
2.3. Les déchets dans les Matériaux De Construction	24
2.3.1. Le ciment	24
2.3.2. Les briques	28
2.3.3. Le béton	33
2.3.4. Identification de lacune scientifique	40
Conclusion	41

**CHAPITRE III : CONVERGENCES DES STRATEGIES DE TRANSITION  
ENERGETIQUE ET DE GESTION INTEGREE DES DECHETS EN ALGERIE  
VERS UN DEVELOPPEMENT DURABLE**

Introduction	44
3.1. Cadre conceptuel du développement durable	45
3.1.1. Définition du développement durable	45
3.1.2. Contexte des objectifs du développement durable	45
3.2. La transition énergétique en Algérie dans une perspective du développement durable	
3.2.1. Contexte de la politique énergétique en Algérie	47
3.2.2. Transition énergétique et développement durable : de la réduction de l'impact environnemental à la transformation socio-économique	49
3.2.3 Instruments de mise en œuvre de la transition énergétique	51
3.2.3.1. Cadre opérationnel	51
3.2.3.2. Cadre réglementaire	53
3.2.3.3. Cadre institutionnel	56
3.2.3.4. Dispositif financier	58
3.2.3.5. Focus sur le secteur du bâtiment	59
3.2.4. Comment le nouveau modèle énergétique algérien s'articule-t-il avec les objectifs de développement durable?	61
3.3. La politique de la gestion des déchets	67
3.3.1. Le contexte de la politique de la gestion des déchets	67
3.3.2. Instruments de la politique de la gestion des déchets	67
3.3.2.1. Cadre législatif	67

3.3.2.2. Cadre institutionnel et acteurs de la gestion des déchets	70
3.3.2.3. Cadre opérationnel	74
3.3.2.4. Instrument financier	75
3.3.3. La Stratégie Nationale et Plan d'Actions de la Gestion Intégrée et de la Valorisation des Déchets à l'Horizon 2035	76
3.3.3.1. Présentation de la SNGID 2035	76
3.3.3.2. Objectifs et résultats attendus à l'horizon 2035	77
3.3.3.3. Scenarios de la SNGID	78
3.3.3.4. Contribution de la SNGID 2035 à la mise en œuvre des ODD	79
3.3.4. Interconnexion nouveau modèle énergétique-SNGID Convergence	82
Conclusion	84

**CHAPITRE IV : LE BATIMENT : ENJEU MAJEUR DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET CLIMATIQUE**

Introduction	86
4.1 Défi énergétique mondial	87
4.2. Analyse des facteurs influençant la consommation d'énergie	89
4.2.1. Climat	89
4.2.1.1. Etages climatiques	89
4.2.1.2. Température et pluviométrie	91
4.2.2. Démographie	91
4.2.3. Croissance économique	93
4.2.4. Habitat	94
4.2.5. Energie : réserve et potentiel, production et consommation	95
4.2.5.1. Réserves énergétiques	95
4.2.5.2. Production et consommation de l'énergie	96
4.3. Structure de la consommation d'énergie en Algérie	97
4.3.1. Evolution des différents agrégats	98
4.3.2. La consommation finale	99
4.3.2.1. Par secteur d'activité	100
4.3.2.2. Par type d'énergie	102
4.3.3. La consommation dans le secteur des ménages et autres	103

4.3.3.1. Par type d'énergie	103
4.3.3.2. Par sous-secteur	104
4.3.4. Prédominance de la consommation du secteur du bâtiment dans la consommation finale d'énergie	106
4.3.5. La consommation du sous-secteur résidentiel	106
4.3.6. La consommation du sous-secteur tertiaire	107
4.4. Emissions de gaz à effet de serre	109
4.4.1. Emissions CO <sub>2</sub> dues à la consommation finale	110
4.4.1.1. Par type d'énergie	110
4.4.1.2. Par secteur d'activité	111
4.4.2. Emissions de GES du secteur ménage et autres	112
4.4.2.1. Par type d'énergie	112
4.4.2.2. Par sous-secteur	114
4.4.3. Emissions de GES du secteur résidentiel	115
4.4.4. Emissions de GES du secteur du tertiaire	116
4.5. Principaux constats de l'analyse du profil énergétique et des émissions de GES	117
Conclusion	120

## **CHAPITRE V : DIAGNOSTIC DU SITE D'ETUDE : PROFIL ENERGETIQUE ET GISEMENT DES DECEHTS**

Introduction	122
5.1. Présentation détaillée de la zone d'étude	123
5.1.1. Justification du choix du terrain d'étude	123
5.1.2. Position géographie	123
5.1.3. Organisation administrative	126
5.1.4. Cadre physique	128
5.1.4.1. Relief de Constantine	128
5.1.4.2. Climat	129
5.1.5. Population	132
5.1.6. Habitat	134
5.2. Contexte énergétique	135

5.2.1. Structure de la distribution de l'énergie à Constantine	135
5.2.2. Description du réseau de distribution	136
5.2.3. Nombre de clients	137
5.2.4. Taux de raccordement au réseau d'énergie	139
5.2.5. Ventes d'énergie	139
5.2.6. Tendances générales de la consommation dans le résidentiel	141
5.2.6.1. Consommation finale	141
5.2.6.2. Consommation par type d'énergie dans la ville de Constantine	142
5.2.6.3. Consommation par type d'énergie dans la nouvelle ville Ali Mendjeli	143
5.2.7. Les émissions de CO <sub>2</sub> dues à la consommation d'énergie dans le résidentiel	144
5.3. Système de gestion des déchets à Constantine	145
5.3.1. Les opérateurs chargés de la collecte et transport	145
5.3.2. Les opérateurs chargés de la collecte dans la ville de Constantine	146
5.3.2.1. Société Polyvalente des Travaux et Environnement (SOPTE)	146
5.3.2.2. EPIC de la Propreté et de la commune de Constantine (PROPREC)	146
5.3.2.3. EPIC de la Propreté et de la Santé Publique de la wilaya de Constantine (PROPCO)	147
5.3.3. Les opérateurs chargés de la collecte dans la nouvelle ville Ali Mendjeli	147
5.3.3.1 EPIC PROPREC	147
5.3.3.2. EPIC de Gestion Urbaine de la Ville d'Ali Mendjeli (EGUVAM)	148
5.4. Les opérateurs chargés de traitement et de l'élimination	148
5.4.1. EPIC EPWG – CET de Constantine	148
5.4.1.1. Centres d'enfouissement techniques	148
5.4.1.2. Déchetteries	150
5.4.1.3. Les décharges contrôlées des déchets ménagers et assimilés	150
5.4.2. Caractérisation des déchets ménagers et assimilés à Constantine	151
5.4.2.1. Déchets solides en Algérie	151
5.4.2.2. Evolution des DMA dans la zone d'étude	152
5.4.2.3. Composition des DMA	153
5.4.2.4. Focus sur les déchets organique	155
Conclusion	157

**CHAPITRE VI : L'INCORPORATION DES DECHETS ORGANIQUES COMPOSTES  
DANS LE BATIMENT : ETUDE DE L'AMELIORATION DES PROPRIETES  
ISOLANTES DU BETON**

Introduction	162
6.1. Processus de compostage	164
6.1.1. Contexte des déchets organiques en Algérie	164
6.1.2. Production du compost utilisé dans les matériaux	165
6.1.3. Nature et provenance des déchets compostés	166
6.1.4. Préparation des déchets	167
6.1.5. Suivi des paramètres du compostage	167
6.1.6. Observation du déroulement du compostage	168
6.1.7. Evolution des paramètres au cours du compostage	168
6.1.8. Analyse de la maturité du compost	172
6.1.9. Paramètres de qualité	172
6.1.9.1. Maturité du compost	173
6.2. Béton contenant des déchets organiques compostés	175
6.2.1. Contexte et objectif de l'étude	175
6.2.2. Description des mélanges étudiés	177
6.2.3. Caractérisation des matériaux utilisés pour la confection des mélanges du béton	177
6.2.3.1. Ciment	177
6.2.3.2. Granulats	178
6.2.3.3. L'eau de gâchage	179
6.2.4. Programme expérimental	179
6.2.4.1. La confection des mélanges du béton	179
6.2.4.2. Propriétés physiques	181
6.2.4.3. Propriétés mécanique	184
6.2.4.4. Propriétés thermique	185
6.2.5. Présentation et interprétation des résultats expérimentaux	186
6.2.5.1. Paramètres physiques	186

6.2.5.2. Les paramètres mécaniques	188
6.2.5.3. Paramètres thermique	191
6.3. Compromis Résistance mécanique/isolation thermique dans le béton au compost	192
6.4. Impact de la valorisation de la fraction organique des déchets dans les matériaux de construction sur l'enfouissement	193
Conclusion	196

## **CHAPITRE VII: AMELIORATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE D'UN LOGEMENT A L'AIDE DE BETON INTEGRANT DES DECHETS**

Introduction	198
7.1. Présentation des logements étudiés	199
7.1.1. Critères de sélection des appartements	199
7.1.2. Description et orientation	200
7.1.3. Données géographiques et climatiques	203
7.1.4. Données relatives aux enveloppes des appartements	204
7.2. Analyse de la consommation énergétique réelle des appartements	207
7.2.1. La consommation d'énergie totale	207
7.2.2. La consommation d'électricité	209
7.2.3. La consommation du gaz	210
7.2.4. Emissions de gaz à effet de serre dues à la consommation d'énergie dans les deux appartements	211
7.3. Estimation de la consommation théorique par usage	212
7.3.1. Chauffage	212
7.3.2. Autres usages thermiques	212
7.3.2.1. Production eau chaude	212
7.3.2.2. La cuisson	213
7.3.3. Climatisation	214
7.3.4. Eclairage	215
7.3.5. Autres équipements électroménagers	215
7.3.6 Calcul de la consommation théorique des appartements	216
7.3.7. Comparaison des consommations réelles et modélisées	217

7.4. Calcul global des déperditions et des apports thermiques	218
7.4.1. Présentation de l'application CT BAT	218
7.4.2. Surfaces d'échange thermique dans les logements collectifs	219
7.4.3. Etat des enveloppes et calcul de coefficients de transmission thermique	220
7.4.3.1. Les coefficients K de la porte et des parois vitrées	221
7.4.3.2. Les coefficients K de la porte et des parois vitrées	222
7.4.4. Calcul hiver	223
7.4.5. Calcul été	225
7.5. Amélioration de la performance énergétique des logements	226
7.5.1. Hypothèses d'intégration du béton avec compost dans le logement et scénarios de remplacement	226
7.5.2. Simulation de la performance énergétique des scénarios proposés : Analyses quantitatives des améliorations thermiques	227
7.5.2.1. Evaluation de l'amélioration de la résistance thermique des toitures	227
7.5.2.2. Evaluation de la réduction des coefficients d'échange thermique K des toitures	228
7.5.2.3. Evaluation de la réduction des Puissances de chauffage et de climatisation à installer	229
7.5.2.4 Conformité réglementaire des scénarios d'amélioration	231
Conclusion	232
CHAPITRE VIII : CONCLUSION ET PERSPECTIVES	234
CHAPITRE X : BIBLIOGRAPHIE	238

### **LISTE DES ANNEXES**

Annexe A : textes d'application des lois cadres relatives à la maîtrise de l'énergie et à la gestion des déchets	257
Annexe B : Correspondance des unités d'énergie	260
Annexe C : Classification thermique des communes d'Algérie	261
Annexe D : Coefficients d'échange convectif selon la DTR C3-2	263
Annexe E : Photos des factures d'électricité des deux logements	264
Annexe F : Calcul des déperditions par renouvellement d'air	266
Annexe G : Article	268

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
Figures 1.1 : Méthodologie de recherche	6
Figure 2.1 : Structure du chapitre	13
Figure 2.2 : Les différentes formes d'énergie	15
Figure 2.3 : Les trois domaines de l'économie circulaire	20
Figure 2.4: Les sept piliers de l'économie circulaire	22
Figure 3.1: les 17 objectifs de développement durable	46
Figure 3.2: la part croissante des besoins intérieurs dans l'utilisation de l'énergie produite en Algérie (1980-2023)	48
Figure 3.3 : objectifs de programme algérien des énergies renouvelables	51
Figure 3.4 : Synthèse de la loi n°99-09	56
Figure 3.5 : Acteurs de gestion des déchets	71
Figure 3.6 : missions de la SNGID 2035	78
Figure 4.1 : Consommation mondiale d'énergie et les émissions CO <sub>2</sub> associées (1990-2023)	87
Figure 4.2: Carte climatique de l'Algérie	90
Figure 4.3 : évolution de la population et de la population active en millions d'habitants (2010-2023)	92
Figure 4.4 : évolution de PIB et PIB/habitant (2010-2023)	93
Figure 4.5 : Situation du domaine minier algérien en 2018	96
Figure 4.6 : Evolution de la production et de la consommation brute d'énergie en Mtep (2010-2023)	96
Figure 4.7: Structure de la consommation d'énergie en Algérie	98
Figure 4.8: Consommation nationale d'énergie par agrégat en ktep (1990-2023)	99
Figure 4.9 : Evolution de la part de la consommation finale dans la consommation nationale d'énergie (1990-2023)	100
Figure 4.10 : Evolution de la consommation finale par secteur d'activité en ktep (1990 - 2023)	101
Figure 4.11: Evolution de la consommation finale par type d'énergie en	102

Ktep (1990 - 2023)	
Figure 4.12 : Evolution de la consommation finale du secteur ménages et autres par forme d'énergie en Ktep (1990-2023)	104
Figure 4.13 : Evolution de la consommation du secteur ménages et autres par secteur d'activités en Ktep (2010-2023)	105
Figure 4.14 : Répartition de la consommation d'énergie finale en % (2010-2023)	106
Figure 4.15 : Evolution de la consommation dans le secteur résidentiel par forme d'énergie en Ktep (2010-2023)	107
Figure 4.16 : Evolution temporelle de la consommation dans le tertiaire par forme d'énergie en Ktep (2010-2023)	108
Figure 4.17 : Evolution des émissions de CO <sub>2</sub> dues à la consommation finale par type d'énergie en TCO <sub>2</sub> /Tep (2010-2023)	110
Figure 3.18 : Evolution des émissions de CO <sub>2</sub> dues à la consommation finale d'énergie par secteur d'activités en TCO <sub>2</sub> /Tep (2010-2023)	112
Figure 4.19 : Evolution des émissions de CO <sub>2</sub> par type d'énergie consommé dans le secteur ménages et autres en TCO <sub>2</sub> /Tep (2010 – 2023)	113
Figure 4.20 : Evolution des émissions de CO <sub>2</sub> dues à la consommation d'énergie dans le secteur ménages autres par sous-secteur en TCO <sub>2</sub> /Tep (2010 – 2023)	114
Figure 4.21 : Evolution des émissions de CO <sub>2</sub> par type d'énergie consommé dans le secteur tertiaire en TCO <sub>2</sub> /tep (2010-2023)	116
Figure 5.1: Schéma méthodologique du chapitre	122
Figure 5.2. : limites et localisation de la wilaya de Constantine	124
Figure 5.3 : localisation de la ville de Constantine	125
Figure 5.4 : localisation de la nouvelle ville Ali Mendjeli	126
Figure 5.5 : Dairas et communes de la wilaya de Constantine	128
Figure 5.6: Relief de Constantine	129
Figure 5.7: Zonage thermique hiver de l'Algérie	130
Figure 5.8: Zonage thermique été de l'Algérie	130
Figure 5.9 : Précipitations par commune dans la wilaya de Constantine	131

Figure 5.10 : Facteurs climatiques mensuels moyens à Constantine	132
Figure 5.11 : Evolution de la population dans la zone d'étude (2010 – 2023)	133
Figure 5.12 : Schéma organisationnel du réseau de distribution à Constantine	136
Figure 5.13 : Evolution de la consommation finale du secteur résidentiel dans la zone d'étude	141
Figure 5.14 : Evolution de la consommation par type d'énergie dans la ville de Constantine en ktep (2010 – 2023)	142
Figure 5.15 : Evolution de la consommation par type d'énergie dans la nouvelle ville d'Ali Mendjeli en ktep (2010 – 2023)	143
Figure 5.16 : Evolution des émissions de CO <sub>2</sub> du secteur résidentiel dans le cas d'étude en TCO <sub>2</sub> /tep (2010 – 2023)	144
Figure 5.17 : Unités de traitement/gestion des déchets dans la wilaya de Constantine	149
Figure 5.19 : Evolution de la quantité des DMA dans la zone d'étude	150
Figure 5.20 : Evolution de la composition des DMA dans la wilaya de Constantine	153
Figure 5.21 : Evolution de la fraction organique des DMA en Algérie et à Constantine (2010-2023)	155
Figure 6.1 : Méthodologie expérimentale suivie dans le chapitre	163
Figure 6.2: Evolution de la composition des déchets en Algérie (2010 – 2018)	164
Figure 6.3 : type de traitement des déchets en Algérie	165
Figure 6.4 : compost utilisé dans la fabrication du béton	166
Figure 6.5 : Mise en place d'un tas de compost	167
Figure 6.6 : Mesure de la température dans le tas de compost	169
Figure 6.7: Evolution hebdomadaire de la température et du pH du compost	170
Figure 6.8: Evolution hebdomadaire de la perte de masse du compost	171
Figure 6.9 : Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité	175
Figure 6.10 : répartition de la consommation du secteur de l'industrie par branche	175
Figure 6.11 : ciment utilisé dans les mélanges étudiés	178

Figure 6.12 : Granulats fins et grossiers utilisées dans les mélanges étudiés.	178
Figure 6.13 : Malaxeur de laboratoire	180
Figure 6.14 : Eprouvettes de différentes dimensions	181
Figure 6.15 : tamiseuse électrique	182
Figure 6.16 : étapes de mesure de la masse volumique du sable	182
Figure 6.17 : mesure de la masse volumique des mélanges du béton	183
Figure 6.18 : Etapes de mesure de la porosité ouverte	184
Figure 6.19 : Les différents essais mécaniques réalisés	185
Figure 6.20 : Préparation et caractérisation thermiques des échantillons	185
Figure 6.21: Courbes granulométriques des granulats étudiés	186
Figure 6.22: Résultats d'essai d'affaissement des mélanges étudiés	188
Figure 6.23 : Résultats d'Essais d'affaissement pour les mélanges étudiés	189
Figure 6.24 : Evolution de la résistance à la compression et la conductivité thermique des mélanges étudiés	192
Figure 7.1 : vue aérienne des appartements étudiés	199
Figure 7.2 : Représentation architecturale de l'appartement 1	201
Figure 7.3 : Répartition de la consommation énergétique par source	208
Figure 7.4 : Evolution de la consommation totale d'énergie (en MWh) des deux appartements (2020-2024)	208
Figure 7.5 : Evolution de la consommation d'électricité (en MWh) des deux appartements (2020-2024)	209
Figure 7.6 : Evolution de la consommation de gaz (en MWh) des deux appartements (2020-2024)	210
Figure 7.7 : Evolution des émissions de CO <sub>2</sub> (en TCO <sub>2</sub> /kWh) des deux appartements (2020-2024)	211
Figure 7.8 : Ecart relatifs entre consommations réelles et théoriques par type d'énergie (en %)	217
Figure 7.9 : Structuration de CT BAT	219
Figure 7.10 : interface CT BAT de description des parois vitrées	223
Figure 7.11 : Amélioration de la résistance thermique des toitures dans les quatre scénarios proposés (en %)	228

Figure 7.12 : réduction des coefficients d'échange K selon les scénarios proposés (en %)	229
Figure 7.13 : Réduction des Puissances de chauffage et de climatisation à installer	230

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau</b>	<b>Page</b>
Tableau 3.1 : part des énergies renouvelables dans la consommation intérieure brute d'énergie	52
Tableau 3.2 : Institutions contribuant à la mise en œuvre de la politique de la maîtrise de l'énergie	57
Tableau 3.3: Exemples de projets intégrés dans le programme « EE-Building »	61
Tableau 3.4 : Intersection des objectifs du développement durable avec les piliers de la transition énergétique	66
Tableau 3.5 : modifications apportées par la loi n° 25-02	68
Tableau 3.6 : Structures d'appui du MEER pour la gestion des déchets	72
Tableau 3.7 : Bilan du PROGDEM	76
Tableau 3.8 : Tableaux comparatifs des 4 scenarios de la SNGID 2035	79
Tableau 4.1 : Evolution nationale du parc de logement et raccordement à l'énergie (2010-2023)	94
Tableau 4.2 : Facteur d'émission de CO <sub>2</sub> par type d'énergie	109
Tableau 5.1 : Circonscription administrative de la wilaya de Constantine	127
Tableau 5.2 : Organisation administrative de la wilaya de Constantine	127
Tableau 5.3 : Evolution locale du parc de logements (2010 – 2023)	134
Tableau 5.4 : Caractéristiques du réseau de distribution d'énergie en Algérie	137
Tableau 5.5 : Evolution du nombre d'abonnés au gaz et à l'électricité à Constantine (2010 – 2023)	137
Tableau 5.6 : Evolution du taux de raccordement au gaz et à l'électricité à Constantine (2010 – 2023)	139
Tableau 5.7 : Evolution des ventes d'énergie à Constantine (2010 – 2023)	140
Tableau 5.8 : Liste des EPIC chargés de la Collecte et transport des déchets par commune	145
Tableau 6.1 : Bilan de la perte de masse et de la production du compost	171
Tableau 6.2 : caractéristiques physiques et chimiques du compost	173
Tableau 6.3 : Composition des substrats d'essai	173
Tableau 6.4 : le taux de germination de différents substrats	174

Tableau 6.5 : mélanges des bétons étudiés	177
Tableau 6.6 : Composition chimique du clinker	178
Tableau 6.7: Composition chimique de l'eau	179
Tableau 6.8 : Composition des bétons expérimentés	180
Tableau 6.9 : Masse volumique des échantillons étudiés	187
Tableau 6.10 : La porosité des mélanges étudiés	188
Tableau 6.11: Résistance à la compression des bétons étudiés	190
Tableau 6.12: Résultats d'essai de traction par flexion des mélanges étudiés	191
Tableau 6.13 : Conductivité thermique des différents mélanges étudiés	191
Tableau 6.14 : Quantités des déchets organiques évitées à l'enfouissement	194
Tableau 6.15 : Quantités de sable préservé par l'utilisation du compost dans le béton	194
Tableau 7.1 : Données géographiques et climatiques des zones d'étude	203
Tableau 7.2 : Conditions extérieures de base des zones d'étude	204
Tableau 7.3 : Conditions intérieures de base des zones d'étude	204
Tableau 7.4 : Données dimensionnelles des appartements (Aprt 1 et Aprt 2)	205
Tableau 7.5 : Surfaces des enveloppes et leurs orientations	205
Tableau 7.6 : paramètres géométriques des fenêtres	206
Tableau 7.7 : Estimation de la consommation annuelle du chauffage	212
Tableau 7.8 : Consommation d'eau chaude et besoins utiles d'énergie	213
Tableau 7.9 : Estimation de la consommation annuelle d'énergie pour la cuisson	214
Tableau 7.10 : Estimation de la consommation annuelle de la climatisation	214
Tableau 7.11 : Estimation de la consommation annuelle d'énergie liée à l'éclairage	215
Tableau 7.12 : Estimation de la consommation énergétique des équipements électroménagers	216
Tableau 7.13 : Consommation théorique annuelle (MWh/an)	217
Tableau 7.14 : Composition et coefficients K des toitures	221
Tableau 7.15 : Composition et coefficients K des murs opaques	222
Tableau 7.16 : Coefficients K des parois vitrées des deux logements	223

Tableau 7.17 : Synthèse des échanges thermiques en hiver	224
Tableau 7.18 : Synthèse des échanges thermiques en été	225
Tableau 7.19 : Scénarios d'intégration du béton contenant du compost dans les logements étudiés	2227
Tableau 7.20 : Vérification de la conformité DTR des enveloppes de base et de scénarios d'amélioration	231

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ADEME** : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie  
**AIE** : Agence internationale de l'énergie  
**AND** : Agence nationale des déchets  
**APO** : apports calorifiques à travers les parois opaques  
**Appt** : Appartement  
**APC** : Assemblée populaire communale  
**APRUE** : Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie  
**Aréf** : apports calorifiques de référence  
**AV** : apports calorifiques à travers les parois vitrées  
**CC** : béton-compost  
**CET** : Centre d'enfouissement technique  
**CNERIB** : Centre national d'études et de recherches intégrées du Bâtiment  
**CNTPP** : Centre national des technologies de production plus propre  
**DEW** : Direction de l'environnement de wilaya  
**DMA** : déchets ménagers et assimilés  
**Dréf** : déperditions de référence  
**D<sub>R</sub>** : déperditions thermiques par renouvellement d'air  
**D<sub>T</sub>** : déperditions thermiques par transmission  
**DTR** : Document technique Réglementaire  
**EC** : Economie circulaire  
**EPIC** : Etablissement public à caractère industriel et commercial  
**EPIC PROPCO** : Etablissement public à caractère industriel et commercial de la propreté de la commune de Constantine  
**EPIC PROPREC** : Etablissement public à caractère industriel et commercial de la propreté et de la santé publique de la wilaya de Constantine  
**EPWG-CET de Constantine** : Etablissement public de gestion des centres d'enfouissement techniques et de traitement des déchets de la wilaya de Constantine.  
**EVANAM** : Etablissement d'aménagement des villes de Ain Nehas et de Ali Mendjeli  
**FNME** : Fonds national pour la maîtrise de l'énergie  
**GES** : gaz à effet de serre  
**GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat  
**GPL** : gaz de pétrole liquéfié  
**K** : Coefficient de pertes thermiques  
**Ktep** : kilotonne équivalent pétrole  
**kWh** : kilowattheure  
**MATE** : ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement  
**ME** : ministère de l'énergie

**MEER** : ministère de l'environnement et des énergies renouvelables  
**MO** : Matière organique  
**MP** : Méga Pascal  
**MREE** : ministère des ressources en eau et de l'environnement  
**Mtep** : millions de tonnes équivalent pétrole  
**MWh** : Mégawattheure  
**NU** : Nations Unies  
**ODD** : Objectifs de développement durable  
**OMD** : Objectifs du millénaire pour le développement  
**PIB** : Produit intérieur Brut  
**PNAGDES** : Plan national de gestion des déchets spéciaux  
**PNME** : Programme national de maîtrise de l'énergie  
**PROGDEM** : Programme national de gestion des déchets solides municipaux  
**R** : Résistance thermique  
**RADP** : République Algérienne Démocratique et Populaire  
**SNE** : Stratégie nationale environnementale  
**SOPTE** : Société polyvalente des travaux et environnement  
**TCAM** : Taux de croissance annuel moyen  
**TEOM** : Taxe d'enlèvement des ordures ménagères  
**Tep** : tonne équivalent pétrole  
**TOL** : taux d'occupation par sol  
**TOP** : taux d'occupation par pièce

## Résumé

Face au double défi que représentent la surconsommation énergétique dans le secteur du bâtiment et la gestion de plus en plus problématique des déchets en Algérie, cette thèse explore comment la valorisation des déchets peut devenir un levier d'optimisation de la performance énergétique. L'objectif principal est de contribuer à cette amélioration par le développement et l'application de matériaux de construction intégrant des déchets organiques, spécifiquement le compost, dans une logique d'économie circulaire. Cette étude vise non seulement à réduire la consommation énergétique des habitations, mais aussi de créer des filières de valorisation durables, réduisant ainsi l'impact environnemental lié à l'enfouissement des déchets et à l'extraction de matières premières. Pour atteindre cet objectif, la recherche s'est basée sur une méthode combinant la recherche documentaire, l'investigation du terrain, l'expérimentale et la simulation. Cette dernière a permis de tester l'impact de ce matériau en conditions réelles, sur les performances énergétiques de logements situés à Constantine et Ali Mendjeli. Les résultats ont démontré une baisse significative de la conductivité thermique, proportionnelle à l'ajout du compost, tout en maintenant des résistances mécaniques suffisantes. Le mélange de béton contenant 10 % de compost, s'est révélé être le meilleur compromis. Cette approche permettrait ainsi de détourner jusqu'à 25 % des déchets organiques de l'enfouissement, tout en préservant des ressources naturelles comme le sable. Les simulations ont confirmé ces bénéfices, montrant une réduction notable des besoins énergétiques pour le chauffage et la climatisation lorsqu'on utilise ce matériau en toiture. Enfin, plusieurs perspectives sont envisagées concernant la durabilité de ce matériau, leur compétitivité économique, l'expérimentation d'autres types de déchets, et l'extension de cette méthodologie à d'autres villes algériennes.

**Mots clés :** performance énergétique, déchet organique, compost, matériau de construction, béton, bâtiment, ville de Constantine, nouvelle ville Ali Mendjeli.

## **Abstract**

Faced with the dual challenge of over-consumption of energy in the building sector and increasingly problematic waste management in Algeria, this thesis explores how waste recovery can become a lever for optimising energy performance. The main aim is to contribute to this improvement through the development and application of construction materials that incorporate organic waste, specifically compost, as part of a circular economy approach. This study aims not only to reduce the energy consumption of homes, but also to create sustainable recovery channels, thereby reducing the environmental impact of landfilling waste and extracting raw materials. To achieve this objective, the research was based on a method combining documentary research, field investigation, experimentation and simulation. The latter made it possible to test the impact of this material under real conditions, on the energy performance of housing located in Constantine and Ali Mendjeli. The results showed a significant reduction in thermal conductivity, proportional to the addition of compost, while maintaining sufficient mechanical strength. The concrete mix containing 10% compost proved to be the best compromise. This approach could divert up to 25% of organic waste from landfill, while preserving natural resources such as sand. Simulations have confirmed these benefits, showing a significant reduction in energy requirements for heating and cooling when using this material on roofs. Finally, several prospects are envisaged concerning the durability of this material, its economic competitiveness, experimentation with other types of waste, and the extension of this methodology to other Algerian cities.

**Key words:** energy performance, organic waste, compost, construction material, concrete, building, city of Constantine, new Ali Mendjeli town.

## ملخص

في مواجهة التحدي المزدوج المتمثل في الاستهلاك المفرط للطاقة في قطاع البناء والإدارة المتزايدة التعقيد للنفايات في الجزائر، تبحث هذه الأطروحة في كيفية تحويل تثمين النفايات إلى رافعة لتحسين الأداء الطاقوي. الهدف الرئيسي هو المساهمة في هذا التحسين من خلال تطوير وتطبيق مواد بناء تدمج النفايات العضوية، وتحديدًا السماد العضوي، ضمن منطق الاقتصاد الدائري. لا تهدف هذه الدراسة إلى تقليل استهلاك الطاقة في المساكن فحسب، بل تهدف أيضًا إلى إنشاء مسارات تثمين مستدامة، مما يقلل من الأثر البيئي المرتبط بتردم النفايات واستخراج المواد الخام.

لتحقيق هذا الهدف، اعتمد البحث على منهجية تجمع بين البحث الوثائقي، والتحقق الميداني، والتجريب، والمحاكاة. وقد مكنت هذه الأخيرة من اختبار تأثير هذه المادة في الظروف الحقيقية على الأداء الطاقوي للمساكن الواقعة في قسنطينة وعلي منجلي. أظهرت النتائج انخفاضًا كبيرًا في الموصلية الحرارية، يتناسب مع كمية السماد العضوي المضافة، مع الحفاظ على مقاومة ميكانيكية كافية. تبين أن خليط الخرسانة الذي يحتوي على 10% من السماد العضوي هو الحل الوسط الأفضل. ستمكّن هذه المقاربة من تحويل ما يصل إلى 25% من النفايات العضوية عن مسار الترميم، مع الحفاظ على الموارد الطبيعية مثل الرمل.

وأكدت عمليات المحاكاة هذه الفوائد، حيث أظهرت انخفاضًا ملحوظًا في احتياجات الطاقة للتدفئة والتبريد عند استخدام هذه المادة في الأسقف. أخيرًا، تم استشراف عدة آفاق مستقبلية تتعلق بمدى استدامة هذه المادة، وقدرتها التنافسية الاقتصادية، وتجربة أنواع أخرى من النفايات، وتوسيع نطاق هذه المنهجية لتشمل مدنًا جزائرية أخرى.

**الكلمات المفتاحية:** الأداء الطاقوي، نفايات عضوية، سماد عضوي، مادة بناء، خرسانة، بناء، مدينة قسنطينة، المدينة الجديدة علي منجلي.

**CHAPITRE I**  
**INTRODUCTIF**

## 1.1. Introduction

Au cours des dernières décennies, la croissance démographique, le développement économique et l'urbanisation rapide ont entraîné une des améliorations considérables du niveau de vie d'une grande partie de la population mondiale. Toutefois, une augmentation de la consommation de ressources matériellement intensive a été observée, conduisant au rejet de grandes quantités de déchets dans l'environnement (Singh et al., 2014).

La production mondiale des déchets solides municipaux est passée de 2,01 milliards de tonnes en 2020 à 2,13 milliards de tonnes en 2023. Cette quantité devrait passer à 3,8 milliards de tonnes en 2050. Ces déchets, inefficacement gérés, aggravent la triple crise planétaire : le changement climatique, la perte de biodiversité et la pollution (United Nations Environment Programme, 2024).

Le changement climatique, en particulier, est alimenté par les émissions de gaz à effet de serre (GES) issues de plusieurs sources liées à la gestion des déchets: transport, mise en décharge des déchets organiques, et incinération à l'air libre (United Nations Environment Programme, 2024).

L'Algérie est confrontée à une trajectoire similaire. Avec 46,7 millions d'habitants en 2023(ONS, 2024a) et un PIB de 336,38 trillions de DA (ONS, 2024b), le pays génère annuellement 13 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés (CNESE, 2024), auxquels s'ajoutent plusieurs milliers de tonnes de déchets spéciaux et de déchets d'activités de soins (AND, 2014) . Or, seule une faible fraction de ces déchets est recyclée (moins de 7%) ou valorisée, la majorité étant enfouis ou jetée dans les décharges non contrôlées, générant des émissions estimées à 10 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> (en 2022), soit 4,2% des émissions nationales (MEER, 2024). Les projections démographiques prévoient une aggravation de cette situation, avec une production estimée à 17,9 millions de tonnes d'ici 2035 (MEER, 2024).

Parallèlement à cette crise des déchets, l'Algérie a connu une expansion spectaculaire de son parc immobilier au cours de la dernière décennie, passant de 5,96 millions de logements en 2010 à 11,97 millions en 2023 (APRUE, 2013 ; APRUE, 2018). Cette croissance, réponse directe à une poussée démographique et à un taux d'urbanisation passé de 66 % à 75 % en treize ans (Perspective Monde, s. d.), a stimulé l'industrie des matériaux de construction, qui a largement bénéficié de cette dynamique. Le secteur a enregistré une croissance de

consommation énergétique exceptionnelle de 70% sur la même période (ME, 2011 ; ME, 2023).

Cette construction rapide génère cependant un impact environnemental considérable à double niveau. D'une part, elle entraîne une consommation excessive de matières premières et d'énergie pour la production des matériaux (Sénit, 2008). D'autre part, la non-application de la réglementation thermique, a conduit à la livraison de bâtiments peu performants sur le plan énergétique, obligeant les habitants à surconsommer de l'énergie pour le chauffage et la climatisation afin d'atteindre un confort thermique acceptable.

Les conséquences de cette situation sont alarmantes : le secteur du bâtiment est aujourd'hui responsable de 46 % de la consommation d'énergie finale en Algérie, soit près de la moitié du total national (ME, 2023). Cette situation ne se limite pas au seul cadre énergétique. Sur le plan économique, la forte augmentation des besoins internes en énergie a entraîné une chute des volumes disponibles pour l'exportation, réduisant ainsi une source de devises essentielle pour le pays. Sur le plan environnemental, cette utilisation excessive de l'énergie conduit inévitablement à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (Park & Kim, 2017), aggravant ainsi l'empreinte carbone de l'Algérie.

Consciente de l'interdépendance des enjeux environnementaux, économiques et sociaux, l'Algérie a affirmé son engagement en faveur du développement durable par la ratification de nombreuses conventions internationales relatives à la protection de l'environnement, dont la plus récente est celle de l'accord de Paris sur les changements climatiques (RADP, 2016). Dans ce cadre, le pays a adopté un ensemble de stratégies nationales visant à concilier développement économique et préservation des ressources naturelles. Parmi celles-ci figure la Stratégie Nationale de la Gestion des Déchets (SNGID) à l'horizon 2035, qui vise à promouvoir une économie circulaire axée sur la valorisation des déchets. Cette stratégie, soutenue par l'Union Européenne, prévoit le développement des filières de tri, de recyclage, et de récupération des matières et de l'énergie (Services du Premier Ministre, 2021). Simultanément, le plan de transition énergétique à l'horizon 2030 ambitionne d'économiser 63 millions de tonnes équivalent pétrole (tep) et d'éviter les émissions de 193 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par des mesures d'efficacité énergétique dans différents secteurs (bâtiment, industrie et transport) (ME, s. d.).

## 1.2. Problématique et question de recherche

Dans ce contexte de surconsommation énergétique dans les bâtiments et de surcharge croissante de la gestion des déchets, il devient stratégique de rechercher des solutions intégrées, durable et à double impact. L'utilisation de certains déchets dans les matériaux de construction, en particulier à des fins d'amélioration des performances thermiques apparaît comme une approche innovante et prometteuse. Cette démarche permettait non seulement de réduire l'empreinte énergétique du secteur du bâtiment, mais aussi de valoriser des déchets localement disponibles, contribuant ainsi à la transition vers une économie circulaire et à faible émission de carbone. Elle s'inscrit parfaitement dans les objectifs nationaux d'efficacité énergétique et de gestion durable des déchets.

Dans cette perspective, toutes les villes algériennes pourraient constituer des terrains d'application pertinents pour cette recherche, étant donné les défis communs qu'elles rencontrent en matière de consommation énergétique et de gestion des déchets. Cependant, pour la mise en œuvre concrète de cette étude, il a été décidé de concentrer notre travail sur deux sites complémentaires : la ville de Constantine et la Nouvelle-Ville Ali Mendjeli.

Ce choix repose sur les contrastes marqués entre ces deux territoires. La ville de Constantine, centre urbain ancien et stabilisé, se caractérise par une stagnation démographique, une croissance urbaine limitée et une forte densité bâtie, principalement en raison du manque de foncier disponible. Elle constitue ainsi un cadre idéal pour étudier les enjeux de performance énergétique dans un tissu urbain existant, où les marges d'action portent essentiellement sur la rénovation thermique du bâti.

À l'inverse, la nouvelle ville Ali Mendjeli en pleine expansion démographique et urbanistique est dominée par des constructions neuves, récentes, mais majoritairement standardisées et peu performantes sur le plan énergétique. Elle constitue ainsi un terrain pertinent pour observer les effets d'une mauvaise prise en compte de l'isolation thermique dès la phase construction et les besoins en amélioration ultérieure.

Cette double approche territoriale permettra d'aborder la problématique de la performance énergétique du bâtiment dans des situations complémentaires : la réhabilitation du bâti ancien d'un côté, et l'optimisation de constructions récentes peu performantes de l'autre, en s'inscrivant dans une logique de valorisation de déchets dans les matériaux à finalité isolante.

Cette problématique soulève plusieurs interrogations auxquelles cette recherche tentera de répondre, notamment :

« Dans quelle mesure l'incorporation de déchets valorisés dans les matériaux de construction peut-elle constituer un levier d'optimisation de la performance énergétique des bâtiments en Algérie ? En quoi cette approche fondée sur l'économie circulaire, peut-elle contribuer à la résolution des problématiques de gestion des déchets dans le contexte algérien? Dans quelle mesure cette stratégie d'intégration de déchets dans le secteur du bâtiment s'inscrit-elle dans la réalisation des Objectifs de Développement Durable (ODD) en Algérie? »

Ces interrogations s'inscrivent dans une approche systémique, croisant les enjeux de la transition énergétique, de la gestion durable des déchets et de la performance environnementale du secteur du bâtiment. Elle guidera la présente recherche, qui vise à évaluer le potentiel de matériaux alternatifs à base de déchets pour réduire la consommation énergétique des logements, tout en participant à l'engagement de l'Algérie en matière de réduction des émissions de GES.

### **1.3. Hypothèses**

Afin de répondre à ces interrogations, les hypothèses suivantes peuvent être adoptées :

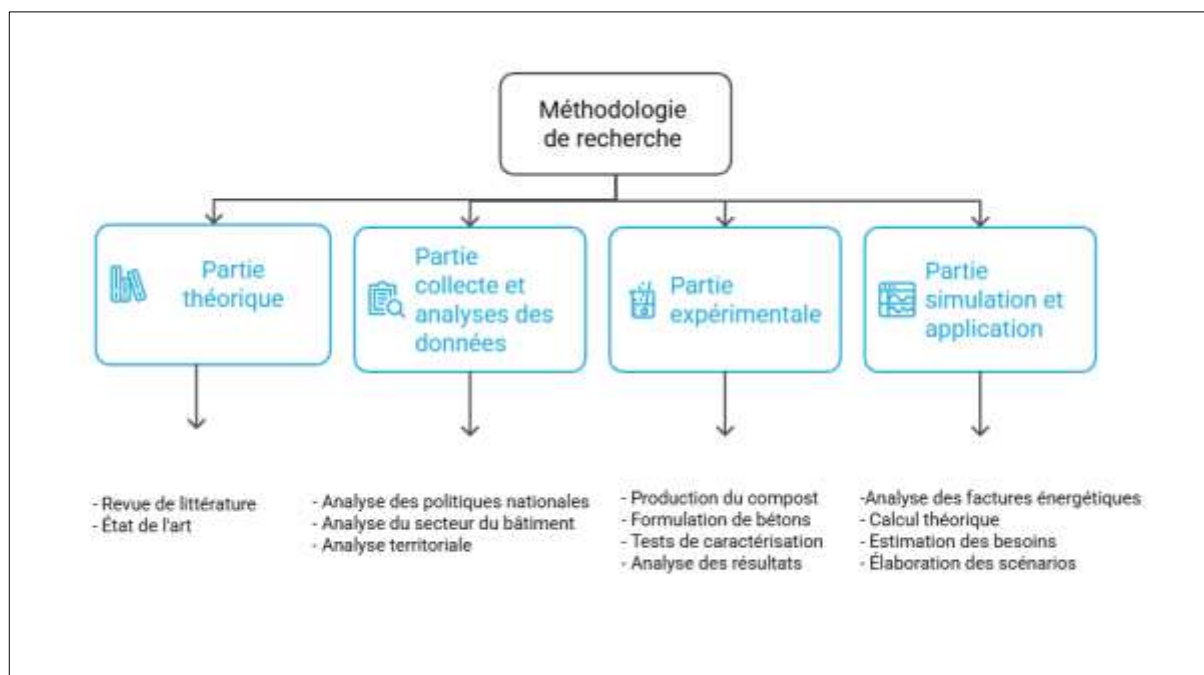
- L'intégration des déchets dans les matériaux de construction permet d'obtenir un matériau aux propriétés thermiques améliorées, tout en conservant des performances mécaniques acceptables pour certaines applications dans le bâtiment.
- La valorisation de la fraction organique des déchets dans les matériaux de construction constitue une alternative réaliste et durable aux méthodes classiques de traitement (enfouissement, incinération).
- L'approche combinée d'efficacité énergétique et de valorisation des déchets est cohérente avec les orientations stratégiques du développement durable en Algérie, et peut contribuer à une réduction significative des besoins énergétiques pour le chauffage et la climatisation, et par conséquent de réduction des GES.

## 1.4. Objectifs de recherche

L'objectif principal de cette thèse est de contribuer à l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments à travers le développement et l'application de matériaux de construction intégrant des déchets organiques, en particulier le compost, dans une logique d'économie circulaire. Cette démarche vise également à créer de nouvelles filières de valorisation des déchets, favorisant ainsi une gestion plus durable des ressources et une réduction des impacts environnementaux.

## 1.5. Méthodologie de recherche

Afin de valider les hypothèses et de répondre aux questions de recherche, nous avons adopté une approche méthodologique fondée sur l'articulation de plusieurs parties complémentaires : théorique, analytique, expérimental et numérique (figure 1.1).



**Figures 1.1 : Méthodologie de recherche**

Source : auteur 2025

### 1.5.1. Partie théorique

Cette première partie est consacrée à l'acquisition des connaissances théoriques nécessaires à la compréhension et l'encadrement scientifique de notre thématique de recherche. Elle se divise en deux sections complémentaires : la première présente une revue de littérature portant à la fois sur les concepts clés (performance énergétique, bâtiment, déchets)

et sur les notions associées telles que l'efficacité énergétique, l'économie circulaire et la valorisation des déchets et les émissions de gaz à effet de serre; la seconde propose un état de l'art sur l'utilisation des déchets dans les matériaux de construction, en mettant en évidence les types des déchets utilisés, les matériaux concernés, ainsi que les propriétés améliorées. La réalisation de cette partie théorique s'est appuyée sur une démarche rigoureuse de recherche documentaire. Elle a consisté en une exploration de la littérature scientifique existante, incluant des articles publiés dans des revues spécialisées, des ouvrages académiques, de thèses de doctorat, des textes réglementaires ainsi que des rapports scientifiques et institutionnels.

### **1.5.2. Partie collecte et analyses des données**

Cette section débute par une analyse des politiques nationales, notamment la stratégie de transition énergétique et celle de gestion des déchets. Cette lecture critique est menée dans une perspective de développement durable, afin d'identifier les articulations entre ces deux politiques et d'évaluer leur intégration.

Dans un second temps, l'analyse se concentre sur le secteur du bâtiment, considéré comme l'un des principaux consommateurs d'énergie en Algérie. A travers l'exploitation des données issues des bilans énergétiques publiés par le ministère de l'énergie, ce travail examine le poids de ce secteur, en mettant en évidence ses contributions à la consommation énergétique nationale et aux émissions de gaz à effet de serre. L'objectif est de souligner la nécessité d'une action ciblée dans ce secteur en matière d'efficacité énergétique.

Enfin une analyse territoriale est menée sur les terrains d'étude retenus, à savoir la ville de Constantine et la nouvelle ville d'Ali Mendjeli. Cette analyse repose sur la collecte et le traitement des données locales relatives à la consommation énergétique et à la gestion des déchets. Elle permet de contextualiser les enjeux à l'échelle locale et mieux comprendre les dynamiques spécifiques susceptibles d'influencer la performance énergétique du bâti et les pratiques de valorisation des déchets.

### **1.5.3. Partie expérimentale**

Cette troisième partie est dédiée à l'étude expérimentale portant sur l'incorporation de déchets organiques (compost) dans le béton en tant que matériau de construction alternatif. Les étapes sont les suivantes :

- Production du compost à partir des déchets biodégradables.
- Formulation de bétons avec différents pourcentages d'incorporation de compost.
- Réalisation de tests de caractérisation pour déterminer : les propriétés mécaniques, physiques et thermique
- Analyse des résultats en vue d'un compromis entre les performances mécaniques et thermiques afin de déterminer la formulation optimale.

L'objectif est de démontrer la faisabilité technique de ce matériau, ainsi que son potentiel en matière de performance thermique et de réduction de l'impact environnemental.

### **1.5.4. Partie simulation et application**

Enfin, une dernière partie a consisté en l'évaluation pratique de l'impact du béton modifié par le compost sur la performance énergétique réelle des logements. Deux logements représentatifs du terrain d'étude ont été sélectionnés. Les étapes réalisées sont :

- Analyse des factures énergétiques des logements choisis,
- Calcul théorique de la consommation énergétique sur la base d'inventaire des équipements installés,
- Estimation des besoins en chauffage et en climatisation à l'aide de l'outil numérique CT BAT,
- Elaboration des scénarios d'amélioration et quantification des économies potentielles.

Cette étape vise à valider l'intérêt de la solution proposée en conditions réelles, à travers une approche basée sur les scénarios d'amélioration énergétique.

### **1.6. Structure de la thèse**

La thèse se structure en six chapitres distincts, organisés selon une démarche progressive, débutant par un état des connaissances. Le **premier chapitre** établit le cadre théorique de la recherche à travers une revue de la littérature consacrée à l'intégration des déchets dans les matériaux de construction. Il y est précisé un certain nombre de concepts fondamentaux, tels que la notion de déchet, les modalités de leur valorisation, ainsi que les principes de

l'économie circulaire. Ce chapitre identifie les principaux types de déchets susceptibles d'être valorisés, ainsi que les matériaux de construction dans lesquels ils peuvent être incorporés, en mettant en lumière les améliorations potentielles de leurs propriétés.

**Le deuxième chapitre** analyse les initiatives algériennes en matière de développement durable à travers l'examen de deux axes stratégiques majeurs : la transition énergétique et la gestion intégrée des déchets. La première section procède à une évaluation des mécanismes d'opérationnalisation de ces politiques publiques, en scrutant successivement les dispositifs réglementaires, les structures institutionnelles, les modalités opérationnelles et les instruments de financement déployés. La seconde section établit une analyse comparative entre les finalités poursuivies par ces politiques sectorielles et les Objectifs de Développement Durable (ODD), puis développe une approche transversale visant à appréhender leur articulation synergique au regard des défis environnementaux contemporains.

**Le troisième chapitre** développe une analyse détaillée des profils de consommation énergétique en Algérie. L'approche méthodologique retenue s'articule autour d'une démarche analytique séquentielle, procédant d'une évaluation macroéconomique de la demande énergétique nationale vers un examen sectoriel de la consommation finale. Cette stratégie d'investigation permet de caractériser le secteur du bâtiment comme étant à la fois le principal consommateur d'énergie et le contributeur majeur aux émissions de gaz à effet de serre, établissant ainsi la pertinence scientifique de sa sélection en tant qu'objet d'étude privilégié dans le cadre de cette recherche.

**Le quatrième chapitre** procède à la caractérisation des territoires d'étude, à savoir la ville de Constantine et la nouvelle ville Ali Mendjeli, en les inscrivant dans le contexte territorial de la wilaya de Constantine. Cette analyse territoriale s'articule autour d'une approche géographique, climatologique et démographique, variables fondamentales conditionnant tant les besoins énergétiques que les caractéristiques du gisement de déchets.

L'examen se poursuit par une analyse sectorielle de l'énergie au niveau de la wilaya, intégrant l'étude des infrastructures de distribution ainsi que l'évaluation des patterns de consommation énergétique. Subséquemment, une investigation approfondie du système de gestion des déchets dans les zones d'étude est menée. Cette analyse systémique examine les parties prenantes impliquées, l'évolution temporelle des volumes de déchets générés ainsi que

leur caractérisation compositionnelle. Une attention particulière est accordée à la fraction organique, compte tenu de sa prépondérance quantitative et de ses implications environnementales, dans la perspective d'évaluer son potentiel de valorisation matière dans le secteur de la construction.

**Le cinquième chapitre** explore l'impact de l'incorporation du compost, à différentes teneurs, sur les propriétés physiques, mécaniques et thermiques du béton. Il commence par la présentation du processus de compostage qui a permis d'obtenir le compost intégré aux bétons. Ensuite, il détaille la méthodologie de fabrication des bétons ainsi que les divers essais effectués pour caractériser leurs propriétés. Une analyse comparative des résultats obtenus permet de rechercher et d'identifier le mélange offrant le meilleur compromis entre les performances mécaniques et thermiques.

Enfin, **le sixième chapitre** applique les résultats expérimentaux à deux logements types situés dans le terrain d'étude. Il vise à quantifier l'impact de l'utilisation du béton à base de compost, sur la réduction de la consommation d'énergie et des émissions GES. L'analyse repose sur plusieurs niveaux :

- Etude des factures énergétiques pour identifier les profils réels de consommation.
- Estimation de la consommation théorique à partir de l'inventaire des équipements, des usages et des caractéristiques des logements ;
- Evaluation des besoins énergétiques par des bilans thermiques (chauffage et climatisation) pour juger de la performance énergétique des logements.

Enfin, des scénarios d'amélioration intégrant le béton optimisé sont proposés, accompagnés d'une estimation des gains énergétiques et environnementaux, permettant d'évaluer l'efficacité des matériaux dans une optique d'habitat durable.

Enfin, pour ne pas alourdir le contenu de la thèse, certaines informations ont été regroupées dans une partie annexe.

### 1.7. Contraintes de la recherche

La réalisation de cette recherche s'est heurtée à plusieurs contraintes, notamment :

- Difficultés d'accès aux données institutionnelles : l'une des principales limites rencontrées concerne l'accès aux données de consommation énergétique au niveau local. Malgré les démarches entreprises, l'obtention d'informations détaillées et fiables auprès des institutions concernées, notamment Sonelgaz, s'est révélée difficile. En conséquence, l'analyse énergétique de notre terrain d'étude s'est appuyée sur des méthodes d'estimation indirectes, principalement basées sur des interpolations à partir des données disponibles.
- Contraintes techniques liées aux essais en laboratoire : la réalisation des essais expérimentaux a constitué un obstacle majeur. Les différents essais requis pour cette recherche n'étant pas disponibles au sein d'une seule structure de recherche, leur organisation a été rendue plus complexe. A cela se sont ajoutées des contraintes administratives qui ont entraîné un allongement des délais et une limitation de nombre d'essais, y compris pour des tests relativement simples.
- Limites liées à la caractérisation thermique : l'indisponibilité des dispositifs de mesure thermique a freiné de réaliser l'idée initiale de cette recherche, à savoir l'élaboration d'un matériau isolant à base des déchets.

**CHAPITRE II :**

**CADRE THEORIQUE ET ETAT DE L'ART**

**SUR LA VALORISATION DES DECHETS**

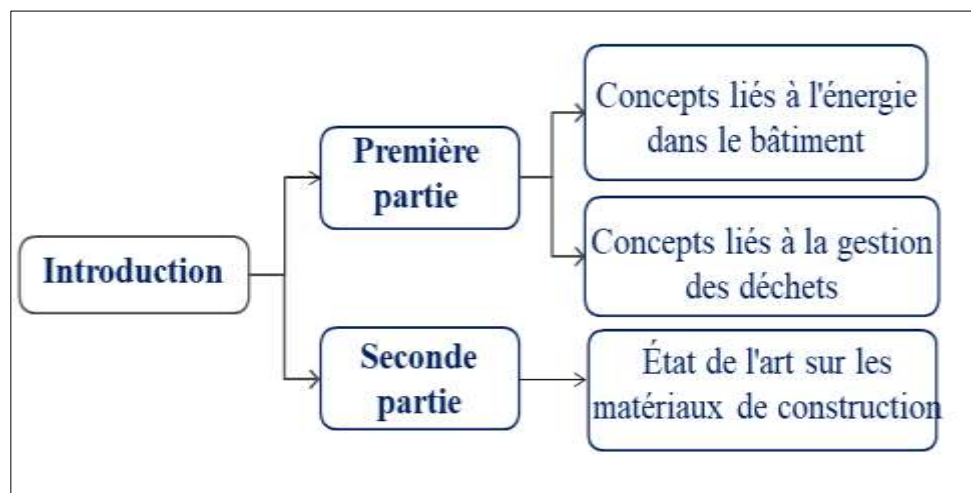
**DANS LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION**

## Introduction

Dans le cadre de cette recherche, il s'avère nécessaire d'établir les fondements théoriques et techniques qui permettront de comprendre les enjeux de cette étude. Ces enjeux concernent, d'une part, la performance énergétique dans le bâtiment et, d'autre part, la valorisation des déchets dans les matériaux de construction. Le présent chapitre se structure en deux grandes parties complémentaires.

La première partie de cette étude se consacre à la clarification des concepts clés mobilisés tout au long de la recherche. Dans un premier temps, une synthèse des concepts essentiels en matière d'énergie dans le secteur du bâtiment est proposée. Cette revue inclut des thématiques telles que la performance énergétique, les exigences énergétiques des logements et les principes directeurs de l'efficacité énergétique. Dans la continuité de cette section, nous proposons une définition des concepts liés à la gestion des déchets. Nous mettrons l'accent sur la notion de déchets, la valorisation matière et énergétique, ainsi que sur les principes de l'économie circulaire.

La seconde partie de cette étude présente un état de l'art sur l'intégration des déchets dans les matériaux de construction. Cette synthèse non exhaustive des recherches menées sur les principaux matériaux de construction intégrant des déchets, notamment le ciment, le béton et les briques, vise à situer notre propre contribution dans le champ de la recherche actuelle. La structure du chapitre est illustrée à travers la figure 2.1.



**Figure 2.1 : Structure du chapitre**

Source : auteur 2025

## 2.1. Concepts clés liés à l'énergie dans le bâtiment

### 2.1.1. Notion du confort

**Le confort thermique** peut être défini comme l'état de satisfaction de l'organisme par rapport aux conditions thermiques de son environnement. Il se distingue par les six éléments suivants :

- La production de chaleur interne liée au métabolisme de base du corps au repos, ainsi qu'un métabolisme additionnel dû à l'activité physique.
- L'habillement en tant que résistance thermique lors des échanges de chaleur entre la peau et l'air environnant.
- La température de l'air ambiant.
- La température moyenne des parois.
- L'humidité relative de l'air, rapportant la quantité d'eau contenue dans l'air à sa capacité maximale à cette température.
- La vitesse de l'air influençant les transferts de chaleur par convection, généralement inférieure à 0,2 m/s dans les bâtiments. (Jedidi & Benjeddou, 2016)

### 2.1.2. Besoins en énergie dans un bâtiment

Il est essentiel, lorsqu'on évoque les consommations d'énergie, de préciser clairement ce qui est mesuré : l'énergie primaire, secondaire, finale ou utile (figure 2.2).

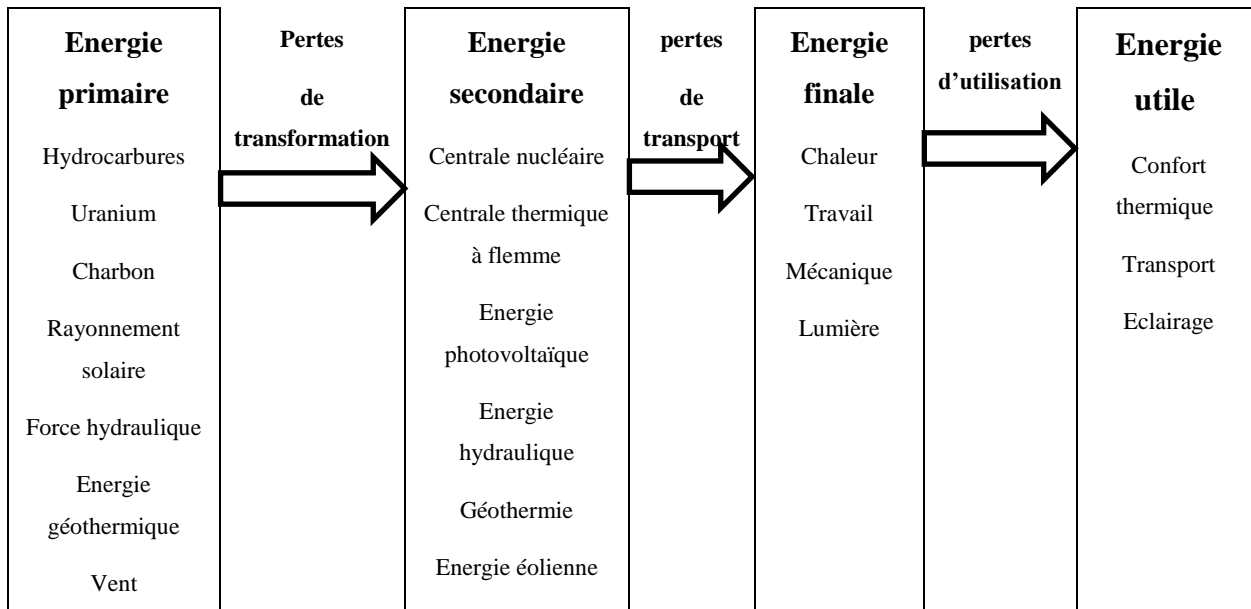
**a. L'énergie primaire** correspond à l'énergie brute non transformée, incluant l'énergie effectivement livrée ainsi que les pertes liées à l'extraction, au transport et à la transformation (ex : pétrole brut).

**b. L'énergie secondaire** est l'énergie obtenue après transformation de l'énergie primaire (ex. : électricité produite en centrale thermique), avec des pertes inévitables.

**c. L'énergie finale** est celle livrée au point d'usage, après distribution. Elle intègre les pertes sur les réseaux (électricité, chaleur, gaz)

**d. L'énergie utile** est l'énergie réellement exploitée par l'utilisateur après conversion finale par un équipement (ex. : chaleur d'un radiateur, lumière d'une lampe) (Beddiar &

Imbault, 2017).



**Figure 2.2 : Les différentes formes d'énergie**  
Source : (Pellegris, 2020), (Bertucci, 2010) + synthèse d'auteur

### 2.1.3. Les différentes formes d'énergie consommées par les bâtiments

Le bâtiment consomme différentes formes d'énergie tout au long de son cycle de vie. Ces consommations peuvent être classées en deux grandes catégories (Munch, 2016) :

#### a. Consommation directe :

Elle correspond à l'énergie finale consommée pendant la phase d'utilisation du bâtiment. Elle se divise en types d'usage (Munch, 2016):

- Les usages liés au confort et aux services généraux (éclairage, chauffage, eau chaude sanitaire, le refroidissement, ...)
- Les usages techniques liés à l'activité hébergée dans le bâtiment et non au bâtiment lui-même (ex. : serveurs informatiques dans les bureaux).

#### b. Consommation indirecte

Cette consommation correspond à :

- **L'énergie grise** dans un bâtiment englobe l'énergie totale consommée, à l'exclusion de la consommation d'usage, comme le chauffage et l'éclairage, et la consommation

spécifique, comme celle des serveurs informatiques. Elle représente donc l'énergie primaire générée par le processus de construction, d'entretien et d'élimination/fin de vie du bâtiment.

- **L'énergie de transport** fait référence à la consommation d'énergie associée aux activités de transport menées par les individus au sein d'un bâtiment (Munch, 2016).

#### **2.1.4. Performance énergétique du bâtiment**

D'un point de vue général, la performance énergétique correspond à « l'efficacité avec laquelle une activité, un processus, un système ou un appareil utilise l'énergie pour accomplir son objectif avec le minimum de gaspillage d'énergie » (Stoecklin, 2025).

Pour le bâtiment, elle fait référence à « la quantité d'énergie calculée ou mesurée nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques liés à une utilisation normale du bâtiment, ce qui inclut l'énergie utilisée pour le chauffage, le système de refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage;» (UE, 2024).

Cette performance s'évalue à travers plusieurs critères, notamment la consommation énergétique globale du bâtiment, l'efficacité des systèmes techniques (chauffage, ventilation, climatisation, éclairage), ainsi que la qualité de l'isolation thermique de de l'enveloppe du bâti (Stoecklin, 2025).

#### **2.1.5. Efficacité énergétique**

L'efficacité énergétique représente « le rapport entre les résultats, le service, le bien ou l'énergie que l'on obtient et l'énergie consacrée à cet effet » (UE, 2023). Elle se définit également comme la capacité à réduire la consommation d'énergie tout en maintenant un niveau de service équivalent (AIE, 2019).

#### **2.1.6. Relation entre efficacité énergétique et performance énergétique**

L'efficacité énergétique (exprimée en pourcentage) correspond au rapport entre l'énergie utile produite et l'énergie totale consommée. En revanche, la performance énergétique évalue la capacité d'un système à utiliser l'énergie de manière optimale, en atteignant les objectifs fixés avec un minimum de pertes. Elle se mesure à travers différents indicateurs de performance, parmi lesquels figure l'efficacité énergétique (Stoecklin, 2025).

## **2.2. Concepts liée à la gestion des déchets**

### **2.2.1. Déchets :**

#### **a. Définition selon la législation algérienne**

La notion de déchet est définie dans le cadre juridique algérien par la loi n° 25-02 du 20 février 2025 modifiant et complétant la loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Selon cette loi, un déchet est « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer » (RADP, 2025).

#### **b. Classification des déchets**

La loi n° 25-02 du 20 février 2025 modifiant et complétant la loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion établit également une classification des déchets en fonction de leur origine. Elle distingue notamment :

- Les déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux : « tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes »
- Les déchets ménagers et assimilés : « tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers. »
- Les déchets inertes : « tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement » (RADP, 2025) .

### 2.2.2. Valorisation des déchets

La valorisation des déchets se définit conformément à la loi n° 25-02 comme « toutes opérations de réemploi, de réparation, de réutilisation ou de la préparation en vue de la réutilisation, de recyclage ou de compostage et/ou par méthanisation des déchets ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie » (RADP, 2025).

La loi distingue deux grandes formes de valorisation :

**a. La valorisation matière**, qui regroupe les procédés visant à récupérer la matière contenue dans les déchets pour la réintroduire dans un cycle de production. Cela inclut le réemploi, la réparation, la réutilisation, le recyclage, ainsi que le compostage et la méthanisation pour les déchets organiques.

**b. La valorisation énergétique**, qui désigne toute opération consistant à exploiter le pouvoir calorifique des déchets par combustion, afin de produire de la chaleur ou de l'électricité.

### 2.2.3. Economie circulaire :

#### a. Contexte et définitions :

Dans un contexte caractérisé par la rareté des ressources et la dégradation de l'environnement, un nouveau modèle de développement, centré sur les préoccupations environnementales, émerge, il s'agit de : l'économie circulaire (EC). L'économie circulaire, en tant que système économique alternatif, se présente comme une approche plus respectueuse de l'environnement. À l'inverse du modèle économique linéaire, qui repose sur la notion d'une planète abondante en ressources naturelles, l'économie circulaire s'inscrit dans une perspective de gestion durable des ressources et de réduction de l'impact environnemental (Fernandez et al., 2014). Ce nouveau modèle économique, qui s'inscrit en rupture avec l'économie linéaire, a reçu l'aval de l'opinion publique. Il est désormais intégré dans les politiques publiques et les stratégies de transition socio-écologique et énergétique de divers pays (Niang et al., 2020).

La définition la plus couramment utilisée de l'économie circulaire est celle proposée par la Fondation Ellen McArthur, qui la définit comme « un système dans lequel les matériaux ne deviennent jamais des déchets et la nature se régénère. Dans une économie circulaire, les

produits et les matériaux sont maintenus en circulation grâce à des processus tels que l'entretien, la réutilisation, la remise à neuf, la refabrication, le recyclage et le compostage »

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), l'a défini comme un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus» (ADEME, 2014).

Enfin, pour le part, Geissdoerfer et al. (2016), l'économie circulaire serait : « un système régénérateur dans lequel l'apport en ressources et les déchets, les émissions et les fuites d'énergie en ralentissant, en fermant et en réduisant les boucles de matériaux et d'énergie. Cet objectif peut être atteint grâce à une conception, un entretien, une réparation, une réutilisation, une re-fabrication, une remise à neuf et un recyclage durables ».

### **b. Domaines et Piliers**

L'économie circulaire (EC) se caractérise par une organisation s'articulant autour de trois domaines interdépendants, qui se déploient à travers sept piliers fondamentaux.

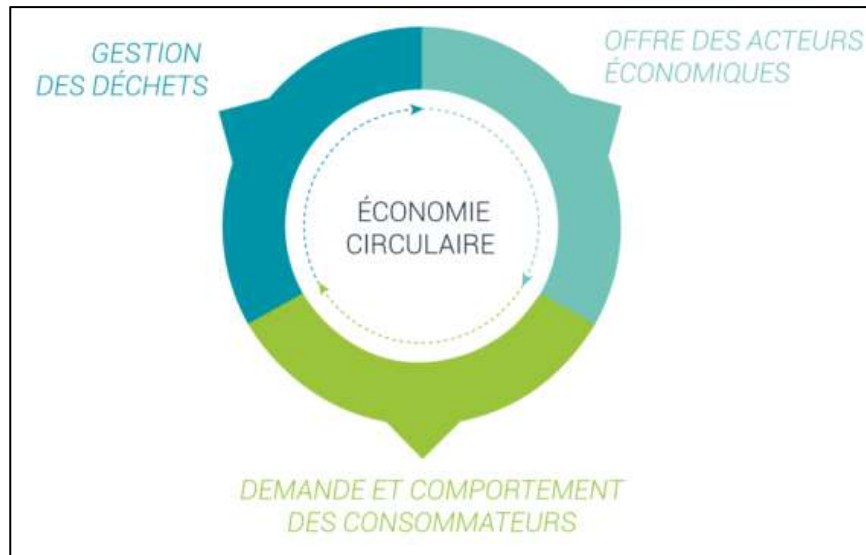
Les trois grands domaines de l'économie circulaire porte sur :

- Domaine 1 « la Production et Offre Durables des acteurs économiques » : l'objectif est de concevoir un système industriel selon une approche régénérative. Pour ce faire, il s'agit d'intégrer les principes circulaires dès la phase de conception des produits et services. Cette démarche a pour but d'éliminer les externalités négatives tout au long du cycle de vie.

- Domaine 2 « la Demande et le Comportement responsables » : il consiste en une transformation des modes d'usage. Cette transformation s'opère par le biais d'une réorientation des comportements vers des modèles de consommation. Ces modèles ont pour objectif de prolonger la durée de vie des produits et d'optimiser leur utilisation.

- Domaine 3 « la Gestion des Déchets et Valorisation des Ressources » : il encourage la fermeture des cycles matière-énergie constitue une priorité. Cette démarche implique la transformation des déchets en ressources secondaires par le biais de boucles de valorisation techniques et biologiques.

Les trois domaines sont illustrés dans la figure 2.2.



**Figure 2.3 : Les trois domaines de l'économie circulaire**

Source : <https://www.takagreen.com/economie-circulaire/>

Afin de pouvoir couvrir ces domaines, des piliers au nombre de sept ont été mis en œuvre, il s'agit de :

- **L'approvisionnement durable** : Il concerne l'utilisation des ressources renouvelables et non renouvelables de manière considérable, dans le domaine de la construction, une attention particulière est portée à la sélection de matières premières à faible impact environnemental. Ces dernières sont caractérisées par leur origine biosourcée, leur recyclabilité et leur provenance locale. Cette approche vise à minimiser l'épuisement des ressources et les émissions de gaz à effet de serre (GES) associées au transport de ces matériaux.

- **L'éco-conception des biens et des services** : elle vise à minimiser leur impact environnemental dès leur création. Dans le domaine spécifique de la construction, on vise les pratiques de conception de bâtiments modulaires, démontables et adaptables, ce qui facilite le réemploi des matériaux et des structures, et réduit significativement d'une part les quantités de déchets produits par les chantiers de construction, et d'autre part la quantité des ressources naturelles non renouvelables déployée. Par ailleurs l'introduction de différents types de

déchets dans la composition des matériaux de construction est également préconisée. Ce pilier contribue ainsi à la gestion durable des ressources et à l'atteinte des objectifs de développement durable (ODD).

- **L'écologie industrielle et territoriale** : ce pilier est également appelé : « la symbiose industrielle », il encourage les synergies et les échanges de flux (matières, énergie) entre les entreprises présentes sur le même territoire. Dans le domaine de la construction, la pratique de la symbiose industrielle entre acteurs locaux est préconisée. Cette démarche vise l'optimisation de la mutualisation des ressources, des déchets et des énergies.

- **L'économie de la fonctionnalité** : c'est un pilier qui privilégie l'accès à un service plutôt que possession d'un bien (par exemple louer un outil au lieu de l'acheter). C'est un concept qui a émergé dans le contexte de la transition écologique et de la promotion d'une consommation responsable. Elle se caractérise par la valorisation de l'usage sur la possession, favorisant ainsi l'optimisation des ressources et la réduction des déchets, dans le domaine de la construction, elle privilégie la vente de services (performance) plutôt que de produits matériels.

- **Consommation – demande et comportement** : ce volet se concentre sur les achats responsables, où les consommateurs font des choix éclairés en tenant compte de l'impact environnemental des produits / services achetés. L'application au secteur de la construction suppose d'orienter les choix d'achats (mobilier ou bien matériaux de construction) vers la durabilité et le respect de l'environnement.

- **Allongement de la durée de vie** : La bonne utilisation des produits pour maximiser leur durée de vie, en recourant au réemploi, à la réparation et à la réutilisation des objets pour éviter qu'ils ne deviennent des déchets. Appliqué sur le secteur de la construction, il encourage la prolongation de la vie des bâtiments via les opérations de : réhabilitation, restructuration, rénovation et réaménagement.

- **Gestion des déchets** : Bien que l'objectif principal soit de prévenir la production de déchets grâce à une production et consommation plus responsable, la gestion des déchets inévitables doit se focaliser sur leur recyclage, cependant lorsque le recyclage n'est pas possible, la valorisation énergétique (transformation des déchets en combustible) est envisageable. Pour le secteur de la construction, on vise la Transformation des déchets de

chantier en ressources pour de nouveaux projets.

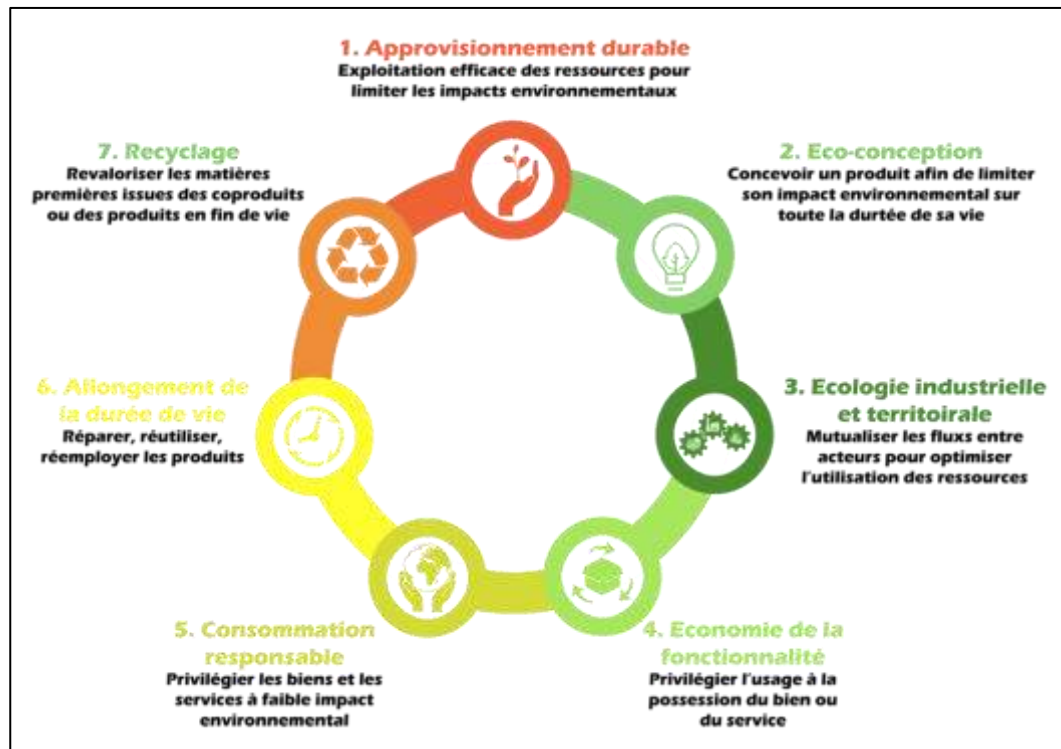


Figure 2.4: Les sept piliers de l'économie circulaire

Source : <https://circulagronomie.org/wp-content/uploads/2020/11/Les-7-piliers-avec-texte-4-e1606061522527-1024x722.png>

L'économie circulaire, un concept à la pointe des préoccupations écologiques actuelles, opère une transformation majeure dans le domaine de la construction. En effet, elle vise à minimiser les déchets par une approche de conception régénérative, à modifier les modèles économiques traditionnels et à encourager une collaboration interdisciplinaire et transdisciplinaire. Cependant, son application à grande échelle requiert une évolution des normes en vigueur, des incitations fiscales et une adhésion sectorielle aux principes d'éco-conception.

#### 2.2.4. Matériaux de construction alternatifs :

Dans le contexte actuel de crise écologique et de transition vers une économie circulaire, les matériaux de construction dits « alternatifs » apparaissent comme une réponse aux limites des matériaux conventionnels.

##### a. Définition :

D'après Krueger et al. (2019), les matériaux alternatifs dans le domaine de la construction peuvent être classés en quatre (04) classes, il s'agit de :

- Matériaux à faible impact environnemental : Non toxiques (ex : peintures à l'eau réduisant les composants organiques volatils), à déchets zéro (Song et al., 2015), à faible énergie grise ou permettant une dématérialisation.
- Matériaux recyclés/réutilisés/remanufacturés : Réduisent l'extraction de matières vierges et la mise en décharge, avec des économies d'énergie substantielles (ex : -80% d'énergie grise pour l'acier/aluminium recyclé (Chen et al., 2001; Gaustad et al., 2010)
- Matériaux biosourcés : Issus de ressources renouvelables (bois, bambou, liège, laine). Les matériaux à renouvellement rapide (<10 ans, ex : bambou) limitent les risques de surexploitation (Lobovikov et al., 2011). Autrement dit, c'est la matière organique renouvelable d'origine végétale ou animale, ces matériaux peuvent être utilisés comme matière première dans des produits de construction et de décoration, de mobilier fixe, ou comme matériau de construction dans un bâtiment.
- Matériaux à chaîne d'approvisionnement durable : La gestion de la chaîne d'approvisionnement est un processus stratégique visant à garantir la durabilité d'un matériau. Cette démarche s'inscrit dans une logique de contrôle rigoureux, appliqué à toutes les étapes du cycle de vie du matériau, de sa production à son utilisation finale (Krueger et al, 2019).

Les approches alternatives, qui impliquent l'utilisation de matériaux non conventionnels, symbolisent une transformation majeure dans la manière de concevoir l'utilisation des ressources. Cette approche intégrative, qui combine les concepts de recyclage et de biosourcing, représente une évolution significative par rapport aux méthodes traditionnelles. Leur positionnement en défaveur des matériaux conventionnels met en exergue des contradictions entre, d'une part, la standardisation industrielle et, d'autre part, l'innovation écologique. Cependant, leur mise en œuvre à grande échelle nécessite des investissements supplémentaires et une réflexion approfondie sur les modalités de leur déploiement, d'où l'importance d'une validation scientifique accrue de la durabilité à long terme.

### **2.3. Les déchets dans les Matériaux De Construction**

L'industrie de la construction, qui constitue un pilier fondamental du développement économique mondial, se trouve face à un double défi : d'une part, elle doit répondre à une demande croissante en matériaux, et d'autre part, elle doit réduire son impact environnemental. Effectivement, le secteur est responsable de la production annuelle d'environ 30 % des déchets solides à l'échelle mondiale (Akhtar et Sarmah, 2018). Simultanément, l'extraction de ressources naturelles concourt à la raréfaction des matières premières et à la dégradation des écosystèmes. Dans ce contexte, l'intégration des déchets dans la fabrication de matériaux de construction émerge comme une stratégie majeure de l'économie circulaire, transformant les résidus en ressources.

Les recherches récentes démontrent que les résidus de l'industrie, des ménages ou encore de l'agriculture peuvent se substituer, que ce soit partiellement ou totalement, aux matières premières dans la composition de matériaux d'infrastructure ou de revêtement. Ces innovations s'inscrivent dans une logique de « dé-déchetisation » (Frosch et Gallopoulos, 1989), où les flux résiduels sont reconsidérés comme des matières premières secondaires.

Cependant, il faut noter que cette valorisation s'accompagne souvent de défis d'ordre technique, environnemental et normatif. La variabilité des déchets constitue une menace pour l'homogénéité des matériaux (Siddique et al., 2008). Cependant, malgré ces contraintes, l'intégration des déchets dans la composition des matériaux demeure une pratique d'actualité.

### **2.3.1. Le ciment :**

L'industrie cimentière se distingue par son impact significatif sur la consommation des ressources naturelles et les émissions de dioxyde de carbone. Dans le contexte des enjeux environnementaux et économiques actuels, cette industrie doit impérativement orienter ses pratiques de production vers une démarche, qui s'inscrit dans une perspective de développement durable, visant à valoriser les résidus de production à la fois sur le plan énergétique et sur le plan de la valorisation matière. Cette pratique s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, dont l'objectif est de réduire l'extraction de matières premières vierges et la mise en décharge de déchets.

En effet, dans le cadre de la production de ciment, il est important de noter que plusieurs catégories de déchets peuvent être valorisées, on cite à titre d'exemple :

### **a. La bagasse de la canne à sucre**

La production de ciment Portland ordinaire est responsable d'environ 7 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), avec un ratio clinker-ciment actuel de 0,95, ce qui dépasse largement l'objectif de 0,65 fixé pour 2030 afin de réduire les émissions (AIE, 2023). L'étude d'Ainomugisha et al. en 2024, évalue l'utilisation de la bagasse de canne à sucre, un résidu agro-industriel abondant en Ouganda, comme matériau cimentaire supplémentaire afin de réduire le clinker dans les ciments composés, tout en améliorant les propriétés mécaniques et microstructurales (Ainomugisha et al, 2024). Pour ce faire, la bagasse, issue de chaudières de cogénération à 540 °C, a été soumise à deux prétraitements : un simple broyage ou une calcination à 700 °C suivie d'un broyage. Des ciments composés ont ensuite été formulés en remplaçant 7 % à 35 % du clinker par la BCAS, avec 4 % de gypse. Les analyses physico-chimiques, mécaniques (résistance à la compression, retrait) et microstructurales ont révélé que la calcination de la bagasse réduit significativement sa perte au feu et augmente la concentration d'oxydes pouzzolaniques. Les résultats sont prometteurs : l'incorporation de 14 % de bagasse calcinée améliore la résistance à la compression à 28 jours, alors que l'ajout de 27,7 % et jusqu'à 28 % permet de respecter les normes de résistance pour les ciments de type P. Sur le plan microstructural, la bagasse réagit pour former des gels C-S-H, réduisant la teneur en portlandite et contribuant à une diminution notable du retrait, ce qui limite la microfissuration et améliore la durabilité.

De plus, l'ajout de bagasse de la canne à sucre a réduit d'une part, le retrait du ciment de 86,04 % à 14 %, et de l'autre part le ratio clinker-ciment de 0,95 à 0,65, faisant ainsi diminuer l'empreinte carbone tout en répondant aux normes mécaniques. Cette approche valorise les déchets locaux et réduit la dépendance aux clinkers importés (Ainomugisha et al, 2024)

### **b. Les textiles végétaux**

Les composites MCRT (matrice cimentaire renforcée de textile) émergent comme alternatives écologiques grâce à leur résistance au feu et leur capacité à développer des microfissurations multiples sous charges cycliques. L'étude de Mercedes et al, (2018), évalue des textiles végétaux (lin, chanvre, sisal, coton) enduits de résine comme renforts durables pour MCRT (Mercedes et al, 2018).

Pour ce faire, les chercheurs ont utilisé des mailles végétales, tissées manuellement et

enduites d'époxy ou de polyester, ces dernières ont été testées en traction pour évaluer leur résistance mécanique, leurs modes de rupture et leur comportement en microfissuration, conformément à la procédure décrite dans l'AC434-0213-R1. Les résultats ont montré que l'enduction à l'époxy améliorerait la résistance des fils, notamment le chanvre jusqu'à 84 %, et augmentait l'adhérence matrice-fibre, évitant ainsi le glissement souvent observé avec les MCRT synthétiques. Parmi les matériaux testés, le chanvre enduit d'époxy a atteint la résistance maximale de 554 MPa, tandis que le coton enduit d'époxy a présenté le plus grand allongement, optimisant la dissipation d'énergie. En conclusion, cette recherche valide le potentiel des FRCM végétaux à offrir des performances comparables aux composites synthétiques, en particulier lorsque le volume de fibres est optimisé et que l'enduction à l'époxy est utilisée. Le chanvre et le coton se sont avérés être les fibres les plus prometteuses pour le renforcement structural, soulignant leur rôle potentiel dans la réhabilitation durable des structures maçonnées grâce à leur recyclabilité ainsi que leur efficacité mécanique (Mercedes et al, 2018).

### **c. Les cendres d'incinération de déchets municipaux**

Chaque année, 26 millions de tonnes de cendres sont produites par l'incinération des déchets municipaux dans l'UE (Agence européenne pour l'environnement, 1999). Selon une étude de Kikuchi, R. (2001), on pourrait les transformer en clinker de ciment, ce qui réduirait l'enfouissement et les émissions polluantes liées à l'incinération.

Cette étude a validé, à l'échelle d'un pilote industriel de 50 tonnes par jour, un procédé de valorisation de divers déchets, incluant les cendres d'incinérateurs municipaux, les boues d'épuration, les crasses d'aluminium et les scories de cuivre, pour la production de clinker. Le chlore, présent à hauteur de 9,7 % dans les cendres, est efficacement fixé sous forme de chloroaluminate de calcium ou d'arinite. Le processus comprend un prétraitement des cendres (séchage et broyage), une cuisson à 1 400 °C avec des suppléments (argile, calcaire), et un traitement rigoureux des gaz avec filtration sur charbon actif pour capturer dioxines et poussières. Les résultats ont montré une réduction du chlore dans le clinker à moins de 0,5 %, respectant ainsi les normes.

Le ciment produit présente des résistances mécaniques comparables à celles du ciment Portland, bien qu'un temps de prise plus court (40-60 min) nécessite l'ajout de gypse. Sur le

plan environnemental, les émissions des oxydes de soufre et d'azote, poussières et dioxines étaient inférieures aux seuils réglementaires, et la lixiviation des métaux lourds restait conforme aux limites. Ce procédé permet de remplacer 50 % des matières premières conventionnelles par des cendres, réduisant ainsi les déchets enfouis de 5,5 tonnes à seulement 0,5 tonne par tonne de ciment produite, confirmant le potentiel de cette technologie pour une économie circulaire sans pollution secondaire et une empreinte écologique réduite dans l'industrie du ciment (Kikuchi, 2001).

#### **d. Les déchets d'articles sanitaires**

Dans le secteur industriel, l'industrie céramique se distingue par une production significative de déchets non biodégradables, qui représentent environ 8 % de ses résidus (Habert et al, 2020), ces déchets sont attribuables principalement à des imperfections de production et à l'utilisation de moules en plâtre. Une étude a évalué la réutilisation des déchets d'articles sanitaires à base d'argile, en tant que matériau cimentaire additionnel dans des ciments Portland écologiques (CPII-F-32), réduisant les émissions de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) jusqu'à 830 grammes par kilogramme de ciment (Silveira et al, 2025).

Les déchets de l'industrie céramique (CSW) ont révélé une granulométrie fine, la présence de quartz, de calcite, une morphologie angulaire et une composition chimique riche en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{CaO}$ . Des tests d'activité pouzzolanique par calorimétrie isotherme et conductivité électrique ont montré une réactivité pouzzolanique lente des CSW. Cependant, leur incorporation a induit un effet de remplissage, réduisant la porosité du matériau de 18,87 % à 18,68 %.

En termes de propriétés mécaniques, l'ajout de 12,5 % à 25 % de CSW a permis de maintenir une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 90 % de celle du ciment témoin, confirmant ainsi son indice pouzzolanique selon les normes brésiliennes. Concernant la durabilité, les mélanges contenant 25 % de CSW ont démontré une réduction de 30 % de la perte de masse sous attaque acide, un avantage attribué à la teneur élevée en  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{CaO}$  des CSW. En conclusion, cette étude valide que les déchets de l'industrie céramique peuvent être utilisés comme SCM jusqu'à 25 % de substitution, répondant aux critères des pouzzolanes de type E au Brésil et aux normes internationales. Leur intégration dans les bétons, mortiers ou pavés représente une stratégie efficace pour valoriser un déchet

industriel tout en améliorant la résistance des produits aux acides.

### 2.3.2. Les briques

Les briques font partie des matériaux de construction les plus anciens dont l'utilisation est documentée, elles sont traditionnellement composées d'argile, d'eau et de charges minérales et sont façonnées par moulage, puis cuites entre 900°C et 1200°C, ce procédé confère à la brique conventionnelle ses propriétés mécaniques clés, à savoir la résistance à la compression (5-40 MPa), la durabilité et l'inertie thermique.

La substitution des composants conventionnels de la brique par des déchets solides offre une double solution ; sur le plan écologique, il y'a une réduction de l'extraction de ressources et du volume de déchets générés et sur le plan technique, il y'a une isolation thermique améliorée, légèreté. De ce fait, l'incorporation de déchets solides dans les briques émerge comme une stratégie prometteuse pour réduire l'empreinte écologique et développer l'économie circulaire.

#### a. Le marc de raisin

L'utilisation du **marc de raisin** (déchet de l'industrie vinicole) comme additif dans la production de **briques légères écologiques**, les briques ont été fabriquées à partir d'un mélange d'argile (provenant de Viznar et Guadix, Espagne) et de marc à trois concentrations (2,5 %, 5 % et 10 % en poids), cuites à 800 °C, 950 °C et 1100 °C, (Crespo-López et al., 2023) , les briques produites présentent les caractéristiques suivantes :

- En matière de **porosité et de légèreté** : Le marc augmente la porosité (jusqu'à +36 %) et réduit le poids des briques (jusqu'à -24 %), améliorant ainsi leurs propriétés d'isolation thermique.
- **En matière de propriétés mécaniques** : La résistance mécanique diminue avec l'ajout de marc (surtout à basse température). Seules les briques cuites à **1100 °C** sans additif ou avec 2,5 % de marc atteignent la norme espagnole minimale de 10 MPa pour la construction.
- **En matière de couleur** : Le marc rend les briques plus claires et moins rouges, avec des différences perceptibles à l'œil nu à partir de 950 °C.

- **En matière de durabilité** : Les briques avec 10 % de marc sont plus sensibles à la **crystallisation des sels** (dégradation accrue).
- **En matière d'impact économique/écologique** : Utiliser 10 % de marc permettrait de valoriser **43 % des déchets viticoles annuels espagnols** (1 million de tonnes) et d'économiser 2 millions d'euros en argile.

**Enfin, on peut dire que le marc de raisin** est prometteur pour produire des briques légères et isolantes, mais son utilisation doit être limitée ( $\leq 5\%$ ) et associée à une cuisson à haute température (1100 °C) pour garantir une résistance mécanique suffisante. Cette valorisation réduit l'empreinte environnementale de deux industries (vin et briques).

### **b. Les déchets plastiques**

L'accumulation massive de déchets plastiques, en particulier le polyéthylène téréphtalate (PET) issu des bouteilles et emballages, représente un enjeu environnemental significatif en raison de sa non-biodégradabilité. L'incorporation de ces matériaux en tant que matière première dans la fabrication de briques de construction s'inscrit dans une perspective à la fois de gestion durable des déchets et d'optimisation des propriétés des matériaux.

L'étude d'Akinyele et al. (2020) intègre du PET broyé (1-8 mm) à de l'argile latéritique (0%, 5%, 10%, 15%, 20%). Après moulage et séchage à l'air, les briques sont cuites à  $\sim 900^\circ\text{C}$  pendant 48h. Les échantillons à 15% et 20% de PET se désintègrent à haute température ( $>260^\circ\text{C}$ , point de fusion du PET), tandis que ceux à 5% et 10% subissent des déformations aux arêtes (Akinyele et al, 2020). Par ailleurs, Alighiri et al. (2019) ont fait mélanger des flocons de PET fondus à  $280\text{-}290^\circ\text{C}$  à du ciment (PCC) et du sable siliceux. Le mélange homogène est par la suite coulé dans des moules préchauffés ( $180^\circ\text{C}$ ) et compacté. La composition optimale identifiée est 66% PET / 22% ciment / 12% sable en volume (Alighiri et al, 2019). Pour leur part Aneke et Naghizadeh (2022) utilisent une approche similaire mais sans ciment, fondant du PET ( $220^\circ\text{C}$ ) et le mélangeant à du sable de fonderie (ratios 10:90, 20:80, 30:70 PET: sable en masse sèche), le mélange est ensuite comprimé à 10 MPa dans des moules (Aneke & Naghizadeh, 2022).

Les briques obtenues, affiches les caractéristiques suivantes :

- En matière de résistance à la Compression : Pour les briques Cuites + PET : La

- résistance diminue avec l'ajout de PET : 5.15 N/mm<sup>2</sup> (0%), 2.30 N/mm<sup>2</sup> (5%), 0.85 N/mm<sup>2</sup> (10%) (Akinyele et al, 2020).
- Pour les briques Moulées par Fusion : Des résistances bien supérieures sont atteintes : le mélange PET/Ciment/Sable (66/22/12) : 75 kg/cm<sup>2</sup> ( $\approx$ 7.5 MPa) (Alighiri et al., 2019).
  - Le mélange PET/Sable de fonderie (30/70 - WPB-2) : 42 MPa (Aneke & Naghizadeh, 2022), surpassant largement les briques d'argile cuite témoins (26 MPa dans leur étude). Des valeurs de 10.6 à 20 MPa sont également rapportées dans d'autres mélanges PET/sable/ciment (Kumar et al., 2021). Un pic de résistance est généralement observé pour un ratio PET optimal (e.g., 15-30%), au-delà duquel elle diminue.
  - En matière d'absorption d'Eau : Les briques incorporant du PET présentent une absorption d'eau significativement réduite grâce à ses propriétés hydrophobes :
  - Pour les briques Cuites : 10.29% (0%)  $\rightarrow$  6.57% (10%) (Akinyele et al, 2020), restant inférieures à 17% (ASTM C62 SW).
  - Pour les briques Moulées par Fusion : Absorption quasi nulle (0.003% à 0.008%) pour PET/ciment/sable (Alighiri et al, 2019). Moins de 3% pour PET/sable de fonderie (WPB-3) contre 20.31% pour l'argile cuite (Aneke & Naghizadeh, 2022). Ceci les rend adaptées aux zones à intempéries sévères sans besoin de pré-mouillage.
  - En matière de résistance aux Sels/Acides : Le PET confère une excellente résistance chimique. Les briques PET/sable de fonderie (WPB) montrent une réduction de résistance négligeable (<3%) après immersion dans des solutions de sulfate, contre jusqu'à 29% pour les briques d'argile (Aneke & Naghizadeh, 2022). Elles résistent également bien à l'attaque à l'acide sulfurique (5%) (Alighiri et al, 2019).
  - En matière de porosité et Microstructure : La porosité apparente diminue avec l'ajout de PET (e.g., 32% pour argile vs 10.23% pour WPB-3 PET/sable). La SEM révèle une matrice plus dense dans les briques PET/sable, avec moins de pores capillaires et des vides résiduels liés à la fusion du PET (Akinyele et al, 2020; Aneke & Naghizadeh, 2022). Des microfissures et un faible adhérence PET/argile sont notés dans les briques

cuites (Akinyele et al, 2020).

- Autres Propriétés : Les briques à base de PET sont généralement plus légères (densité réduite) que les briques conventionnelles (Akinyele et al, 2020; Aneke & Naghizadeh, 2022). Leur comportement est plus ductile que celui des briques d'argile fragiles (Aneke & Naghizadeh, 2022; Kumar et al, 2021).

L'utilisation de briques à base de plastique recyclé offre des avantages environnementaux et économiques notables, elle permet de valoriser d'importantes quantités de plastique non biodégradable, les détournant ainsi des décharges et des écosystèmes. De plus, elle contribue à une réduction significative de l'empreinte carbone par rapport aux techniques de construction traditionnelles. Les procédés sans cuisson, comme la fusion, sont beaucoup moins énergivores que la cuisson d'argile à haute température, par exemple, la production d'une brique PET/sable ne générerait qu'environ 110g de CO<sub>2</sub>, contre environ 531g pour une brique d'argile cuite. À plus grande échelle, la construction d'une maison de deux pièces avec des briques PET/sable pourrait réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de près de 12 tonnes par rapport à une construction en briques d'argile (Aneke & Naghizadeh, 2022). Cette approche favorise également la conservation des ressources naturelles en diminuant le besoin d'extraire de l'argile et du sable (Kumar et al, 2021; Aneke & Naghizadeh, 2022). Enfin, sur le plan économique, le coût potentiel est faible puisque le plastique est un déchet et que la production de ces briques nécessite moins d'énergie

Les résultats des recherches citées précédemment montrent que l'intégration de déchets plastiques, en particulier le PET, dans le processus de fabrication des briques, présente un potentiel considérable pour promouvoir une construction plus durable. En effet, les technologies de moulage par fusion (PET/sable ou PET/ciment/sable) permettent d'atteindre des résistances mécaniques satisfaisantes (souvent supérieures aux briques d'argile de classe III), une absorption d'eau très faible, une bonne résistance chimique et une réduction substantielle de l'empreinte carbone par rapport aux briques cuites traditionnelles. Cependant, leur utilisation dans des procédés de cuisson à haute température est restreinte par la stabilité thermique du PET. De ce fait, la valorisation des déchets plastiques en briques constitue une voie prometteuse pour réduire la pollution plastique et décarboner l'industrie des matériaux de construction.

### c. Les déchets de textile

Dans un contexte qui se caractérise par une pénurie de ressources naturelles et une demande croissante, l'industrie de la construction est confrontée à explorer des matériaux alternatifs. Trois études expérimentales récentes, ont révélé que les résidus textiles peuvent être considérés comme des matières premières secondaires dans le processus de fabrication des briques. Cette approche innovante, qui valorise les déchets tout en encourageant l'innovation durable, ouvre des perspectives prometteuses pour l'économie circulaire.

D'une part, l'étude menée par Teklehaimanot et al. (2021) explore l'intégration de micro-poussières de coton, un sous-produit de l'industrie textile éthiopienne, dans la fabrication de briques. Les résultats indiquent qu'une composition optimale est obtenue avec 25,78 % de micro-poussières de coton et 74,22 % d'argile. Cette formulation présente une résistance à la compression de 6,53 MPa, ce qui est jugé acceptable selon la norme indienne IS 3495 (classe II), qui spécifie une valeur minimale de 6,8 MPa. L'incorporation de ces déchets entraîne une réduction de la masse volumique des briques (1,22 g/cm<sup>3</sup> contre 1,55 g/cm<sup>3</sup> pour les briques conventionnelles), ce qui améliore leurs propriétés d'isolation thermique et acoustique. Bien que l'absorption d'eau augmente avec le pourcentage de micro-poussières (passant de 9,6 % à 25,78 %), elle demeure inférieure au seuil critique de 20 %. Enfin, ces briques se distinguent par une rupture non fragile et une capacité élevée d'absorption d'énergie, les rendant aptes à des applications telles que les cloisons et les panneaux acoustiques (Teklehaimanot et al, 2021).

De l'autre part, l'étude de Jamshaid et al. (2024) a pour objectif d'évaluer la faisabilité de l'intégration des déchets textiles dans les secteurs de la construction, en examinant l'impact de divers liants. Pour ce faire, des tissus synthétiques tricotés issus de la post-consommation ont été prélevés sur un marché de déchets. Trois liants ont été employés, il s'agit de : la résine polyester insaturée (UPR), le ciment blanc (WC) et la colle acrylique (GL). Les résultats ont démontré que **l'UPR offrait les meilleures performances mécaniques**, avec une résistance à la compression de 3,11 MPa et une résistance à la traction de 0,11 MPa. Cette performance est attribuée à l'affinité chimique entre l'UPR et le PET, éliminant ainsi le besoin de traitements de surface. **Le WC a présenté des propriétés d'isolation thermique supérieures**, affichant une différence de température de 54,3 °C après 15 minutes à 450 °C, comparativement à 58,1 °C

pour l'UPR, en raison de sa microstructure poreuse. En revanche, la **GL a montré une faible résistance mécanique** (1,54 MPa) due à sa nature thermoplastique. De plus, une analyse qualitative du cycle de vie a souligné les avantages environnementaux de ces composites, notamment l'absence de cuisson, ce qui permet des économies d'énergie substantielles (2 à 3,5 MJ par pièce) et une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (Jamshaid et al, 2024).

Enfin, L'étude de Priyadharshini et Kavisri (2018) a examiné l'intégration de **boues d'effluents textiles** provenant de Tiruppur, en Inde, dans la fabrication de briques cuites. Leurs résultats indiquent qu'une substitution de 5 % de la boue textile permet de maintenir une **résistance à la compression viable** de 4,46 MPa, ce qui est supérieur à la norme de 3,5 MPa de la BIS. Cependant, cette résistance diminue notablement à 3,19 MPa lorsque le taux de substitution atteint 20 %. Par ailleurs, l'**absorption d'eau** augmente de manière significative avec l'accroissement du pourcentage de boues textiles, atteignant 21,6 % à un taux de 20 %. L'**efflorescence** devient également un problème notable au-delà d'un taux de substitution de 15 %. Néanmoins, la cuisson des briques à 900 °C s'est avérée efficace pour **stabiliser les métaux lourds** tels que le chrome (Cr) et le fer (Fe), confirmant ainsi l'innocuité environnementale de cette approche (Priyadharshini & Kavisri, 2018).

Ces recherches démontrent une convergence autour de trois enseignements fondamentaux : premièrement, les déchets fibreux optimisent les propriétés mécaniques et thermiques des briques tout en réduisant leur masse volumique ; deuxièmement, les boues textiles requièrent un dosage strictement inférieur à 10 % pour préserver la durabilité du matériau ; enfin, l'économie circulaire induite génère des bénéfices substantiels, incluant la réduction des déchets textiles, la préservation des ressources argileuses et une diminution de l'empreinte carbone atteignant 0,41 kg de CO<sub>2</sub> par brique évitée. Bien que des défis persistent, notamment la standardisation des procédés et l'homologation réglementaire, ces innovations soulignent le potentiel d'une symbiose industrielle entre les secteurs textile et construction (Jamshaid et al, 2024 ; Teklehaimanot et al, 2021)

### 2.3.3. Le béton

La production mondiale de béton conventionnel fabriqué à base de ciment Portland ordinaire (OPC), entraîne une **consommation excessive de ressources naturelles** et contribue à **8–10% des émissions globales de CO<sub>2</sub>** (Hendriks et al, 2000). Face à ces enjeux

environnementaux, le béton vert ou écologique émerge comme une alternative durable, en faisant intégrer des **matériaux issus de déchets** (cendres volantes, fumée de silice, laitier, etc.) pour remplacer le ciment ou les granulats naturels, réduisant ainsi l'empreinte carbone et valorisant les résidus industriels ou agricoles (Mehta & Siddique, 2016 ; Rashad & Sadek, 2016)

**a. Les déchets de bois**

Ils ont été utilisés comme substitut partiel de tous les composants conventionnels du béton, notamment le ciment, les granulats fins et les granulats grossiers. Les études ont montrés que l'incorporation de la sciure de bois permet de produire un béton structurel qui répond aux critères, à condition que le remplacement ne soit pas supérieur à 20 % (Fapohunda et al., 2018)

**b. Le plastique recyclé**

Il a été également utilisé pour créer un béton plus durable et plus efficace en termes d'utilisation des ressources naturelles, cette application a reçu une attention considérable depuis les années 70 (Fowler, 1999) . Plusieurs recherches ont été menées également afin d'évaluer la faisabilité d'incorporer Les déchets du plastique dans le béton (Marzouk et al., 2007 ; Siddique et al., 2008 ; Saikia & De Brito, 2012). Les études ont aboutis que l'incorporation des polymères dans le béton, sous forme de fibres ou de granulats, a permis d'obtenir un béton plus léger avec des propriétés thermiques et acoustiques améliorées. Cependant, des effets négatifs ont été enregistrés sur les propriétés mécaniques, notamment la résistance à la compression (J. L. Ruiz-Herrero et al., 2015).

Une étude menée par Kou et al. (2008) a révélé que la maniabilité, la résistance à la compression et la résistance à la rupture par traction des bétons d'agrégats légers préparés avec des déchets plastiques recyclés étaient réduites (Kou et al., 2008). Ghernouti et al. (2015) ont mené une étude sur les mélanges de béton avec l'utilisation de déchets plastiques en remplacement des agrégats fins dans différents pourcentages de 10 %, 20 %, 30 % et 40 %. Il a été rapporté que l'ouvrabilité du béton augmentait avec le remplacement des déchets plastiques, ce qui est dû au fait que les déchets plastiques n'absorbent pas l'eau et que l'excès d'eau est disponible pour la lubrification (Ghernouti et al., 2015). En outre, la densité en vrac diminue avec l'augmentation des déchets de sacs en plastique. Dans le cas de la résistance à la

flexion et à la compression, des réductions appréciables ont été observées. Les déchets plastiques augmentent le volume des vides dans le béton, ce qui réduit la compacité du béton et diminue simultanément la vitesse du son dans le béton. La réduction de la résistance du mélange de béton était une préoccupation majeure et ils recommandent toutefois de remplacer 10 à 20 % des agrégats fins par des agrégats plastiques.

Raghatate Atul (2012) a étudié la faisabilité de l'incorporation de sacs en plastique dans les mélanges de béton à différents pourcentages 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8% et 1,0%. Ils ont rapporté que l'incorporation de sacs plastiques dans le béton réduit la résistance à la compression et la résistance à la traction. Mais la réduction de la résistance est inférieure à 10 % et est acceptable selon la norme BIS 456-2000. Ils ont finalement conclu qu'une étude plus approfondie est nécessaire pour comprendre le comportement du mélange de béton avec l'ajout de sacs en plastique Raghatate Atul (2012) .

### **c. Les pneus**

La production croissante des pneus usagers est la conséquence/le résultat inévitable du développement continu de l'industrie automobile dans le monde. Le démantèlement des pneus pour récupérer les matériaux dont ils sont faits/qui les composent s'insère/s'inscrit parfaitement dans la démarche d'économie circulaire, qui visent à réduire la quantité des déchets produits et améliorer l'efficacité des ressources.

Parmi les études qui ont été faits pour explorer le recyclage des pneus usagers dans les pratiques de génie civil, son utilisation comme additif au béton à base de ciment portland (Huang et al., 2004). L'échec de cette expérience a été attribué aux problèmes d'incompatibilité causés par la composition chimique et la rigidité. Des recherches supplémentaires sont recommandées afin de tirer parti des avantages du caoutchouc et à réduire son impact négatif sur les mélanges de béton. Encore plus d'efforts sont nécessaires pour examiner et améliorer les propriétés du béton modifié au caoutchouc et accroître son utilisation dans l'ingénierie structurelle (Shu & Huang, 2014).

### **d. Le verre**

Le recyclage des déchets du verre peut avoir lieu un nombre infini de fois pour produire de nouveaux produits en verre(Sobolev et al., 2007), mais ce processus est très gourmand en

énergie, ainsi, leur mise en décharge est considérée comme une solution écologiquement inappropriée en raison de sa nature non biodégradable (Jani & Hogland, 2014).

Le recyclage dans les matériaux de construction, notamment la fabrication du béton est le moyen le plus efficace de réduire les déchets de verre et de préserver les ressources. Plusieurs études ont été consacrées à cet effet, certaines de ces études suggèrent l'utilisation du verre recyclé sous forme de granulats fins du fait de la similitude des propriétés physiques du verre avec le sable. D'autres comme ciment à cause de la similitude de ses propriétés chimiques avec le ciment (Jani & Hogland, 2014).

Des études ont montré que certaines propriétés du béton peuvent être améliorées en utilisant les déchets de verre (Ismail & Al-Hashmi, 2009). Cependant, il est important de noter que son utilisation excessive peut entraîner une diminution des propriétés mécaniques et physiques du béton (S. W. Park et al., 2004).

#### **e. Les granulats recyclés à partir des déchets de béton**

Ils sont de plus en plus utilisés dans la fabrication du béton, et l'effet de son utilisation dans le béton a été largement étudié. Les granulats recyclés sont des matériaux qui peuvent être réutilisés pour remplacer les matières premières traditionnelles, ce qui permet de réduire considérablement les coûts et l'impact environnemental.

De nombreuses études ont montrés que la réutilisation des granulats obtenus à partir du broyage et du tri des déchets de démolition, offre de multiples avantages économiques et environnementaux (Hansen, 1986 ; Velay-Lizancos et al., 2018). Il s'agit d'un moyen efficace pour réduire les coûts et l'impact environnemental associés à la production du béton tout en offrant une meilleure solution pour surmonter le problème de l'excès de déchets, à condition que la qualité finale requise du produit soit atteinte (Etxeberria et al., 2007) .

Bien que cela réduise considérablement les propriétés du béton, la recherche dans ce domaine est reste pertinente en raison de la prise de conscience croissante problèmes environnementaux dans les applications du génie civil (Upshaw & Cai, 2020) .

#### **f. Les déchets d'abattoirs (os d'animaux)**

Ce type de déchet d'abattoirs a été introduit au béton comme substitut partiel du ciment (0 à 25%), pour évaluer son impact sur les propriétés mécaniques du béton et d'**optimiser les**

**formulations** via la Méthodologie des Surfaces de Réponse (RSM) (Claudius et al, 2023). A cet effet, deux formes ont été étudiées, il s'agit de :

- Os d'animaux pulvérisés (**Pulverized Animal Bone : PAB**) : Os séchés, broyés et tamisés à 150  $\mu\text{m}$ .
- **Cendres d'os d'animaux pulvérisés (Pulverized Animal Bone Ash : PABA)** : Os calcinés (600–800 °C), broyés et tamisés à 150  $\mu\text{m}$ .

Les résultats démontrent que ces matériaux, inertes chimiquement (Claudius et al, 2023), augmentent la demande en eau (+3 à +4.3 points de pourcentage à 25% de substitution) et prolongent les temps de prise jusqu'à 15% de substitution (156-420 min contre 118-235 min pour le témoin), agissant comme retardateurs potentiellement utiles en climats chauds pour prévenir les fissures précoces. L'ouvrabilité diminue significativement, tandis que la masse volumique baisse progressivement (-3.4% à 25% PAB) mais reste conforme aux normes des bétons ordinaires (2200-2600  $\text{kg/m}^3$  selon EN 206-1).

L'absorption d'eau s'accroît avec le taux de substitution (+64% à 25% PAB), et la résistance en compression décline systématiquement, bien que les PABA présentent des performances légèrement supérieures aux PAB (+0.5-1.5 MPa en moyenne), attribuées à leur surface spécifique accrue après calcination (Kadhim et al., 2021). Par ailleurs, l'optimisation par méthodologie des surfaces de réponse (Montgomery, 2011) identifie un compromis optimal à 5% de substitution combiné à une cure prolongée (42-45 jours), limitant de ce fait la perte de résistance à 10-15% tout en valorisant ces déchets.

Enfin, bien que les substituts agissent principalement comme fillers plutôt que comme liants réactifs, cette approche offre ainsi une solution durable pour réduire l'empreinte carbone du béton.

#### **g. Clincker d'huile de palme**

Dans un contexte mondial qui se caractérise par une exploitation intensive des ressources naturelles pour la production du béton, générant ainsi d'importantes émissions de  $\text{CO}_2$  et posant de graves problèmes environnementaux tels que l'érosion des rivières, la dégradation des sols et la perte de biodiversité (Uysal & Akyuncu, 2012), l'industrie malaisienne de l'huile de palme, deuxième producteur mondial, génère des volumes considérables de déchets

biomasses, dont le Clinker d'Huile de Palme CHP, un résidu pierreux issu de l'incinération des fibres et coques dans les chaudières des usines (vers 850°C) (Kanadasan et al., 2015).

L'élimination inappropriée de ce Clinker d'Huile de Palme, dans des décharges engendre non seulement une pollution environnementale (sols, eau, air) mais également une occupation inutile d'espace au sein des décharges (Amini et al, 2015, Kanadasan & Razak, 2013). A cet effet, une recherche explorant le potentiel du CHP comme matériau alternatif durable dans le béton, a été conduite afin de réduire l'empreinte écologique du béton tout en valorisant ce déchet ((Jamaludin et al., 2021).

Le Clinker d'Huile de Palme, se caractérise par une structure poreuse, légère et irrégulière. Ses propriétés physiques le classent comme granulats légers (masse volumique apparente < 1200 kg/m<sup>3</sup>, densité relative < 2.2 selon la norme BSI), étant environ 25% plus léger que le sable fluvial et 48% plus léger que le granit concassé (Teo et al., 2006). Son absorption d'eau est élevée (3% à 26.45% selon la fraction), ce qui nécessite une attention particulière lors du gâchage mais peut aussi contribuer à la cure interne (Hossain, 2003). Sa résistance à l'écrasement et à l'impact est généralement inférieure à celle des granulats traditionnels, bien qu'elle varie selon la source et la taille (Abutaha et al., 2016).

Chimiquement parlant, le CHP est principalement composé de SiO<sub>2</sub> (55-66%), K<sub>2</sub>O, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. La somme SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dépasse souvent 70%, seuil suggérant une activité pouzzolanique potentielle lorsqu'il est finement broyé. Cependant, sa composition présente une hétérogénéité significative, influencée par les conditions de combustion et l'origine géographique (Kanadasan & Razak, 2013).

L'ouvrabilité du béton incorporant du Clinker d'Huile de Palme est affectée par son utilisation, en effet, l'ajout de poudre de ce clinker, notamment de taille nano, tend généralement à augmenter l'affaissement, alors que le remplacement par du clinker grossier réduit systématiquement l'affaissement en raison de la forme anguleuse, de la surface rugueuse et poreuse, augmentant la surface spécifique et la demande en pâte, enfin l'effet est moins prononcé, voire neutre, lorsque le module de finesse du Clinker d'Huile de Palme fin est proche de celui du sable naturel permettant de maintenir l'ouvrabilité dans les plages cibles (Kanadasan & Razak, 2013).

En ce qui concerne les **propriétés mécaniques** du béton durci, elles varient

considérablement selon le rôle du Clinker d'Huile de Palme, l'étude a relevé les cas de figure suivants :

**Lors d'une substitution partielle de ciment, on remarque des** améliorations significatives des résistances (compression, flexion, traction, module d'élasticité) sont observées à des taux de substitution optimaux, généralement autour de 10-15% (Hamada et al., 2021). Au-delà du taux optimal (ex: >15%), la résistance diminue en raison de la formation accrue de vides et d'une dilution excessive du ciment (Ahmmad et al, 2017). La taille des particules (micro à nano) joue également un rôle clé dans ce remplissage des pores (Hamada et al, 2021).

Lors de la **substitution de granulats grossiers** : La majorité des études rapportent une diminution des propriétés mécaniques avec l'augmentation du taux de substitution (Abutaha et al., 2016). Cette réduction est liée à la porosité élevée, à la fragilité inhérente du Clinker d'Huile de Palme et à sa forme anguleuse, conduisant à des ruptures prématurées au niveau des granulats (Ibrahim et al., 2017). Cependant, des études spécifiques utilisant le Clinker d'Huile de Palme comme substitut *complet* d'autres granulats légers comme les coques de palmier dans des bétons légers à haute performance montrent des résultats prometteurs, avec des résistances en compression atteignant 43-63 MPa et un module d'élasticité jusqu'à 34.8 GPa. La pénétration de la pâte de ciment dans les pores du Clinker d'Huile de Palme améliorerait l'adhérence. Le Clinker d'Huile de Palme montre également une meilleure résistance à une cure inadéquate grâce à sa réserve d'eau interne (Kabir et al., 2017).

**Lors de la substitution de granulats fins** : Les résultats sont mitigés. Certaines études indiquent une légère diminution (8-17%) des résistances avec l'augmentation du taux de substitution, attribuée à une absorption d'eau potentiellement faible laissant un excès d'eau libre et créant des vides, d'autres études rapportent une augmentation des résistances (compression, flexion) pour des taux modérés (jusqu'à 20-25%), grâce à la réaction pouzzolanique du Clinker d'Huile de Palme fin, à un meilleur compactage réduisant les vides et à une amélioration de l'adhérence liant-granat par la rugosité des particules (Ibrahim et al., 2020).

Enfin, la recherche confirme que le Clinker d'Huile de Palme présente un potentiel significatif comme matériau de construction durable pour réduire l'empreinte

environnementale du béton. Cependant, son utilisation comme granulats conventionnels (sable ou gravier) nécessite des ajustements de formulation et entraîne souvent une réduction des propriétés mécaniques, l'adoption du Clinker d'Huile de Palme contribuerait ainsi à une industrie du béton plus écologique et à une gestion circulaire et durable des déchets de l'huile de palme.

#### **h. Déchets organiques compostés**

Dans le cadre de recherches visant à évaluer la faisabilité du remplacement partiel du sable par du compost, issu du traitement des déchets solides municipaux, dans le béton ordinaire, deux études ont été menées. La première, conduite par Muthulakshmi et al. en 2021, a permis de mettre en œuvre cette pratique sur des échantillons de béton (Muthulakshmi et al., 2021). La seconde, menée par Vanitha en 2022, a permis de valider cette hypothèse à grande échelle (Vanitha, 2022).

Une autre étude consistait à analyser l'effet de substitution croissante de lombricompost dans le béton géopolymère (ArikaraVelan et al., 2022). Ces études, pionnières sur le sujet, se sont uniquement intéressées à l'effet de l'incorporation du compost sur les paramètres mécaniques, notamment la résistance à la compression.

#### **2.3.4. Identification de déficience scientifique**

L'état de l'art sur la valorisation des déchets dans les matériaux de construction, notamment le béton, a souligné l'apparition récente d'une approche novatrice : l'incorporation de compost issu du traitement des déchets organiques dans la matrice du béton.

Les quelques travaux pionniers dans ce domaine se sont jusqu'à présent concentrés sur des études de faisabilité technique et sur l'évaluation de l'impact de cet ajout sur certaines propriétés mécaniques. Toutefois, ces recherches dévoilent un domaine d'investigation totalement inexploré : les propriétés thermiques de ces bétons modifiés, notamment leur conductivité et leur capacité isolante. Ce constat confirme l'existence d'une déficience scientifique et justifie la nécessité d'approfondir l'étude des impacts thermiques de l'incorporation du compost dans le béton.

## Conclusion

À l'issue de ce chapitre, les fondements théoriques de notre recherche sont désormais établis. La première partie a ainsi permis de définir un langage commun, en clarifiant les concepts clés liés à la performance énergétique du bâtiment et à la gestion des déchets. Cette démarche de conceptualisation s'avère fondamentale pour assurer la cohérence et la rigueur de notre approche scientifique, d'autant plus que ces domaines mobilisent des terminologies spécialisées souvent polysémiques selon les contextes disciplinaires.

La seconde partie, qui présente un état de l'art sur l'intégration des déchets dans les matériaux de construction, met en évidence un domaine de recherche particulièrement dynamique. L'analyse de la littérature révèle une convergence croissante entre les préoccupations environnementales et les innovations technologiques dans le secteur du bâtiment. Cette synthèse bibliographique souligne notamment l'émergence de nouvelles approches méthodologiques qui dépassent le simple recyclage pour s'orienter vers une valorisation optimisée des déchets en tant que ressources secondaires.

Les travaux recensés témoignent d'une évolution paradigmatique significative : d'une logique de gestion linéaire des déchets vers une approche circulaire intégrée à la conception architecturale et constructive. Cette transition conceptuelle s'accompagne d'un développement technologique accéléré, notamment dans le domaine des matériaux composites et des techniques de caractérisation des propriétés physico-chimiques des déchets valorisables.

Néanmoins, cette revue de littérature fait également apparaître certaines lacunes dans l'état actuel des connaissances. Si les études portant sur les propriétés mécaniques des matériaux issus de déchets se multiplient, les recherches intégrant simultanément les dimensions énergétiques, environnementales et économiques demeurent fragmentaires. Par ailleurs, l'hétérogénéité des méthodologies d'évaluation constitue un frein à la comparabilité des résultats et limite la généralisation des conclusions.

Cette analyse critique de l'existant révèle ainsi la pertinence et l'originalité de notre positionnement de recherche, qui vise à combler ces lacunes en proposant une approche holistique de l'intégration des déchets dans une perspective d'optimisation de la performance énergétique globale du bâtiment. Les bases conceptuelles et méthodologiques

étant désormais posées, il convient d'explicitier la démarche empirique qui guidera notre investigation, objet du chapitre suivant.

Ce manque d'investigation scientifique ouvre ainsi la voie à une exploration originale, située à l'intersection des enjeux de la transition énergétique et de l'économie circulaire, et constitue le point de départ de notre contribution scientifique.

**CHAPITRE III :**

**CONVERGENCES DES STRATEGIES DE  
TRANSITION ENERGETIQUE  
ET DE GESTION INTEGREE DES DECHETS EN  
ALGERIE  
VERS UN DEVELOPPEMENT DURABLE**

## Introduction

Le gouvernement algérien place la protection de l'environnement et le développement durable au cœur de sa politique nationale. Confronté aux défis environnementaux, notamment le réchauffement climatique, il a fait de la transition écologique un axe stratégique majeur de sa vision de développement. Cette orientation se traduit par un ensemble d'engagements visant la préservation de la biodiversité, la promotion des technologies vertes, de l'accélération de l'économie circulaire et de la lutte contre la pollution. Elle repose également sur le renforcement du cadre réglementaire, la mobilisation du citoyen autour d'initiatives écoresponsables et améliorer le cadre de vie (Services du Premier Ministre, 2021).

Dans ce cadre, deux initiatives incarnent cette volonté de transition vers un modèle de développement durable : la stratégie de transition énergétique, visant à diversifier le mix énergétique, et la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée des Déchets à l'horizon 2035 (SNGID-2035), orientée vers une meilleure valorisation des ressources et la réduction de l'impact environnemental.

Ce chapitre a pour objectif de mettre en évidence les efforts déployés par l'Algérie afin de promouvoir le développement durable, tant dans le cadre de sa politique de transition énergétique que dans celui de sa politique de gestion des déchets. Cette étude approfondie s'attache à comprendre les objectifs, les mesures, les outils de ces politiques (un accent particulier est mis sur la politique énergétique dans le secteur du bâtiment), tout en évaluant leur alignement avec les objectifs du développement durable.

Pour ce faire, nous présentons, en premier lieu, les instruments de mise en œuvre de chacune de ces politiques –incluant leurs cadres réglementaire, institutionnel, opérationnel et financier – destinés à concrétiser la volonté de l'État algérien d'instaurer un modèle de développement durable. En second lieu, l'analyse portera sur les correspondances entre les différents objectifs de ces politiques et les objectifs de développement durable ODD, afin d'illustrer les liens directs et indirects entre ces enjeux stratégiques. Cette analyse est ensuite complétée par l'étude de la convergence entre ces deux politiques, sous l'angle du développement durable.

### **3.1. Cadre conceptuel du développement durable**

#### **3.1.1. Définition du développement durable**

Le rapport de Brundtland est le point de départ pour le concept de développement durable. Sous le titre "notre avenir à tous", il a été présenté aux nations unies en 1987, lors de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement. Ce rapport a contribué à la diffusion du concept de développement durable qui a été confirmé lors du sommet de la terre à Rio en 1992. Le rapport résume son appel à « un développement qui réponde aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (Breton, 1991).

Le modèle de « développement durable » est une nouvelle approche environnementale, qui cherche à concilier les dimensions écologiques, sociales et économiques du développement, aujourd'hui et à l'avenir. Il vise à promouvoir une forme de développement qui respecte la capacité de charge écologique de la planète, qui soit socialement juste et économiquement inclusif.

Promouvoir le développement durable, c'est piloter le changement sociétal à l'interface entre:

1. Le social : il s'agit des mœurs et des valeurs humaines, des relations et des institutions.
2. L'économique : il s'agit de l'allocation et de la distribution des ressources rares.
3. L'écologique : il s'agit de la contribution de l'économie et du social et de leur effet sur l'environnement et ses ressources.

Il s'agit des trois dimensions, ou piliers, du développement durable (Baker, 2006).

#### **3.1.2. Contexte des objectifs du développement durable**

En 2000, les dirigeants mondiaux ont adopté les 8 Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) visant à améliorer les conditions de vie dans le monde d'ici 2015, notamment en réduisant la pauvreté, la faim et la mortalité infantile, et en promouvant l'éducation, l'égalité des sexes, la santé et la durabilité environnementale (NU, 2010).

Des ressources ont été mobilisées, des programmes ont été mis en œuvre et le monde a

fait d'énormes progrès. Malgré les avancées considérables à l'échelle mondiale, de nombreux échecs et défis restent non résolus : plus de 800 millions de personnes vivaient toujours dans l'extrême pauvreté avec moins de 1,25 dollar par jour, la faim touchait une personne sur neuf, et l'illettrisme concernait un sixième de la population mondiale. Par ailleurs, nos écosystèmes marins et forestiers continuaient de se dégrader à un rythme alarmant.

Ces chiffres difficiles et ces grands défis ont incité le monde à réfléchir à un nouveau programme de développement avec de nouvelles approches, de nouveaux objectifs et de nouveaux partenariats.

Face à ces constats, le 25 septembre 2015, les Nations Unies ont inauguré une nouvelle ère avec l'adoption des Objectifs de Développement Durable (ODD) par 193 États membres (figure 3.1). Ce programme, doté d'un budget annuel de 100 milliards de dollars, s'articule autour du slogan mobilisateur "Ne laisser personne de côté". Les ODD reposent sur trois dimensions fondamentales interdépendantes : la croissance économique, le progrès social et la protection environnementale (Bak, 2024).

Le cadre des ODD s'organise autour de cinq piliers essentiels, connus sous l'appellation des "5P": les Personnes (mettant l'accent sur le bien-être), la Planète (préservation des écosystèmes), la Prospérité (développement économique), la Paix, et le Partenariat. Cette structure ambitieuse se décline en 17 objectifs principaux, soutenus par 169 cibles spécifiques et mesurés par 213 indicateurs.



**Figure 3.1: les 17 objectifs de développement durable**

Source : (<https://www.un.org/>)

Les objectifs des ODD comprennent l'élimination de la pauvreté, la lutte contre la faim, l'accès à la santé, une éducation de qualité, une égalité entre les sexes, de l'eau potable et des services sanitaires, des énergies renouvelables, des emplois décents, des innovations et des infrastructures, la réduction des inégalités, des villes et des communautés durables, la consommation responsable, le combat contre le changement climatique et la préservation des faune et de la flore aquatiques et terrestres (Bağ, 2024).

### **3.2. La transition énergétique en Algérie dans une perspective du développement durable**

#### **III.2.1. Contexte de la politique énergétique en Algérie**

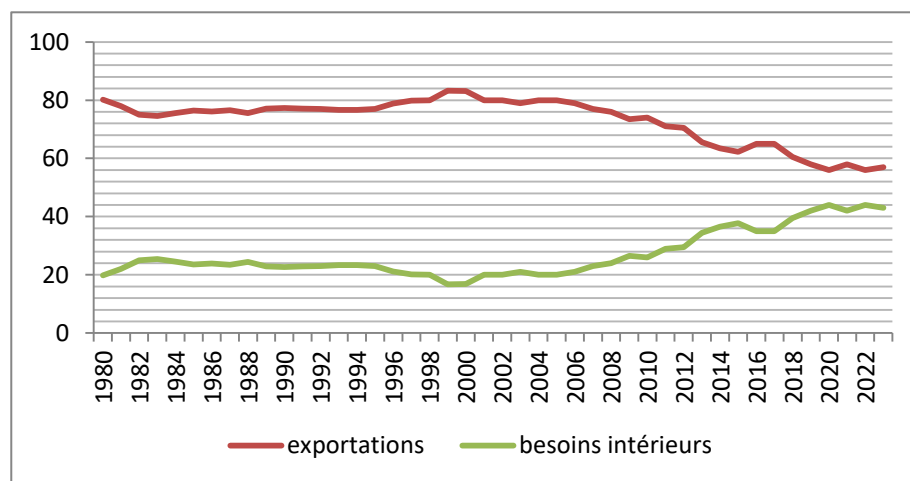
Actuellement, la production et la consommation mondiale d'énergie est à l'origine d'environ 75% des émissions de gaz à effet de serre (AIE, 2024), ce qui en fait la principale cause anthropique responsable du changement climatique. Pour cette raison, toute mesure visant à réduire efficacement les émissions CO<sub>2</sub> et de lutter contre le réchauffement du climat doit impérativement s'attacher à faire évoluer le secteur de l'énergie (Bélaïd & Youssef, 2016).

Le secteur de l'énergie en Algérie confronte plusieurs défis majeurs. Tout d'abord, l'économie du pays reste extrêmement dépendante des revenus pétroliers (Akacem, 2004), ce qui la rend vulnérable aux aléas du marché international des hydrocarbures, soumis à une forte volatilité des prix. Par ailleurs, la demande intérieure en énergie connaît une croissance soutenue qui menace à terme l'équilibre du modèle énergétique actuel (Haddoum et al., 2018). L'Algérie est ainsi confrontée à un double enjeu : diversifier ses sources de devises pour réduire sa dépendance à l'or noir, dans un contexte d'exposition accrue aux fluctuations du cours du pétrole ; satisfaire durablement les besoins énergétiques nationaux, dans un environnement de pression croissante sur la demande au niveau national. Un changement profond de stratégie s'avère nécessaire pour relever ces défis interdépendants pesant sur le secteur énergétique algérien (MREE, 2016).

L'évolution de la balance énergétique nationale sur les 40 dernières années, révèle un changement important dans la répartition de la production entre les exportations et les besoins intérieurs. La part des exportations qui était dominante en 1980 avec environ 80%, a progressivement diminué pour atteindre 56% en 2023. Parallèlement, la part de la

consommation intérieure est passée d'environ 20% en 1980 à 44% en 2023 (figure 3.2). Malgré quelques fluctuations à la fin des années 1990, mais la tendance à long terme est clairement à la hausse.

Cette variation s'explique principalement par une combinaison de facteurs socio-économiques. La croissance démographique, l'accès généralisé à l'électricité et l'amélioration des conditions de vie ont stimulé la demande intérieure d'énergie. Ces évolutions s'accompagnent souvent d'une demande accrue en appareils électroménagers permettant d'atteindre un niveau de confort plus élevé (APRUE, 2015).



**Figure 3.2: la part croissante des besoins intérieurs dans l'utilisation de l'énergie produite en Algérie (1980-2023)**

Source : auteur selon les bilans énergétiques du ministère de l'énergie

A la lumière de cette situation, le gouvernement algérien a pris conscience de la nécessité de diversifier les sources d'énergie et de s'engager dans la transition énergétique. L'objectif est double : réduire la dépendance aux hydrocarbures, et mieux maîtriser la consommation interne en énergie. Pour ce faire, l'Algérie s'est dotée d'un plan de transition énergétique à l'horizon 2030, avec le lancement de deux programmes ambitieux. Ces programmes permettront non seulement au pays d'économiser l'énergie au profit de l'exportation, mais aussi de se positionner parmi les pays investissant dans la recherche et le développement des filières dédiées à la production d'équipements spécifiques aux énergies renouvelables (APRUE, 2015).

Le premier programme a été lancé en 2011, visait à développer les énergies renouvelables et à installer une capacité énergétique d'origine renouvelable entre 2011 et 2030, dont 12 000 MW dédiés à la demande interne et 10 000 MW à l'exportation. Le second programme, lancé en 2016, se concentre sur l'efficacité énergétique et vise à ralentir la demande en énergie de 80 MTep à 73 MTep à l'horizon 2030, soit une économie de 63 MTep (ME, s. d.).

**3.2.2. Transition énergétique et développement durable : de la réduction de l'impact environnemental à la transformation socio-économique :**

À ses débuts, la transition énergétique visait principalement à réduire l'impact environnemental du système énergétique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en promouvant les énergies renouvelables. Cette approche reste nécessaire, mais elle ne suffit plus pour répondre aux défis actuels du développement durable.

La transition énergétique doit aussi permettre de réduire les inégalités sociales et économiques, et de mettre fin à la dépendance aux énergies fossiles et de renforcer la résilience des systèmes énergétiques face au changement climatique. Il s'agit donc d'une transformation profonde qui touche tous les aspects de la société, de l'économie et de l'environnement.

Dans ce contexte, le terme de « transformation énergétique » est plus approprié que celui de « transition énergétique ». Il souligne le caractère global et permanent de ce processus, qui ne se limite pas à un simple changement de sources d'énergie.

La transition énergétique est un processus complexe et multidimensionnel qui vise à transformer notre système énergétique pour le rendre plus durable et plus résilient. Elle repose sur les progrès technologiques, la volonté politique et l'implication de tous les acteurs de la société.

La transition énergétique repose sur deux piliers principaux :

- Le remplacement progressif des énergies fossiles par des énergies renouvelables : L'objectif est de passer d'énergies carbonées, polluantes ou à risque à des énergies propres, renouvelables et sans danger (solaire, éolienne, géothermique, hydraulique et marémotrice).
- Réduire la consommation d'énergie grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique et

à la réduction des gaspillages, notamment par la modification des comportements de consommation (CNESE, 2020).

Lors de la conférence environnementale qui s'est déroulée en France en septembre 2012, le comportement de consommation a été identifié comme le troisième pilier de la transition énergétique, qualifié de « sobriété énergétique ». Cette étape témoigne d'un changement de paradigme : la transition souhaitée ne découle pas uniquement des innovations, elle doit également être soutenue par l'évolution des comportements civiques, qui influent sur la consommation d'énergie (Maresca & Dujin, 2014). La sobriété énergétique se définit ainsi comme une limitation volontaire de l'usage et de la consommation d'énergie, en se contentant de services énergétiques moins importants. Elle implique de renoncer, du moins en partie, à des usages énergivores au profit d'un mode de vie plus sobre (Roques, 2017).

La transition énergétique répond à une série de défis complémentaires :

- La réduction des émissions de gaz à effet de serre : La transition énergétique est essentielle pour lutter contre le changement climatique et ses effets dévastateurs.
- Sécuriser les systèmes énergétiques : La diversification des sources d'énergie et la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles contribuent à la sécurité énergétique des pays.
- Décentralisation et réaménagement des infrastructures : La transition énergétique favorise la création de nouveaux emplois et une meilleure répartition des infrastructures énergétiques.
- Réduction de la consommation (efficacité énergétique) : L'amélioration de l'efficacité énergétique permet de réduire les coûts énergétiques et de préserver les ressources naturelles.
- Réduire les inégalités d'accès à l'énergie et progresser vers l'indépendance énergétique : La transition énergétique vise à assurer un accès universel à l'énergie et à réduire la dépendance à l'égard des importations d'énergie.
- Protéger la santé des populations : la transition énergétique contribue à améliorer la qualité de l'air et à réduire les émissions de polluants nocifs pour la santé (CNESE, 2020).

L'Algérie a entamé un parcours de transition énergétique, motivée par des changements stratégiques et environnementaux, ainsi que par des engagements internationaux. L'objectif est d'assurer la sécurité énergétique et d'améliorer les conditions de vie en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles, en développant les énergies renouvelables, en améliorant l'efficacité énergétique et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

### 3.2.3. Instruments de mise en œuvre de la transition énergétique

#### 3.2.3.1. Cadre opérationnel

##### a. Programme National des Energies Renouvelables

Pour relever les défis environnementaux et préserver ses ressources en combustibles fossiles, l'Algérie a lancé un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables PNER. Adopté par le gouvernement en février 2011, puis révisé en mai 2015 et érigé en priorité nationale en février 2016, ce programme vise à diversifier le mix énergétique, actuellement dominé par les combustibles fossiles, et à promouvoir des alternatives propres et durables (ME, s. d.). L'objectif principal est d'installer 22 GW de capacité d'énergie renouvelable d'ici 2035, (Figure 3.3), ce qui portera la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique à 30 %. Plus de 600 mégawatts ont déjà été mis en service, en particulier dans le sud et sur les hauts plateaux. Le programme se concentre sur le solaire photovoltaïque et thermique, tout en développant la biomasse, la cogénération et la géothermie (Kaddour, 2024).

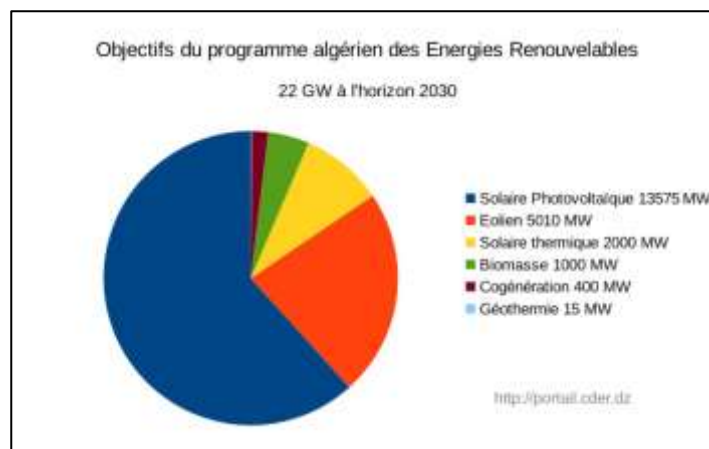


Figure 3.3 : objectifs de programme algérien des énergies renouvelables

Source : Portail des énergies renouvelables

Bien que la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie domestique ait demeuré faible entre 2010 et 2023 (Tableau 3.1), le gouvernement reste fermement engagé dans ce programme. Sonatrach, la compagnie nationale d'hydrocarbures, prévoit d'installer 1,3 GW d'énergie solaire d'ici 2030 pour alimenter ses installations, avec une première centrale photovoltaïque de 10 MW déjà en service (partenariat Sonatrach-Eni). D'autres études de faisabilité sont en cours pour étendre l'énergie solaire à d'autres sites. L'option d'exportation reste un objectif stratégique soumis aux conditions du marché (Comité interministériel chargé du suivi de la mise en œuvre des ODD, 2019).

**Tableau 3.1 : part des énergies renouvelables dans la consommation intérieure brute  
d'énergie**

<b>Année</b>	<b>Unité</b>	<b>2010</b>	<b>2023</b>
Consommation intérieure brute	ktep	46 533	75 036
Energie renouvelable consommée	ktep	67	68
Proportion d'énergies renouvelables	%	0,15	0,09

Source : calcul d'après le bilan énergétique national 2010 et 2023 - ministère de l'énergie

**b. Programme national de la maîtrise de l'énergie :**

Le PNME constitue le programme de mise en œuvre des mesures ayant pour objectif d'améliorer l'efficacité énergétique. Il se concentre sur le ralentissement du rythme de l'augmentation de la consommation d'énergie dans les trois secteurs d'activités : le bâtiment (ménages et autres), l'industrie et le transport. Il a été créé par la loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie. Son élaboration a été fixée par voie réglementaire (APRUE, 2019), il sera mise en œuvre selon l'agenda suivant :

- ✓ 1<sup>ère</sup> phase en 2015 : Expérimentation de différentes technologies à travers des projets pilotes.
- ✓ 2<sup>ème</sup> phase à 2020 : départ du déploiement du programme.
- ✓ 3<sup>ème</sup> phase 2020-2023 : généralisation du programme

### **Objectifs et mesures prévus**

Le programme national de la maîtrise de l'énergie PNME comprend l'ensemble des projets, des mesures et des actions, ayant pour objectif principal la réalisation des économies d'énergie de l'ordre de 93 millions de tep, répartie entre 63 millions de tep sur la période 2015-2030 et 30 millions de tep au-delà de 2030. Ces économies seront obtenues grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la promotion des énergies renouvelables.

Les résultats attendus du programme national de l'efficacité énergétique à l'horizon 2030 sont les suivants:

- Une économie globale de 93 millions de tep
- Création de 180 000 emplois ;
- Des émissions évitées de plus de 200 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> ;
- Une puissance électrique évitée de plus de 15 MW ;
- Un investissement généré de 900 milliards de dinars dont 54 % apportés par l'État (DALI, 2017).

La mise en œuvre de la stratégie nationale de la maîtrise de l'énergie s'appuie sur les instruments suivants:

- Le Fonds National pour la Maîtrise de l'énergie (FNME)
- L'Agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE)

Il convient de noter que le Fonds National pour la Maîtrise de l'énergie et le Fonds National pour les énergies Renouvelables et la Cogénération (FNER) ont été fusionnés pour devenir le Fonds National des énergies renouvelables, de l'efficacité énergétique et de la cogénération (FENREEC) (RADP, 2020).

#### **3.2.3.2. Cadre réglementaire**

La loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie, est une loi-cadre, qui a pour objectif de diriger la demande d'énergie vers une meilleure efficacité du système de consommation, à travers un modèle de consommation énergétique défini dans le contexte de la politique énergétique nationale (APRUE, 2015). Ce modèle de consommation repose sur les choix énergétiques suivants :

- Utilisation prioritaire du gaz naturel,
- Promotion des énergies renouvelables,
- Economie d'énergie (CNTPP, s. d.)

La figure 3.4 résume les conditions et les modalités de mise en œuvre de politique nationale de la maîtrise de l'énergie, telles qu'énoncées dans la loi 09-99 relative à la maîtrise de l'énergie. Elle s'articule autour de trois axes principaux : les définitions et les principes de la maîtrise de l'énergie, les modalités de sa mise en œuvre, et enfin le contrôle et les sanctions (RADP, 1999).

La loi sur la maîtrise de l'énergie constitue le pilier fondamental du dispositif réglementaire algérien de la politique d'efficacité énergétique. Elle définit une stratégie qui s'étend à l'ensemble des secteurs d'activités, y compris l'industrie, le transport et le bâtiment. Cette loi est fondée sur des dizaines de mesures clés, qui peuvent être résumées en :

- Introduction des normes d'efficacité énergétique pour les bâtiments neufs (isolation thermique obligatoire sauf pour les bâtiments individuels à titre transitoire) et les appareillages fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers (étiquetage obligatoire des rendements énergétiques)
- Mise en place d'un contrôle par des organismes et laboratoire agréés pour les bâtiments neufs, les appareils et les véhicules à moteur.
- Audits obligatoires et périodiques pour les établissements grands consommateurs d'énergie EGCE (industrie, transport et tertiaire) par des bureaux d'études et des experts agréés.
- Actions de formation et de démonstration pour les secteurs publics et privés, ainsi que de sensibilisation du grand public et du milieu scolaire.
- Création d'un programme pluriannuel intégrant l'économie d'énergie, les énergies renouvelables, les normes, la réduction de l'impact environnemental, la sensibilisation et la recherche.
- Création d'un fonds national alimenté par des taxes sur la consommation d'énergie, des subventions, des amendes et des taxes sur les appareils énergivores.

- Avantages financiers, fiscaux et douaniers pour les actions améliorants l'efficacité énergétique et promouvant les énergies renouvelables.
- Centralisation des données statistiques sur l'énergie par un organisme national pour améliorer la connaissance du système et permettre la maîtrise de la consommation, l'élaboration du bilan énergétique, des études prévisionnelles, etc.
- Confier la mise en œuvre des mesures à un organisme national compétent.
- Sanctions pour diverses infractions liées à l'efficacité énergétique :
  - Des amendes pour la non-conformité aux normes d'isolation, l'utilisation des appareils énergivores, le non-respect de l'étiquetage et le refus d'accès aux contrôleurs.
  - Des taxes sont prévues sur les appareils à consommation excessive, et l'importation de certains appareils et véhicules usagers non-conformes et interdite.

<p style="text-align: center;"><b>TITRE I : DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE</b></p> <p><b>Chapitre I</b> : Définitions (Art. 2-5)</p> <p><b>Chapitre II</b> : Principes et objectifs (Art. 6-7)</p> <p style="text-align: center;"><b>TITRE II : modalités de concrétisation de la maîtrise de l'énergie</b> (Art. 8)</p> <p><b>Chapitre I</b> : Normes et exigences d'efficacité énergétique (Art. 9)</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>Section I</b> : L'isolation thermique dans les bâtiments neufs (Art. 10-12)</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>Section 2</b> : Les appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers (Art. 13-15)</p> <p style="text-align: center;"><b>TITRE II : CONTRÔLE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE</b> (Art. 16-19)</p> <p><b>Chapitre III</b> : L'audit énergétique (Art. 20-23)</p> <p><b>Chapitre IV</b> : La sensibilisation des utilisateurs (Art. 24-25)</p> <p><b>Chapitre V</b> : Le programme national de maîtrise de l'énergie (Art. 26-28)</p> <p><b>Chapitre VI</b> : Le financement de la maîtrise de l'énergie (Art. 29-32)</p> <p><b>Chapitre VII</b> : Les mesures d'incitation et d'encouragement (Art. 33-34)</p> <p><b>Chapitre VIII</b> : La connaissance du système énergétique national (Art. 35-36)</p> <p><b>Chapitre IX</b> : La coordination des actions de maîtrise de l'énergie (Art. 37-39)</p> <p style="text-align: center;"><b>TITRE III : CONTROLE ET SANCTIONS</b> (Art. 40-50)</p>
--

**Figure 3.4 : Synthèse de la loi n°99-09**

Source : auteur d'après (RADP, 1999)

Les textes d'application de la loi n°99-09 relative à la maîtrise de l'énergie sont présentés en Annexe A

### **3.2.3.3. Cadre institutionnel :**

De nombreux organismes publics sont impliqués, directement ou indirectement, dans la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie et s'engagent à respecter le cadre national du développement durable. Ceux-ci concernés principalement des ministères de l'énergie, de l'environnement et des énergies renouvelables, de l'habitat de l'urbanisme et de la ville, des finances, de l'industrie et de la production pharmaceutique, de l'intérieur des collectivités locales et de l'aménagement du territoire, de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, ainsi que d'autres institutions mises en place à cet effet (tableau 3.3). La mission de promouvoir l'efficacité énergétique a été confiée à l'APRUE, qui intervient notamment à travers la sensibilisation, la communication, la formation et la coordination des actions de maîtrise de l'énergie.

## **APRUE**

Créée par décret présidentiel en 1985, l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) est la première institution publique chargée du développement et du suivi de la maîtrise de l'énergie. Placée sous la tutelle du ministère de l'énergie et des mines, elle veille à l'application de la politique nationale de maîtrise de l'énergie. Ses missions clés incluent la promotion des économies d'énergie, la mobilisation des acteurs concernés, l'encouragement des partenariats et des investissements, ainsi que la contribution au développement durable et le renforcement des capacités (RADP, 1985).

Outre l'APRUE, plusieurs autres institutions contribuent à la politique algérienne de la maîtrise de l'énergie, notamment le CIME, de la CNERIB, le CDER, le CNTPP et de l'Agence Algérienne de Promotion de l'Investissement. Le tableau 3.2 détaille leurs rôles et responsabilités respectifs.

**Tableau 3.2 : Institutions contribuant à la mise en œuvre de la politique de la maîtrise de l'énergie**

<b>Institution</b>	<b>Définition</b>	<b>Mission</b>
Conseil intersectoriel pour la maîtrise de l'énergie CIME	Créé par décret exécutif du 19 mai 2004, fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie PNME	Responsable de l'organisation de la concertation et du développement du partenariat public/privé
Centre National des Technologies des Productions Plus Propres CNTPP	établissement public à caractère industriel et commercial créé par décret exécutif n° 02-262 du 17 Août 2002, modifié et complété par le décret exécutif n°19-11 du 23 Janvier 2019. Il est placé sous la tutelle du Ministère de l'Environnement et des énergies renouvelables.	La mise en œuvre de la politique nationale en matière de protection de l'environnement, notamment pour la réduction des formes de pollutions et de nuisances industrielles à la source et une utilisation écologiquement rationnelle des ressources naturelles
Centre de développement des énergies renouvelables CDER	Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) créé le 22 mars 1988	chargé d'élaborer et de mettre en œuvre les programmes de recherche et de développement, scientifiques et technologiques, des systèmes énergétiques exploitant l'énergie solaire, éolienne, géothermique et l'énergie de la biomasse.
Centre national d'études et de	Placé sous la tutelle du ministère de l'habitat et de l'urbanisme, le	Chargé des activités intégrées de recherche appliquée, d'étude et de mise

**CHAPITRE III : CONVERGENCES DES STRATEGIES DE TRANSITION ENERGETIQUE ET DE  
GESTION INTEGREE DES DECHETS EN ALGERIE**

recherches intégrées du Bâtiment CNERIB	centre est transformé par décret présidentiel n°82-319, de l'institut national d'études et de recherches du bâtiment (INERBA) en CNERIB	en œuvre visant à faciliter l'élaboration d'outils de politique nationale en matière de logement et de construction.
Agence Algérienne de Promotion de l'Investissement	Créée par l'article 6 de l'ordonnance n° 01-03 du 20 août 2001 relative au développement de l'investissement, s'appelait autrefois l'Agence nationale de développement de l'investissement ANDI.	Responsable du développement et du suivi des investissements nationaux et étrangers.
Directions de l'énergie des wilayas DEW	Créées par décret exécutif le 10 septembre 2009, placées sous l'autorité du wali et implantées dans l'ensemble des wilayas du pays.	Responsables de la mise en œuvre des programmes du gouvernement en matière d'énergie au niveau local.
Observatoire de la maîtrise de l'énergie OME	Créé en 2006 par l'APRUE	Responsable de la gestion de l'information énergétique, du développement d'indicateurs, de la réalisation des analyses et de prospectives et de l'optimisation énergétique.
Commissariat aux Energies Renouvelables et à l'Efficacité Energétique CEREFÉ	Créé par décret exécutif n°19- 280 du 20 Octobre 2019, modifié et complété par le décret exécutif n°21-95 du 10 mars 2021.	Contribue au développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique en Algérie, à travers l'analyse et l'évaluation de la politique nationale, la production de rapports annuels d'évaluation, et l'élaboration de documents techniques et stratégiques liés à la transition énergétique.

Source : auteur sur la base de RADP

#### **3.2.3.4. Dispositif financier**

Le Fonds national pour la maîtrise de l'énergie (FNME), a été créé en vertu de l'article 64 de la loi de finances de 2000, afin de financer le programme national de maîtrise de l'énergie. Ce fonds est alimenté par des subventions de l'état, des taxes sur la consommation nationale d'énergie et les appareils énergivores, des amendes, des remboursements de prêts non rémunérés, et d'autres ressources. Le PNME contribue au financement des actions et des projets de promotion renouvelables et de la cogénération, ainsi d'actions et de projets pour la maîtrise de l'énergie. Il accorde des prêts sans intérêt pour les investissements dans l'efficacité

énergétique (en dehors du programme national) et fournit des garanties pour les prêts bancaires (RADP, 1999).

Les décrets et arrêtés précisant les modalités d'application du FNME sont présentés en Annexe A.

### **3.2.3.5. Focus sur le secteur du bâtiment**

#### **a. La réglementation thermique**

La réglementation thermique algérienne a été instaurée en 1997 avec l'élaboration des Documents Techniques Réglementaires par le CNERIB sous la tutelle du ministère de l'habitat et de l'urbanisme. Ces documents définissent les valeurs de références, les méthodes de calcul, les zones climatiques et les paramètres climatiques à utiliser. Les DTR ont été prévus par deux arrêtés distincts : celui de 10 décembre 1997 pour les déperditions (DTR C3-2) et celui de 18 août 1998 pour les apports (DTR C3-4) (CTC, 2023).

La mise en place de la loi 09-99 relative à la maîtrise de l'énergie notamment son article 11 a permis la promulgation le mois d'avril 2000 d'un décret qui impose une réglementation thermique pour les bâtiments neufs (logements et autres, y compris les extensions). Les maîtres d'ouvrages doivent garantir une construction respectant les normes techniques spécifiées dans les DTR par :

- La limitation des déperditions de chaleur en hiver et des apports de chaleur en été, en références à des valeurs définies dans DTR.
- Renouvellement d'air réglementé, avec un débit minimal et un débit maximal (de référence) spécifiés dans les DTR.
- Obligation de dispositifs automatiques de régulation pour les systèmes de chauffage (sauf installations individuelles simples) et de climatisation.
- Limitation de la perméabilité à l'air pour les ouvrants entre zones climatisées et non climatisées, selon les DTR.

L'arrêté du 30 juillet 2016 met à jour la réglementation thermique, en abrogeant les précédents arrêtés concernant les règles de calcul des déperditions et des apports calorifiques (datant de 1997 et 1998 respectivement), et la mise en application d'un nouveau et seul DTR

C3.2/4. Cette mise à jour s'impose afin d'intégrer efficacement le nouveau zonage climatique, ainsi que les avancées technologiques dans le domaine du bâtiment. Ce nouveau DTR, dont l'élaboration et la diffusion sont confiées au centre national d'études et recherches intégrées du bâtiment (CNERIB), précise les méthodes pour :

- Evaluation de la conformité réglementaire des bâtiments.
- Calcul des flux thermiques (déperditions et apports calorifiques).
- Conception des systèmes de chauffage des bâtiments.

Ce DTR définit également les seuils maximaux pour les pertes de chaleur en hiver (déperditions de références) et les gains thermiques en été (apports de références) en se basant sur les exigences réglementaires. Le respect de ces seuils permet de réduire la consommation énergétique liée au chauffage et la climatisation, tout en assurant un meilleur confort thermique (CNERIB, 2017).

#### **b. Présentation des projets inscrits dans le cadre du PNME pour le secteur du bâtiment**

Le secteur du bâtiment en Algérie est un grand consommateur d'énergie (46 % selon le dernier rapport du bilan énergétique (ME, 2025) et verra sa demande énergétique croître fortement. Face à la vulnérabilité accrue au changement climatique (étés plus chauds et hivers plus rigoureux), l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments est un enjeu majeur. Le programme "EE-Building" (tableau 3.3) vise à concilier confort thermique et réduction de la consommation d'énergie pour une croissance durable grâce à l'isolation, l'optimisation des transferts thermiques, la promotion d'équipements économes en énergie, l'adoption de nouvelles technologies, la mobilisation des professionnels de la construction, la formation d'une main-d'œuvre qualifiée, la création d'un marché durable et la réduction des émissions de gaz à effet de serre (APRUE, 2022).

**Tableau 3.3: Exemples de projets intégrés dans le programme « EE-Building »**

<b>Projet</b>	<b>Objectif</b>	<b>Bénéficiaires</b>	<b>Montant de l'aide</b>
Revêtement Réfléctif pour Toitures	Améliorer l'efficacité énergétique des toitures en réduisant la consommation d'énergie liée à la climatisation	Établissements tertiaires/administration	Calculée sur la base du coût de l'opération
Climatiseurs Individuels Performants	Améliorer le confort thermique et réduire la consommation énergétique grâce à des climatiseurs performants	Particuliers (ménages) et petit tertiaire	50 000,00 DA
Pompes à Chaleur (PAC) au Gaz Naturel	Promouvoir la climatisation au gaz naturel comme alternative à l'électricité pour réduire la consommation énergétique.	Établissements tertiaires/administratifs ( $\geq 500m^2$ )	Calculée sur la base du coût de l'opération
Chauffe-eaux Solaires	Déployer les chauffe-eaux solaires individuels et promouvoir l'énergie renouvelable pour la production d'eau chaude sanitaire.	Particuliers (ménages) Petit tertiaire, collectivités locales	65 000,00 DA
Systèmes de Management de l'Energie (BMS)	Promouvoir les systèmes de gestion de l'énergie pour optimiser la consommation énergétique.	Établissements hôteliers	Calculée sur la base du coût de l'opération

Source : auteur s'après (APRUE, 2022).

### **3.2.4. Comment le nouveau modèle énergétique algérien s'articule-t-il avec les objectifs de développement durable?**

À première vue, les ODD 7, 11, 12 et 13, qui spécifiquement axés sur les enjeux énergétiques, semblent être les seuls à aborder cette question dans le cadre plus large du développement durable. Toutefois, un examen plus approfondi révèle que de nombreux autres objectifs, même s'ils ne sont pas explicitement focalisés sur l'énergie, contribuent de manière significative à la transition énergétique. Ces objectifs interconnectés englobent des domaines tels que la croissance économique, l'action climatique et les villes durables, qui sont tous essentiels à une gestion énergétique intégrée.

Afin de mieux souligner la contribution de la politique énergétique algérienne à un avenir énergétique durable, nous allons explorer dans la section suivante, les convergences entre les piliers du nouveau modèle énergétique algérien et l'ensemble des ODD (tableau 3.4).

### **Pilier 1 : Utilisation prioritaire du gaz naturel**

- **ODD 7 (Énergie propre et d'un coût abordable):** Le gaz naturel est le carburant le plus propre, avec une pollution principalement liée au soufre et une infime quantité d'azote. Etant une énergie gazeuse, il permet une évaluation et une séparation du soufre qu'il contient, ce qui conduit à ce que sa combustion ne génère aucune particule de poussière ni dioxyde de soufre. Il offre également une meilleure efficacité énergétique et des coûts d'exploration relativement bas (Sun, 2023).

- **ODD 13 (Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques) :** La production de l'électricité à partir du gaz naturel se distingue de celle issue des autres énergies fossiles par sa propreté et son efficacité. Les centrales à gaz offrent en effet des avantages environnementaux notables : les émissions de CO<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub>O sont respectivement inférieures de 44% et 50% à celles des centrales à charbon (Sun, 2023).

- **ODD 8 (Travail décent et croissance économique) :** L'utilisation du gaz naturel peut contribuer à la réalisation de l'ODD 8 de plusieurs manières. L'industrie du gaz naturel peut en effet créer des emplois directs et indirects, notamment dans les domaines de l'extraction, du transport, de la distribution, de la construction et de l'entretien des infrastructures, ainsi que dans les activités de recherche et de développement. Il peut également contribuer à accélérer la croissance économique en répondant aux besoins de l'industrie et des centrales électriques.

- **ODD 9 (Industrie, innovation et infrastructure) :** Le gaz naturel peut servir de combustible dans diverses industries, soutenant ainsi la compétitivité et la croissance industrielle. En le remplaçant par un autre combustible propre, l'infrastructure gazière existante peut être adaptée, favorisant ainsi la croissance économique et l'innovation tout en limitant les investissements initiaux et en facilitant une transition plus rapide. Des études ont montré que les infrastructures gazières existantes peuvent être modernisées pour soutenir l'utilisation de sources d'énergie plus propres (Quintino et al., 2021).

**Pilier 2 : Promotion des énergies renouvelables :**

- **ODD1 (Réduction de la pauvreté) :** Les énergies renouvelables peuvent contribuer de manière significative à la réduction de la pauvreté en remédiant aux pénuries d'énergie et en améliorant les conditions socio-économiques des zones vulnérables. Une étude menée au Brésil sur le rôle des énergies renouvelables dans la lutte contre la pauvreté a confirmé que l'exploitation du potentiel énorme du pays, en particulier grâce à un meilleur accès à l'énergie, permet d'améliorer les conditions de vie et de croître les opportunités d'emploi, contribuant ainsi directement à réduire le taux de pauvreté (Da Silva et al., 2024) .

- **ODD3 (Garantir une vie saine) :** La transition vers des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie éolienne et solaire réduit considérablement les polluants atmosphériques, qui sont liés aux maladies respiratoires et à d'autres problèmes de santé (Agbakwuru et al., 2024).

- **ODD 7 (Énergie propre et d'un coût abordable):** Convergence directe, les énergies renouvelables étant au cœur de cet objectif. Elles offrent un accès à une énergie durable et abordable à long terme, même si les coûts initiaux sont élevés, les sources sont inépuisables, les prix seront stables à long terme (Agbakwuru et al., 2024).

- **ODD 13 (Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques):** La transition vers des sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie solaire, éolienne, hydraulique et géothermique, offre des voies pour réduire les émissions mondiales de carbone permettant d'atténuer le changement climatique.

- **ODD 8 (Travail décent et croissance économique):** Les projets d'énergie renouvelable peuvent stimuler les économies locales en créant des emplois dans les domaines de l'installation, de la maintenance et de la fabrication.

- **ODD 9 (Industrie, innovation et infrastructure):** La promotion des énergies renouvelables fait partie intégrante de la réalisation de l'ODD 9, qui met l'accent sur l'industrie, l'innovation et les infrastructures, Le développement des énergies renouvelables nécessite des investissements dans les infrastructures (panneaux solaires

par exemple), favorisant l'innovation et la modernisation industrielle.

- **ODD 10 (Inégalités réduites):** L'accès aux énergies renouvelables peut réduire les disparités, notamment dans les zones rurales et les zones isolées. En garantissant l'accès à une énergie propre, les projets d'énergie renouvelable contribuent à la création d'emplois, à la réduction des inégalités de revenus et renforcent la justice sociale en assurant une distribution équitable et abordable de l'énergie pour toutes les catégories de la population (Volodzkiene & Streimikiene, 2024).

- **ODD 11 (Villes et communautés durables):** Les énergies renouvelables contribuent à la création de villes plus durables et résilientes. Une étude récente a montré que la nouvelle capitale indonésienne Nusantara vise à être durable et atteindre 100% d'énergie verte à l'horizon 2045. Cela impliquerait la mise en place d'une centrale solaire de 4,4 GW, ainsi que des contributions hydroélectriques et éoliennes (Yudiartono et al., 2024).

- **ODD 12 (Consommation et production responsables):** La production d'énergie à partir de ressources naturelles renouvelables permet de réduire la surexploitation des réserves d'énergie fossile non renouvelable, diminuant ainsi les impacts sociaux et environnementaux associés et ajoutant de la valeur à la production économique (« Rapport Sur les Objectifs de Développement Durable 2017 », 2017).

- **ODD 1 (Pas de pauvreté) et ODD 2 (Faim "zéro") :** L'utilisation des énergies renouvelables permet d'éliminer la faim et assurer la sécurité énergétique, et ceux à travers :

- L'amélioration de la productivité agricole : l'irrigation solaire a entraîné une augmentation de 15% des rendements agricoles au Bangladesh, tandis que le séchage solaire a permis de réduire les pertes après récolte de 30% ;

- Le soutien de stockage et de la distribution des aliments : la réfrigération solaire a permis une augmentation de 25% dans la consommation de lait dans les zones rurales du Kenya (Godwins et al., 2024).

### Pilier 3 : Économie d'énergie :

- **ODD 7 (Énergie propre et d'un coût abordable):** Les mesures de l'efficacité énergétique peuvent réduire la demande d'énergie, en rendant le coût plus abordable. A titre d'exemple ; une rénovation énergétique d'un bâtiment tertiaire en Inde, a permis d'économiser 30 % de la consommation et des coûts d'énergie (Sharma et al., 2024).
- **ODD 12 (Consommation et production responsables):** L'économie d'énergie est un pilier de la consommation et de la production responsable. Réduire la consommation d'énergie dans les différents secteurs en adoptant des habitudes de consommation et de production durables permet de diminuer les coûts énergétiques et d'utiliser plus rationnellement les ressources naturelles.
- **ODD 13 (Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques):** Les changements climatiques résultent principalement de la combustion des énergies fossiles, un processus qui émet inévitablement le CO<sub>2</sub>. Ce gaz à effet de serre s'accumule dans l'atmosphère et y persiste pendant des décennies, voire un siècle (Mathis, 2004). Par conséquent, réduire la consommation d'énergie est une nécessité pour limiter les émissions de GES et atténuer leur impact sur le climat.
- **ODD 9 (Industrie, innovation et infrastructure):** La réutilisation des ressources et la réduction des déchets (transition d'une économie linéaire à une économie circulaire), ainsi que l'investissement dans des infrastructures à haut rendement énergétique (transport à énergie propre), sont des exemples de moyens permettant de promouvoir des solutions industrielles durables et des infrastructures résilientes.
- **ODD 11 (Villes et communautés durables):** La croissance rapide des villes entraîne une augmentation de la consommation d'énergie, posant des problèmes de pollution et d'épuisement des ressources. Une planification urbaine durable permet donc de construire des villes moins consommatrices d'énergie, tout en préservant les ressources et l'environnement. L'ODD 11 est étroitement lié à l'ODD 7 (énergie propre et abordable) et à l'ODD 13 (lutte contre le changement climatique), soulignant ainsi la nécessité de solutions énergétiques durables en milieu urbain.

- **ODD 8 (Travail décent et croissance économique):** L'efficacité énergétique peut créer des emplois dans les secteurs de la rénovation, notamment par:
  - La rénovation des bâtiments existants pour améliorer leur performance énergétique ;
  - Le remplacement des équipements énergivores par des solutions plus économes, l'industrie des éco-matériaux ;
  - La réalisation des audits énergétiques périodiques pour identifier les gisements d'économie d'énergie, etc ;

**Tableau 3.4 : Intersection des objectifs du développement durable avec les piliers de la transition énergétique**

<b>Pilier du nouveau modèle énergétique</b>	<b>Objectifs de développement durable ODD</b>	<b>Dimension de développement durable</b>
Utilisation prioritaire du gaz naturel	7. Energie propre d'un coût abordable	Environnementale
	13. Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques	
	8. Travail décent et croissance économique	Economique
	9. Industrie, innovation et infrastructure	
	1. Pas de pauvreté	
Promotion des énergies renouvelables	2. Faim "zéro"	Sociale
	3. Garantir une vie saine	
	7. Energie propre d'un coût abordable	Environnementale
	12. Consommation et production responsables	
	13. Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques	
Economie d'énergie	9. Industrie, innovation et infrastructure	Economique
	11. villes et communautés durables	Sociale, économique et environnementale
	8. Travail décent et croissance économique	Environnementale
	9. Industrie, innovation et infrastructure	
	7. Energie propre d'un coût abordable	
Economie d'énergie	13. Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques	Environnementale
	11. villes et communautés durables	Sociale, économique et environnementale
	12. consommation et production responsable	

Source : auteur 2025

### **3.3. La politique de la gestion des déchets**

#### **3.3.1. Le contexte de la politique de la gestion des déchets**

La politique algérienne de gestion des déchets a été élaborée dans le contexte de la Stratégie Nationale Environnementale (SNE), de même que dans le Plan National d'Actions Environnementales et du Développement Durable (PNAE-DD). La mise en œuvre de cette initiative a donné lieu à la promulgation de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, et qui aborde les aspects relatifs à leur prise en charge. Cette politique repose sur plusieurs principes fondamentaux :

- Prévenir et minimiser la production et la nocivité des déchets dès leur origine
- Structurer efficacement le tri, la collecte, le transport et le traitement des déchets
- Valoriser les déchets par le réemploi, le recyclage ou toute autre opération permettant d'obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie à partir des déchets
- Assurer le traitement écologiquement rationnel des déchets
- Sensibiliser la population aux dangers des déchets pour la santé et l'environnement
- Développer des instruments de gestion : le Programme National de Gestion Intégrée des Déchets Solides Ménagers (PROGDEM) et le Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES) (AND, s. d.).

#### **3.3.2. Instruments de la politique de la gestion des déchets**

##### **3.3.2.1. Cadre législatif**

###### **a) Loi 01-19**

La loi 01-19 est une loi cadre, établit un système complet et réglementé pour la gestion de tous les types de déchets, en mettant l'accent sur la responsabilité. Cette loi constitue le socle législatif de la politique nationale de la gestion des déchets avec plusieurs mesures clés :

- Elle apporte une définition et une catégorisation claire des déchets (spéciaux, déchets ménagers et assimilés, inertes, etc.), ainsi que les acteurs impliqués dans leur gestion (générateurs, détenteurs, exploitants d'installations, communes, etc)
- Elle fixe les obligations des générateurs et détenteurs des déchets

- Elle institue le Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES) et le schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés.
- Elle réglemente les installations de traitements des déchets (conditions d’implantation, et d’exploitation, obligation de réhabilitation du site après fermeture, surveillance et contrôle
- Elle réglemente les flux de déchets, notamment le transport, l’importation, l’exportation et le transit des déchets spéciaux, en particulier les déchets dangereux.
- Elle prévoit des sanctions pénales (amendes et peines d’emprisonnement) pour les infractions à ses dispositions (dépôt illégal de déchets, exploitation d’installation non autorisées, importation illégale des déchets dangereux).
- Elle prévoit également un système d’impôts, de taxes et de redevances pour la gestion des déchets ménagers, ainsi que des mesures incitatives pour encourager les activités de gestion (RADP, 2001).

Les textes législatifs d’application de la loi 01-19 sont présentés en Annexe A.

**b) Loi n° 25-02**

Consciente des limites du cadre législatif antérieur face aux défis actuels, l’Algérie a procédé à une actualisation de sa législation en la matière par la promulgation de la loi n° 25-02 du 20 février 2025, modifiant et complétant la loi n° 01-19 du 12 décembre (RADP, 2025). Le tableau suivant illustre les principales modifications apportées par cette nouvelle loi (tableau 3.5).

**Tableau 3.5 : modifications apportées par la loi n° 25-02**

<b>Article</b>	<b>Loi n° 25-02 (2025) : Modifications apportées</b>
<b>Art.2</b>	Introduction de nouveaux principes comme <b>l’éco-conception</b> , la <b>hiérarchie des modes de traitement</b> (préparation à la réutilisation, réutilisation, réparation, valorisation, élimination) et la <b>responsabilité élargie des producteurs</b> .
<b>Art.3</b>	Ajout de <b>nouvelles définitions</b> , notamment : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déchets organiques, déchets marins, déchets ultimes</li> <li>- Gestion intégrée des déchets</li> <li>- Valorisation des déchets (avec distinction entre valorisation matière et valorisation énergétique, et des sous-catégories comme : le réemploi, la réutilisation, le recyclage, le compostage, la méthanisation)</li> </ul>

**CHAPITRE III : CONVERGENCES DES STRATEGIES DE TRANSITION ENERGETIQUE ET DE  
GESTION INTEGREE DES DECHETS EN ALGERIE**

---

---

	<ul style="list-style-type: none"><li>- Economie circulaire, éco-conception, éco-organisme</li><li>- Prévention des déchets, sortie du statut des déchets</li><li>- Producteur/metteur du produit sur le marché, Responsabilité élargie du producteur</li><li>- Produit plastique à usage unique.</li></ul>
<b>Art.6</b>	Ajoute le recours systématique à l' <b>éco-conception</b> pour éviter la production de déchets, et l'adoption des fondements de l' <b>économie circulaire</b> .
<b>Art.7</b>	Ajout de l'obligation de recourir à des <b>éco-organismes</b> pour la valorisation (qui remplace le mot traitement) ; nouvelles dispositions sur la création et le fonctionnement de ces structures.
<b>Art.7 bis et 7 bis1</b>	Nouveaux articles : <ul style="list-style-type: none"><li>- 7 bis : définition des conditions de <b>sortie du statut de déchet</b>.</li><li>- 7 bis 1 : instauration d'une <b>éco-contribution</b> des producteurs</li></ul>
<b>Art.10 bis</b>	Interdiction progressive des <b>produits plastiques à usage unique</b> .
<b>Art.14 bis</b>	Création du <b>Plan de Wilaya de gestion des déchets spéciaux</b> , déclinaison du plan national.
<b>Art.18 bis</b>	Interdiction d'usage des <b>déchets spéciaux en agriculture</b> sans traitement préalable ; normes sanitaires à respecter.
<b>Art.25</b>	Confirmation de l' <b>interdiction d'importer des déchets spéciaux</b> , sauf valorisables avec autorisation du ministre de l'environnement.
<b>Art.33 bis à 33 bis2</b>	Mise en place d'un <b>schéma de Wilaya</b> pour les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.
<b>Art.46 et 53</b>	Clarification des <b>organes de contrôle</b> : mention explicite de la <b>police de l'environnement</b> et renforcement des bases juridiques du contrôle.
<b>Art. 55 à 66</b>	Augmentation des amendes pour diverses infractions liées à la gestion des déchets. Les d'emprisonnement sont également précisées ou augmentées dans certains cas.

Source : auteur 2025

**c) Place de la valorisation énergétique dans la nouvelle loi sur la gestion des déchets**

La nouvelle loi renforce significativement la place de la valorisation énergétique dans la gestion des déchets en Algérie, et ce à travers plusieurs dispositions :

- Elle lui donne une définition légale claire (article 3), en précisant notamment des technologies comme la méthanisation, un procédé clé de valorisation énergétique qui transforme les déchets organiques en biogaz (source d'énergie renouvelable) et en digestat (résidu solide utilisé comme amendement organique).
- Elle la positionne favorablement dans la hiérarchie des modes de traitement (article 2),

en la plaçant avant l'élimination. Cela signifie que la récupération d'énergie est désormais juridiquement préférée à la simple mise en décharge (contrôlée et enfouissement), largement pratiquée depuis 2001, lorsque la prévention, la préparation à la réutilisation, la réutilisation et le recyclage ne sont pas possible.

- Elle prévoit son développement potentiel via le mécanisme des éco-organismes (article 7), désormais obligatoire pour assurer la valorisation des déchets (le terme « valorisation » remplaçant celui de « traitement » dans la loi).
- Elle l'intègre indirectement dans le cadre plus large de l'économie circulaire (article 3), qui implique une gestion plus efficace des ressources. La valorisation énergétique s'inscrit dans cette logique en permettant de récupérer l'énergie contenue dans les déchets non valorisables matériellement, contribuant ainsi à fermer le cycle énergétique.
- Elle l'intègre également dans la logique de l'éco-conception (article 3), qui exige implicitement une anticipation de la fin de vie énergétique des produits.
- Elle l'impose comme condition d'importation des déchets spéciaux (article 25), qui est interdite sauf s'ils sont valorisables, sous réserve d'une autorisation ministérielle (RADP, 2025).

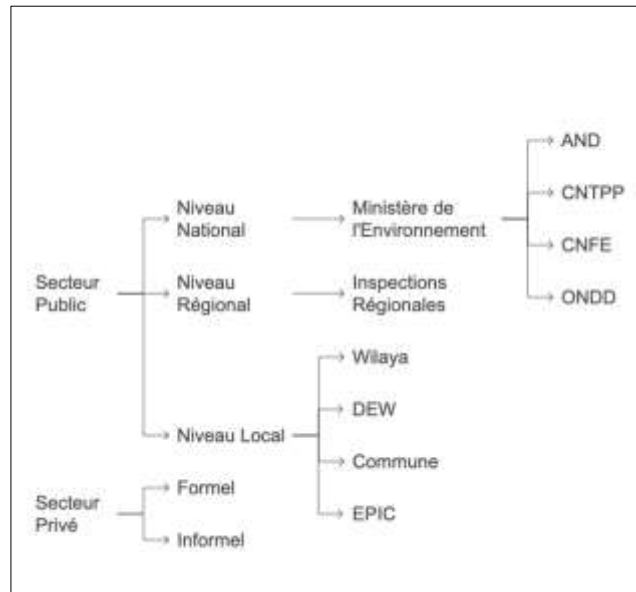
Ces dispositions traduisent une évolution remarquable de la politique algérienne de gestion des déchets, en alignement avec les principes de transition énergétiques, qui seront abordé dans la section 2.3.

### 3.3.2.2. Cadre institutionnel et acteurs de la gestion des déchets

En Algérie, La gestion des DMA est organisée d'une façon générale en trois niveaux sectoriels (figure 3.5):

- **Le secteur public** : responsable du contrôle et de l'application des réglementations en matière de gestion des déchets solides, ainsi que de la collecte dans de nombreuses communes ;
- **Le secteur privé formel** : impliqué dans la gestion des déchets, notamment la collecte et le recyclage ;

- **Le secteur privé informel** : participe à la réutilisation de certains types de déchets et contribue à une collecte parallèle au niveau des points d'apports et autres endroits de
- stockage (décharges sauvages, commerces de proximités, entreprises...) (MEER, 2017).



**Figure 3.5 : Acteurs de gestion des déchets**  
Source : auteur 2025

#### a) Secteur public

##### o Au niveau national

##### - Le ministère chargé de l'environnement

Le ministère chargé de l'environnement (actuellement désigné sous le nom de ministère de l'environnement et de la qualité de vie), assume plusieurs fonctions essentielles en matière de gestion de déchets (RADP, 2001), notamment :

- L'octroi d'autorisation pour les installations de traitement des déchets spéciaux et pour l'exportation/transit des déchets dangereux.
- La contribution à l'élaboration de la législation relative à la gestion des déchets
- La mise en œuvre et le suivi de la stratégie nationale environnementale
- La définition de la politique environnementale urbaine

- La promotion du recyclage et de la valorisation des déchets
- La gestion des programmes nationaux de déchets (le Programme National de gestion des Déchets Ménagers et Assimilés PROGDEM, et le Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux PNAGDES)

Outre le ministère chargé de l'environnement, plusieurs institutions placées sous sa tutelle appuient ses efforts dans le domaine de la gestion des déchets. Ces institutions sont présentées dans le tableau ci-dessous (tableau 3.6)

**Tableau 3.6 : Structures d'appui du MEER pour la gestion des déchets.**

Institution	Statut	Missions principales
L'Agence Nationale des Déchets (AND)	EPIC, créé en 2002 par le décret exécutif n° 02-175 du 20 mai 2002	Mise en œuvre de la politique des déchets, assistance aux collectivités, promotion du recyclage.
Centre National des Technologies de Production Plus Propre (CNTPP)	Institution technique, créée par le Décret exécutif n° 02-262 et placé sous tutelle du MEER	Promotion des technologies de production plus propres et audits environnementaux dans l'industrie
Conservatoire National des Formations à l'environnement (CNFE)	Organisme de formation, créé par décret exécutif n°02-263 (modifié par le décret n°12-174), sous tutelle du MEER	Formation et sensibilisation des intervenants publics et privés
Observatoire National de l'Environnement et de Développement Durable (ONEDD)	Créé par le décret exécutif n° 02-115, sous la tutelle du MEER	Collecte et analyse les données environnementales, produit des outils d'aide à la décision.

Source : auteur sur la base de plusieurs sources

○ **Au niveau régional**

- **Inspections régionales de l'environnement**, établies initialement en 1996 par décret exécutif n°96-59, elles ont pour mission d'assurer les activités d'inspection et de contrôle environnemental. Ces inspections sont réparties sur cinq régions du pays :

Annaba (est), Alger (centre), Oran (ouest), Ouargla (sud-est) et Béchar (sud-ouest).

- **Les Directions de l'Environnement de Wilaya (DEW)**, créées par le décret exécutif n°96-60 du 27 janvier 1996, jouent un rôle clé dans la gestion des déchets à travers trois axes principaux: la coordination, le contrôle et l'information. Pour exercer ce rôle, les DEW disposent de plusieurs outils, tels que les inspections, les mises en demeure, les procès-verbaux, et en cas d'infraction grave, de fermeture administrative des installations concernées (DJEMACI & AHMED ZAÏD-CHERTOUK, 2011).

- o **Au niveau local**

- **La wilaya** est une collectivité territoriale de l'état, présidé par un Wali nommé par décret présidentiel. il joue un rôle clé dans :

- L'approbation des schémas directeurs de gestions des déchets
- L'autorisation des délibérations des APC sur la Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagère (TEOM).
- La supervision des établissements de traitement des déchets.
- La coordination de la mise en place des unités de tri et de valorisation.

- **La commune**, à travers l'Assemblée Populaire Communale (APC), est l'unité de base de gestion locale des déchets. Elle est responsable de :

- L'élaboration et la mise en œuvre de plans communaux de gestion des déchets.

- L'amélioration continue du service public de propreté.

- La sensibilisation de la population.

- La possibilité de déléguer la gestion des EPIC (Etablissement Publics à caractère Industriel et Commercial).

- **Les EPIC** créés au niveau des communes et des wilayas, assurent les services de collecte, transport, traitement et parfois de valorisation des déchets. Leur gouvernance est souvent contrôlée par le Wali, avec disparités régionales en matière de compétences et de ressources. On distingue : les EPIC de gestion de CET, les EPIC de collecte et de transport et les EPIC intercommunaux et communaux.

#### **a) Secteur Privé**

- **Formel** : Il s'agit d'opérateurs privés (entreprises) agissant dans le cadre de concessions accordées par les communes pour la collecte des déchets, de petites entreprises créées avec le soutien de l'ANSEJ, de l'ANGEM et de l'ADS, et exploitées dans le recyclage et la récupération des déchets, ainsi que d'entreprises qui réutilisent des déchets triés comme matière première dans leurs processus de production.

- **Informel** : Acteurs non enregistrés (individus, familles, petits collecteurs) structurés selon des filières par type de déchet. Ces opérateurs assurent le tri et la revente aux industries de recyclage, jouant un rôle économique en valorisant les déchets, réduisant les coûts publics et générant des revenus. Toutefois, leur forte vulnérabilité sociale et sanitaire nécessite des actions de sensibilisation, de régularisation et d'intégration dans le secteur formel (DJEMACI & AHMED ZAÏD-CHERTOUK, 2011).

#### **3.3.2.3. Cadre opérationnel**

Pour concrétiser les objectifs de la politique nationale de gestion des déchets, deux programmes ont été élaborés, notamment :

- Le Programme National de Gestion des Déchets Ménagers et Assimilés (PROGDEM)
- Le plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES)

#### **a) Programme National de Gestion des Déchets Ménagers et Assimilés (PROGDEM)**

Le PROGDEM constitue le prolongement de la loi n°01-19 et sert de cadre de référence pour la politique algérienne de gestion de DMA. Ce programme vise à assurer l'élimination des déchets dans des conditions sanitaires et environnementales optimales. Ce programme comprend les actions suivantes :

- L'élaboration et la mise en œuvre des schémas directeurs de gestion des déchets.
- La fermeture et réhabilitation des décharges sauvages
- La création des centres d'enfouissement techniques (CET)
- L'amélioration des infrastructures et équipements de collecte et de transport des déchets

- L'aménagement des sites destinés à l'enfouissement des déchets inertes (MATE, 2001).

#### **b) Le plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES)**

Institué par la loi 01-19, et élaboré par le décret exécutif n°03-477 du 09 décembre 2003(MATE, 2003), le PNAGDES est un outil de planification, d'organisation, et de gestion des déchets spéciaux à l'échelle nationale. Il sert d'aide à la décision, en proposant des solutions variées et adaptées pour le traitement de ces déchets, en se basant sur l'état actuel de leur gestion. Le PNAGDES, tel que prévu par la loi n° 01-19 du 12 décembre 2001, comprend:

- Un inventaire annuel des quantités de déchets spéciaux produits sur le territoire national, en particulier ceux présentant un caractère dangereux.
- Le volume total des déchets en stock provisoire et définitif, classés par catégorie.
- La sélection des options de traitement pour chaque catégorie de déchets.
- La localisation des sites et installations de traitements existants.
- Une évaluation des besoins en capacité de traitement, tenant compte des installations existantes, des priorités pour la création de nouvelles installations et des moyens économiques et financiers nécessaires (RADP, 2001) .

#### **3.3.2.4. Instrument financier**

En Algérie, le financement du secteur des déchets repose sur plusieurs mécanismes :

- Taxe annuelle, forfaitaire et locale sur le service de l'enlèvement des ordures ménagères (TEOM) : Instituée en 1993 et opérationnelle en 1994, elle est imposé sur toutes les propriétés bâties. La TEOM a été revalorisée dès 2002
- Taxe sur le déstockage des déchets : Mise en place dès 2002
- Fonds National pour l'Environnement et la dépollution (FNED) : créé par la loi de finances complémentaire de 2001, il est alimenté par :
  - La Taxe sur les Activités Polluantes et Dangereuses (TAPD).
  - Les amendes liées à la pollution.

- Les dons nationaux et internationaux.
- Les prêts
- Les dotations d'état (DJEMACI & AHMED ZAÏD-CHERTOUK, 2011).

### **3.3.3. La Stratégie Nationale et Plan d'Actions de la Gestion Intégrée et de la Valorisation des Déchets à l'Horizon 2035**

#### **III.3.3.1. Présentation de la SNGID 2035**

Le Programme National de Gestion des Déchets Municipaux (PROGDEM), a été mis en œuvre en 2002 afin de soutenir une politique environnementale orientée vers les collectivités locales. Ce programme a permis l'élaboration et la mise en place de schémas directeurs communaux pour la gestion des déchets, et la création de centres d'enfouissements technique (CET) et de centres de tri dans plusieurs wilayas. En complément, le Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES) a été initié en 2006 (MEER, 2017).

Le bilan du PROGDEM révèle les efforts importants déployés par le gouvernement algérien et les wilayas depuis le début des années 2000. Toutefois, ces efforts demeurent limités par une mise en œuvre insuffisante (tableau 3.7).

**Tableau 3.7 : Bilan du PROGDEM**

<b>Volet</b>	<b>Avancées</b>	<b>Limites</b>
Schémas Directeurs	81% des communes (sur 1541) ont élaboré un schéma directeur.	Seulement 41,5% mis en œuvre (après 15 ans). Manque d'analyses technico-économiques sur la valorisation et d'évaluations financières crédibles.
Décharges Sauvages	Environ 3 000 à 3 200 décharges recensées ; 1 700 réhabilitées ou fermées.	La plupart manquent d'aménagements de base pour la protection de l'environnement et de la santé. Absence de méthode claire pour évaluer la réhabilitation.
CET	346 projets élaborés, 177 réalisés.	Seulement 5 traitent les lixiviats, aucun ne capte le biogaz. Incohérences (implantation, études, exploitation). Souvent opérés sans autorisation officielle ni suivi environnemental.
Collecte	Délégation à des EPIC dans certaines communes	Les communes souffrent d'un manque de moyens, d'une mauvaise gestion et d'une dépendance aux subventions. Les EPIC manquent d'outils de gestion, de mesure de performance et de traçabilité des coûts.

Source : auteur sur la base de la SNGID

La Stratégie Nationale de la Gestion des Déchets (SNGID) à l’horizon 2035 s’inscrit comme une réponse structurante aux limites du système actuel de gestion des déchets en Algérie. Ce projet, cofinancé par l’Union Européenne au profit de ministère chargé de l’environnement à travers le PAPSE (Programme Sectorielle d’appui à la politique pour l’environnement), vise à corriger les dysfonctionnements existants par le développement d’une stratégie nationale valorisant le potentiel économique des déchets, notamment par du tri, du recyclage et de la valorisation (MEER, 2017). Cette stratégie répond parfaitement aux aspirations du nouveau modèle économique à l’horizon 2035, qui repose sur la recherche d’un équilibre fiscal, la promotion d’une économie de marché, et la préservation des ressources naturelles, notamment à travers une économie circulaire et l’usage accru des énergies renouvelables.

### **3.3.3.2. Objectifs et résultats attendus à l’horizon 2035**

La SNGID s’articule autour de cinq objectifs clés :

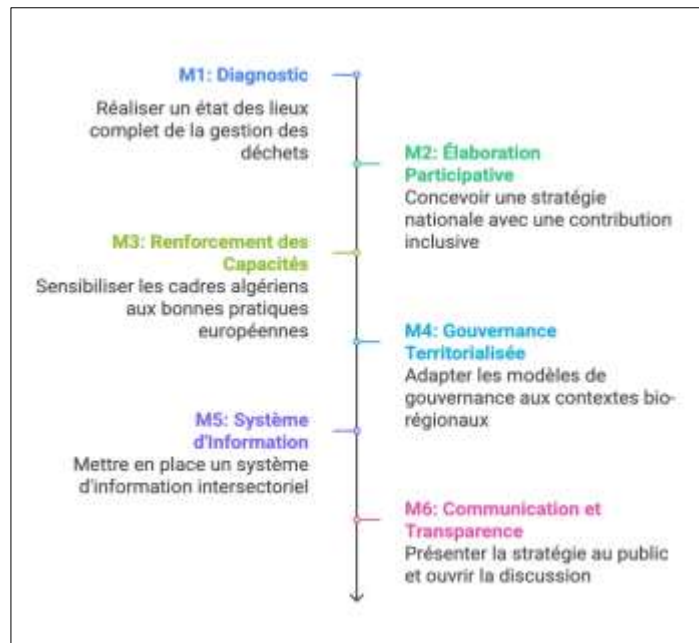
- 1) Prévenir le gaspillage ;
- 2) Promouvoir le tri sélectif
- 3) Réduire les risque sanitaires et environnementaux liés aux déchets ultimes ;
- 4) Appliquer le principe du pollueur-payeur ;
- 5) Renforcer l’implication du secteur privé.

La mise en œuvre progressive de cette stratégie devrait générer les résultats suivants :

- Une réduction de 10 % de la production de déchets ménagers et assimilés;
- Une valorisation des déchets générant 80 milliards de dinars pour l’économie nationale ;
- Une élimination complète des décharges sauvages (objectif fixé pour 2024) ;
- La création de 100 000 emplois (dont 30 000 directs) ;
- Un accroissement de la participation du secteur privé avec des investissements de 54 milliards de dinars (Partenariat public-privé) ;
- Une réduction annuelle de 45 millions de gaz à effet de serre, équivalant à un bénéfice

environnemental estimé à 150 milliards de dollars.

Cette stratégie se structure en six missions, tels que représentés dans la figure 3.6.



**Figure 3.6 : missions de la SNGID 2035**

Source : auteur 2025

### 3.3.3.3. Scenarios de la SNGID

Des scénarios préliminaires pour la gestion des DMA jusqu'en 2035 ont été élaborés, en attendant les simulations de la missions 2 de la SNGID (MEER, 2017). L'objectif principale est de trouver un équilibre financier entre les investissements nécessaires (qui ne seront plus entièrement financé par l'état) et les recettes attendues (taxes, valorisation des déchets, etc.).

Trois approches sont adoptées :

1. Définir un scénario de base en maintenant les proportions actuelles de production et de traitement des DMA.
2. Analyser trois scénarios alternatifs en ajustant les taux des taxes, de valorisation des déchets et de production énergétique.
3. Identifier le scénario le plus adopté pour réduire l'écart entre investissements et recettes.

Quatre scénarios ont ainsi été proposés, chacun visant un niveau différent de performance en matière de gestion des déchets (tableau 3.8).

**Tableau 3.8 : Tableaux comparatifs des 4 scénarios de la SNGID 2035**

<b>Caractéristiques</b>	<b>Scénario 1 (base)</b>	<b>Scénario 2</b>	<b>Scéna rio 3</b>	<b>Scéna rio 4</b>
<b>Taux de collecte</b>	Maintenu à 82,7%		Porté à 100%	
<b>Taux de compostage</b>	Maintenu à 1%	Porté à 15%	Porté à 25%	Porté à 50%
<b>Taux de recyclage</b>	Maintenu à 7%	Porté à 15%	Porté à 25%	
<b>Transformation recyclables</b>	Recyclables non transformés	Transformation en matières premières semi-finies (conformité ODD 11)		
<b>Enfouissement</b>	31% avec traitement inadéquat	DMA résiduel avec capture du méthane, production d'électricité et des lixiviats		
<b>Réduction empreinte carbone</b>	Non mentionnée	Oui (conformité ODD 13)		
<b>TEOM</b>	Taux actuel	Taux recalculé		
<b>Taux de recouvrement TEOM</b>	Testé à 25%, 50%, 80%	Testé à 25%, 50%, 80% + Analyse équilibre financier		
<b>Prise en compte revenus</b>	- Prix marché recyclables (non- transformés).  - Prix du compost non considéré	Prix marché compost et recyclables (non- transformés)		

Source : auteur 2025

#### **3.3.3.4. Contribution de la SNGID 2035 à la mise en œuvre des ODD**

Dans la continuité de l'approche adoptée pour la politique énergétique, cette section propose une lecture des orientations de la SNGID 2035 en lien avec les Objectifs de développement Durable (ODD). Il s'agira d'examiner de manière générale les liens entre les objectifs de la SNGID et les ODD, afin de mettre en évidence la contribution de cette stratégie

à l'agenda 2030.

### **Objectif 1 : Prévenir le gaspillage**

- **ODD 11 (villes et communautés durables)** : La prévention du gaspillage permet d'alléger les charges sur les systèmes de collecte et de transport, participant ainsi à la réduction de l'impact environnemental et à l'amélioration de la qualité de l'air.
- **ODD 12 (Consommation et production responsable)** : la prévention du gaspillage permet la réduction de production des déchets à la source. Une étude a montré qu'une prévention ciblée (courrier non sollicité, emballages de boissons, gaspillage alimentaire) a permis d'éviter que 13 % de la masse totale des déchets n'entre pas dans le système de gestion des déchets étudié (Gentil et al., 2011).
- **ODD 13 (Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques)** : Selon cette même étude, une réduction de 13% de la masse des déchets a entraîné une réduction de 12% de potentiel de réchauffement climatique au niveau du système de gestion des déchets lui-même (Gentil et al., 2011).

### **Objectif 2 : Promouvoir le tri sélectif**

- **ODD 8 (travail décent et croissance économique)** : la mise en place des centres de tri permet de créer des emplois directs. Les usines de recyclage, de compostage et de valorisation énergétique, offrent quant à elles des emplois indirects. Des opportunités d'emploi existent également dans le secteur privé, qui s'active dans la collecte, ainsi que dans les domaines de la formation et de la sensibilisation environnementale.
- **ODD 9 (industrie, innovation et infrastructure)** : Promouvoir le tri nécessite la mise en place d'infrastructures spécifiques : des systèmes de collecte séparée et des centres de tri. Les techniques de tri automatisé ont montré leur efficacité à séparer les produits recyclables des flux des déchets mixtes (Rathoure, 2024).
- **ODD 11 (villes et communautés durables)** : Une ville durable est une ville qui s'efforce de minimiser son impact environnemental, d'assurer le bien-être de ses habitants et de favoriser une économie prospère et équitable. Le tri des déchets participe à la durabilité des villes, en réduisant la pollution et l'extraction des ressources naturelles et en améliorant l'efficacité économique.

- **ODD 12 (Consommation et production responsables)** : le tri génère des matières premières secondaires, ce qui permet la préservation des ressources, stimulant ainsi une économie circulaire.
- **ODD 13 (Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques)** : En améliorant le taux de recyclage (taux des déchets récupérés par rapport aux déchets produits), les matériaux réutilisés réduisent la nécessité d'extraction de nouvelles ressources, ce qui a un impact positif sur l'environnement.

### **Objectif 3 : Réduire les risques sanitaires et environnementaux des déchets ultimes**

- **ODD3 (Bonne santé et bien-être), ODD 6 (Eau propre et assainissement), ODD 11 (Villes et communautés durables), ODD 14 (Vie aquatique) et ODD 15 (Vie terrestre)**: Les décharges sauvages sont des sites d'élimination des déchets non réglementés qui ne bénéficient pas d'une protection environnementale adéquate. Les déchets y sont éliminés sans précaution, ce qui entraîne une importante pollution de **l'air**, du **sol** et de **l'eau**. Ces zones attirent les parasites et contribuent à la propagation des maladies, ce qui constitue une menace sérieuse pour la santé publique des populations environnantes. L'absence de mesures de confinement entraîne la libération incontrôlée de lixiviats et de gaz de décharge, ce qui aggrave les dommages causés à l'environnement (Tabassum, 2024). La fermeture de 1300 décharges sauvages libère de l'espace et assainit l'environnement, contribuant ainsi à réduire les nuisances (odeurs, visuelles, risques sanitaires), la pollution du sol et la dispersion des déchets dans les systèmes aquatiques.
- **ODD 13 (Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques)** : la réduction de la mise en décharge des déchets notamment la fraction organique, ainsi que le captage du biogaz (composé essentiellement du méthane) diminue les émissions de GES.

### **Objectif 4 : Mettre en œuvre le principe pollueur-payeur**

- **ODD 12 (Consommation et production plus durable)** : Responsabiliser les producteurs et les consommateurs sur le plan financier pour la gestion des déchets générés encourage des modes de production et de consommation plus durables, une

conception environnementale et une réduction des déchets à la source.

#### **Objectif 5 : Renforcer le rôle du secteur privé**

- **ODD 8 (travail décent et croissance économique):** L'encouragement de l'investissement privé dans le secteur de la gestion des déchets (la collecte, le tri, le recyclage et la valorisation) a le potentiel de favoriser la croissance économique et la création d'emplois.
- **ODD 9 (industrie, innovation et infrastructure):** le secteur privé permet de fournir la technologie et les connaissances nécessaires au développement de l'infrastructure nécessaire à la gestion moderne des déchets et à l'innovation dans les processus de valorisation.
- **ODD 17 (Partenariats pour la réalisation des Objectifs) :** La stratégie met l'accent sur la collaboration entre les acteurs des secteurs public et privé, ainsi qu'avec la société civile et les partenaires internationaux (comme l'Union européenne, qui cofinance le projet).

#### **3.3.4. Interconnexion nouveau modèle énergétique-SNGID Convergence**

Le croisement de nos deux analyses sur la contribution de la transition énergétique et la SNGID 2035 aux ODD, nous a permis d'identifier les points de convergences suivants entre ces deux initiatives publiques :

- **Valorisation énergétique des déchets :** constitue un point de rencontre direct entre la SNGID et la transition énergétique. La SNGID y contribue à la réduction des déchets ultimes, le captage du biogaz (objectif 3) et le tri sélectif (objectif 2). La transition énergétique soutient cette démarche à travers la promotion des énergies renouvelables (pilier 2), incluant la biomasse, et potentiellement à travers l'utilisation de l'infrastructure gazière (pilier 1) pour le biogaz produit, transformant ainsi le déchet en ressource énergétique.

- **Optimisation des ressources :** la réduction de la demande des matières premières, prévue par les objectifs 1 et 2 de la SNGID (prévention du gaspillage et tri sélectif) permet de réduire l'énergie consommée pour leur extraction et transformation. Cela appui directement le troisième pilier de la transition énergétique (pilier 3 : économie d'énergie).

- **Contribution à l'atténuation du changement climatique** : les deux stratégies convergent fortement sur la réduction des GES :

- la réduction des décharges sauvages (Objectif 3 SNGID) et le captage du biogaz diminuent les émissions de CH<sub>4</sub>.
- La promotion des énergies renouvelables (pilier 1) et l'utilisation prioritaire du gaz naturel réduisent les émissions de CO<sub>2</sub>.
- Le tri sélectif (objectif 2 SNGID) permet de récupérer des matériaux dont la production nécessite moins d'énergie que l'extraction primaire.

- **Développement économique et création d'emploi** : les filières énergies renouvelables et celles de la gestion des déchets créent toutes les deux des emplois, participant ainsi au développement économique durable. Elles renforcent le secteur privé en favorisant l'émergence des entreprises et micro-entreprises (transport, collecte, tri, recyclage pour la SNGID et montage des chauffe-eau solaire, conversion GPL pour la transition énergétique).

- **Développement des infrastructures et Innovation** : les deux stratégies nécessitent des investissements importants dans les infrastructures (centres de tri, usines de valorisation, centrales électriques renouvelables, etc.)

- **Impact sur la santé et l'environnement local** : La réduction des décharges sauvages (Objectif 3 SNGID) améliore directement la qualité de l'air et de l'eau, réduisant les risques sanitaires (ODD 3, ODD 6). La transition vers les ENR (Pilier 2 Modèle Énergétique) réduit aussi la pollution atmosphérique locale (impact sur ODD 3).

### **Conclusion**

Le gouvernement algérien s'engage activement dans la transition vers un modèle de développement durable, en établissant deux stratégies complémentaires : la SNGID 2035 et la transition énergétique 2030. Ces démarches s'appuient sur un cadre juridique solide, sont accompagnées de programmes ambitieux et bénéficient d'un financement pour assurer leur réalisation.

Ces stratégies contribuent directement à plusieurs ODD, en particulier les ODD7 (énergie propre), 11 (villes et communautés durables), 12 (consommation et production responsables) et 13 (lutte contre les changements climatiques). Elles participent aussi, de manière indirecte, à d'autres objectifs comme la santé, l'emploi, l'innovation et les partenariats.

Ces deux stratégies sont étroitement liées. En encourageant une meilleure gestion des déchets et en développant des énergies propres, elles se renforcent l'une l'autre. Ensemble elles contribuent à réduire l'impact environnemental tout en soutenant l'économie.

Cette complémentarité montre que la transition écologique et le développement économique peuvent avancer ensemble, vers un développement durable plus équilibré et plus responsable.

**CHAPITRE IV :**  
**LE BATIMENT : ENJEU MAJEUR**  
**DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET**  
**CLIMATIQUE**

### **Introduction**

Au cours des dernières décennies, la demande en énergie a connu une croissance rapide, principalement attribuable à la mondialisation et au développement technologique. L'énergie est ainsi devenue un enjeu stratégique, économique et environnemental majeur à l'échelle planétaire. Les états doivent faire face à un double défi : satisfaire une demande en constante augmentation tout en garantissant un approvisionnement suffisant et durable. Dans ce contexte, comprendre les modèles de consommation d'énergie est essentiel pour guider les politiques publiques, orienter les investissements et faciliter la transition énergétique (Xu, 2023).

Ce chapitre propose une analyse du profil énergétique de l'Algérie afin de comprendre la répartition sectorielle de la consommation d'énergie et des émissions de GES qui y sont associées. L'approche adoptée suit une logique progressive allant de la macro au micro : elle commence par une lecture globale de la consommation d'énergie au niveau national, structurée en plusieurs composantes, puis se concentre sur la consommation finale, afin d'identifier le secteur le plus énergivore. Cette démarche met en évidence la place considérable du bâtiment, ce qui justifie son choix comme secteur prioritaire de cette recherche.

#### 4.1 Défi énergétique mondial

Il est bien connu que l'énergie, fournie sous différentes formes adaptées, soutient essentiellement le développement économique et l'amélioration des conditions de vie des êtres humains. Les avantages recherchés par les utilisateurs d'énergie ne proviennent pas directement de l'énergie elle-même, mais des différentes fonctions qu'elle permet d'accomplir lorsqu'elle est associée à des équipements appropriés : transport de personnes et de marchandises, chauffage industriel, éclairage, température intérieure confortable, applications électriques et électroniques, etc. Pour chaque type de fonction, les équipements et les technologies mobilisés varient en termes d'efficacité énergétique, c'est-à-dire en fonction du rapport entre l'énergie consommée et la fonction rendu. L'amélioration de cette efficacité est un objectif central des politiques énergétiques et de l'innovation technologique depuis les années 1970 (Jarlsby, 2015).

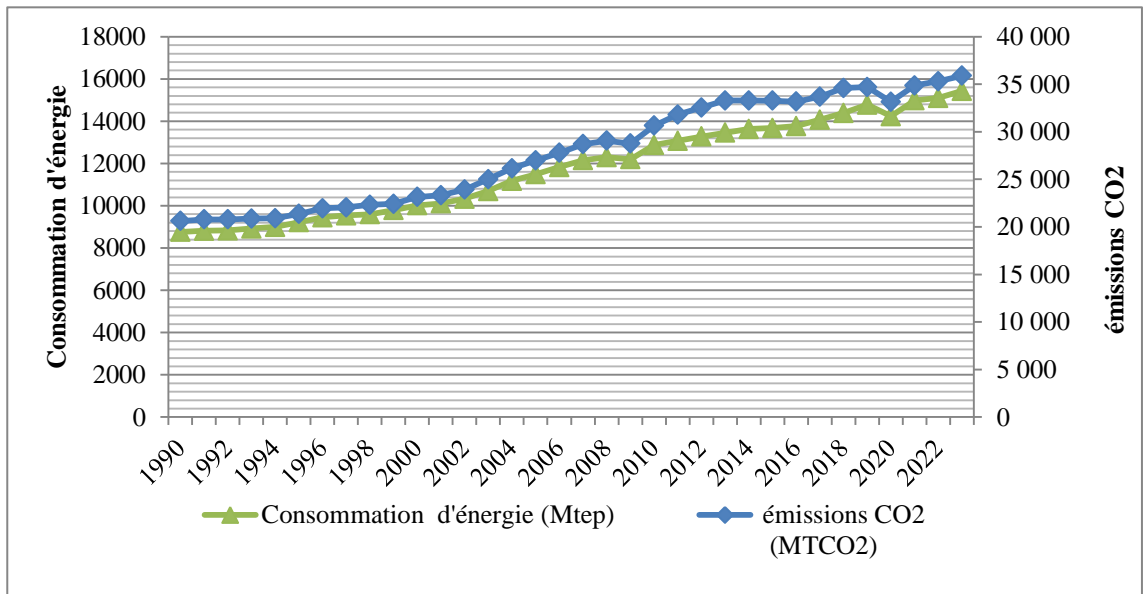


Figure 4.1 : Consommation mondiale d'énergie et les émissions CO<sub>2</sub> associées (1990-2023)

Source : auteur selon (EnerData, 2024)

Toutefois, malgré les efforts en matière de maîtrise de l'énergie, la consommation mondiale a poursuivi une croissance soutenue. Elle a presque doublé au cours des trois dernières décennies, passant de 8,7 Milliards de tep en 1990 à 15,4 Milliards de tep en 2023, soit un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 1,73% (figure 4.1). Cette progression régulière s'explique notamment par la croissance démographique et l'industrialisation rapide, en particulier dans les pays en développement (Banovac et al., 2016). En parallèle, les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> ont également augmenté, bien que légèrement moins rapidement, passant de 21 000 MTCO<sub>2</sub> à 36 000 MTCO<sub>2</sub> sur la même période (TCAM de 1,69%).

L'analyse des deux courbes (figure) permet de mettre en évidence les périodes clés suivantes :

**1990 – 2000:** La consommation d'énergie et les émissions de GES associées ont affiché une croissance linéaire durant cette période, marquant des TCAM de 1,35% et 1,16% respectivement.

**2000 – 2010:** on observe une nette accélération de la consommation d'énergie durant cette période (TCAM de 2,54%). Les émissions de CO<sub>2</sub> augmentent également, mais à un rythme légèrement supérieur à celui de la consommation d'énergie (TCAM de 2,85%).

**2010-2020 :** la croissance de la consommation d'énergie ralentie significativement durant cette période (TCAM de 1,01%), cette décélération peut être en partie attribuée à l'impact de la pandémie de Covid-19 qui a engendré une baisse temporaire de la consommation (Shaheen et al., 2023).

Les émissions de CO<sub>2</sub> semblent se stabiliser légèrement, ce qui pourrait indiquer un début de découplage entre la consommation d'énergie et émissions (TCAM de 0,79%).

Le découplage entre la consommation d'énergie et les émissions CO<sub>2</sub> signifie que les émissions augmentent moins vite que la consommation d'énergie, ce qui peut s'expliquer par :

- Une amélioration de l'efficacité énergétique
- Une transition vers des énergies moins carbonées (renouvelables, nucléaires)
- Des politiques de réduction des émissions (taxe carbone et quotas d'émissions dans

divers pays).

**2020-2023** : une hausse de TCAM des deux variables a été marquée pour cette période. Cette hausse indique qu'avec la reprise des activités économiques après la crise sanitaire en 2020, la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> ont fortement rebondi.

Bien qu'un découplage relatif soit observé, les efforts déployés n'ont pas été suffisant pour réduire l'impact environnemental de consommation de l'énergie et à l'échelle mondiale, posant ainsi un défi pour la transition vers un système énergétique plus durable.

## **4.2. Analyse des facteurs influençant la consommation d'énergie**

### **4.2.1. Climat**

La compréhension des variations climatiques s'avère fondamentale pour l'analyse du profil énergétique du pays, car les répercussions du climat sur la consommation d'énergie se manifestent dans plusieurs secteurs, principalement le bâtiment. En effet, les variations de température entre les régions nécessitent la mise en place de systèmes de chauffage dans les zones froides, tandis que des solutions de climatisation sont exigées dans les régions où les températures extrêmes sont fréquentes.

#### **4.2.1.1. Etages climatiques**

L'Algérie présente une variation climatique significative, résultat de l'interaction entre la circulation atmosphérique des latitudes moyennes et celle des zones tropicales et sahariennes, avec la Méditerranée servant de zone de transition entre ces différentes influences.

Le bioclimat algérien se divise en plusieurs étages :

**Climat méditerranéen:** présent sur la côte et dans l'Atlas Tellien, caractérisé par des hivers doux avec peu de gelées et des étés chauds. La région orientale reçoit plus de précipitations que l'ouest, avec des niveaux atteignant 2000 mm par an, et abrite des sommets enneigés de l'automne jusqu'à la fin du printemps.

**Climat aride:** situé au sud de l'Atlas Tellien, ce climat est sec et tropical, avec une amplitude thermique hivernale importante (jusqu'à 36°C le jour et 5°C la nuit). Les précipitations, principalement en automne et au printemps, proviennent d'advections humides des côtes, étant plus abondantes à l'ouest qu'à l'est. L'influence désertique se fait sentir

jusqu'à la côte, notamment par le sirocco, un vent chaud et sec soufflant du sud.

**Climat continental** : présent dans les Hauts Plaines et l'Atlas Saharien, ce climat se caractérise par des températures pouvant descendre en dessous de 0°C en hiver et dépasser 40°C en été. Les précipitations y sont rares, en particulier dans les hauts Plains du Constantinois.

**Climat désertique** : ce climat se distingue par des pluies rares et très irrégulières, souvent orageuses. Le Sahara est l'une des régions les plus chaudes du monde, avec des températures diurnes atteignant ou dépassant 50°C, tandis que les nuits, surtout en hiver, peuvent être très froides, avec des gelées fréquentes (figure 4.2) (MEER, 2019).

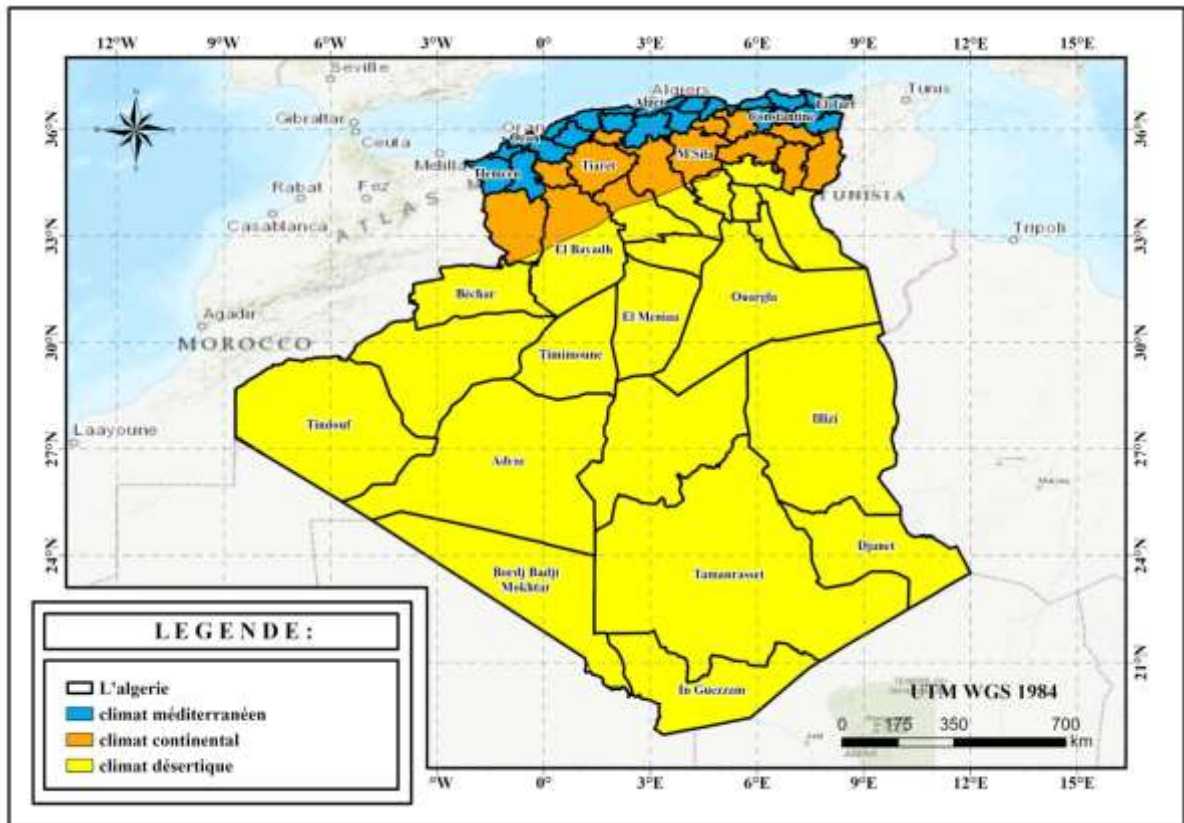


Figure 4.2: Carte climatique de l'Algérie

Source : auteur 2025

#### **4.2.1.2. Température et pluviométrie**

Le régime thermique de l'Algérie varie selon les régions climatiques (Littoral, Atlas Tellien, Hauts Plateaux et Steppe, Sahara). En hiver, les Hauts Plateaux et la Steppe sont plus froid que l'Atlas Tellien, le Littoral et le Sahara. Janvier est le mois le plus froid, avec des températures moyennes de 11,4°C à Ghazaouet et de 10,0°C à Alger. En été, les températures moyennes sont de 25,5°C à Alger, 25,4°C à Constantine et 24,0°C à Souk Ahras. Le littoral bénéficie d'un effet modérateur de la mer, tant en été qu'en hiver.

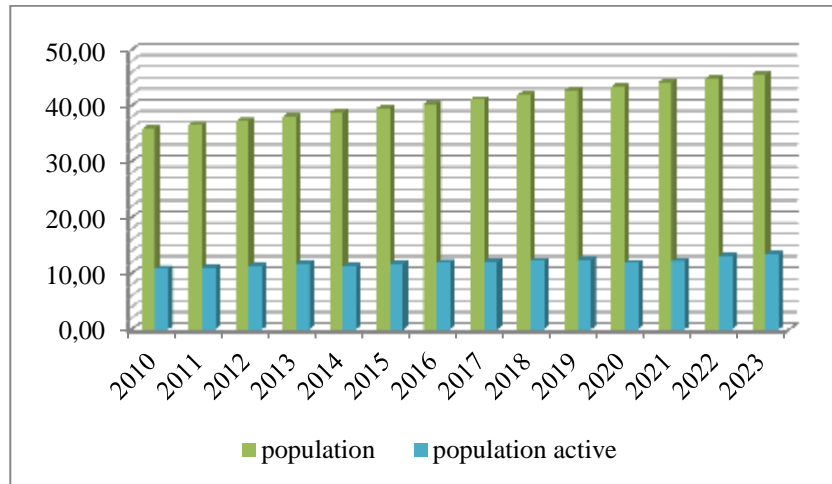
La période de novembre à décembre est la plus pluvieuse, surtout sur l'Atlas Tellien, qui reçoit plus de précipitations mensuelles variant de 3,7 mm à Ain Salah à 120,5 mm à Miliana. En été, les pluies sont rares et se concentrent davantage sur le littoral. En automne, le régime des pluies est similaire sur l'Atlas Tellien et les Hauts Plateaux, avec des quantités annuelles de 15,8 mm à Ain Salah, 686,6 mm à Alger et 827,3 à Miliana (MEER, 2019).

Cette diversité de climats exerce certainement une influence sur la demande énergétique et les modes de consommation. Pendant la période hivernale, la région méditerranéenne, avec son hiver doux, nécessite une consommation modérée en chauffage. Cependant, elle est aussi plus humide et nécessite davantage d'énergie pour la déshumidification. Dans les régions arides et désertiques, les variations de température importantes (élevées le jour et très basses la nuit), exigent des systèmes énergétiques flexibles capables de s'adapter rapidement pour répondre aux besoins de confort. Le climat continental, quant à lui, implique une consommation d'énergie importante pour le chauffage, notamment dans les zones où la température descend en dessous de 0°C.

Pendant la période estivale, la température est élevée pour toutes les zones climatiques algériennes, induisant une forte consommation d'énergie électrique pour la climatisation, surtout en périodes de canicule. Le sirocco accentue la sensation de chaleur et peut accroître la demande en énergie sur tout le territoire, particulièrement dans les zones arides et désertiques.

#### **4.2.2. Démographie**

La figure 4.3. présente l'évolution de la population et de la population active au cours des années d'étude.



**Figure 4.3 : évolution de la population et de la population active en millions d’habitants (2010-2023)**

Source : auteur d’après la Banque mondiale des données

La démographie et la taille de la population active ont un impact significatif sur les tendances de la consommation énergétique, en raison de leurs liens directs avec le parc immobilier et l’économie. La taille de la population agit directement sur la consommation d’énergie, notamment dans le secteur résidentiel pour deux raisons principales. En premier lieu, la nécessité d’alimenter en énergie les équipements à usage domestique. En second lieu, le nombre de logements requérant un système de chauffage et d’éclairage.

La population totale a augmenté de manière constante entre 2010 et 2023, sans rupture observable, passant de 35,86 millions à 45,61 millions d’habitants, correspondant à un TCAM de 1,87%. Parallèlement, la population active a augmenté sur cette période à un TCAM de 1,66%, mais à un rythme plus lent que celui de la population totale.

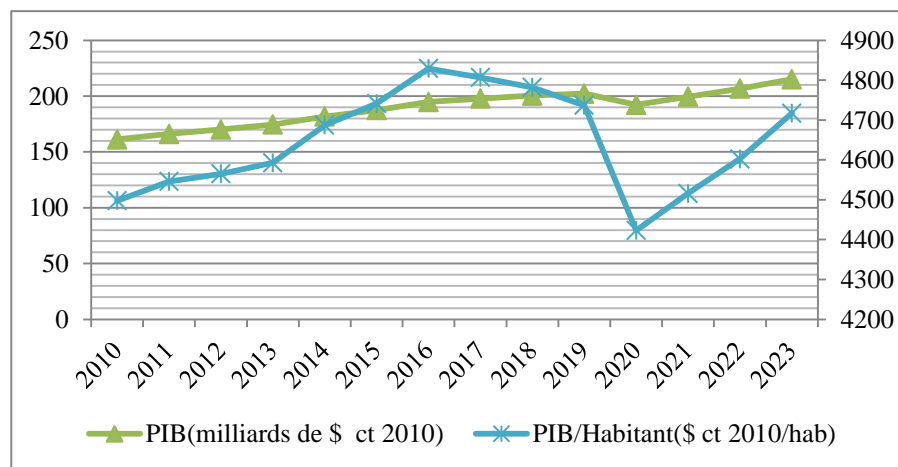
En outre, la part de la population active dans la population est en baisse, passant de 30,21% en 2010 à 29,44% en 2023. Le minimum a été enregistré en 2020, suite à la crise sanitaire du Covid-19, ce qui met en évidence la sensibilité de la population active aux chocs économiques et sanitaires.

### 4.2.3. Croissance économique

L'énergie est une composante essentielle du développement économique. La prospérité qui en découle stimule à son tour la demande de services énergétiques plus nombreux et de meilleure qualité (AIE, 2004).

La croissance économique d'un pays est généralement évaluée par le Produit Intérieur Brut (PIB), qui mesure la production totale de biens et services pendant une période définie (De Crombrugghe, 2016). Cependant, pour apprécier le niveau de vie de sa population, il est plus pertinent d'utiliser le PIB par habitant, qui reflète la richesse produite par personne (Gaulier, 2006).

L'évolution des deux indicateurs économiques entre 2010 et 2023 est illustrée dans la figure 4.4.



**Figure 4.4 : évolution de PIB et PIB/habitant (2010-2023)**

Source : auteur d'après (Perspective Monde, s. d.)

Le PIB a progressé de 161,28 à 215,14 milliards de dollars (constants 2010), soit une augmentation de 33,4% sur la période. Le TCAM de 2,24% indique une croissance économique modérée mais régulière. Cette croissance économique enregistrée est attribuable à la hausse des exportations en 2021 de 26% par rapport à 2020, ainsi à la hausse des prix du pétrole et aux réformes structurelles mises en œuvre par l'état en 2021 et 2022 (Services du

Premier Ministre, 2021).

Parallèlement, le PIB par habitant est passé de 4498 à 4717 dollars, soit une très faible progression de 4,9% sur 13 ans. Son TCAM très faible de 0,37%, révèle une quasi-stagnation du niveau de vie moyen. Une baisse marquée en 2020 pour les deux indicateurs en raison de la crise sanitaire et économique mondiale liée à la pandémie de Covid-19.

L'écart important entre l'évolution du PIB (+33,4%) et celle du PIB par habitant (+4,9%) indique que la croissance est absorbée par la croissance démographique et l'amélioration du niveau de vie individuel est restée très limitée.

L'augmentation du PIB suggère une croissance de la demande énergétique liée aux activités économiques. La stagnation du PIB/habitant affaiblit le pouvoir d'achat et limite l'accès aux équipements énergétiques, ce qui peut influencer la consommation d'énergie par habitant.

#### **4.2.4. Habitat**

Le tableau 4.1 présente l'évolution du parc de logements, les indicateurs du confort des logements (mesuré par le taux d'occupation par logement (TOL) et le taux d'occupation par pièce (TOP)), ainsi que le taux de raccordement aux réseaux d'énergie sur la période d'étude.

**Tableau 4.1 : Evolution nationale du parc de logement et raccordement à l'énergie (2010-2023)**

	Unité	2010*	2012	2015	2017	2020	2023*
<b>Electrification nationale</b>	%	98	99	99	99	99	99
<b>Parc construit</b>	Millions	5,96	6,5	7,75	8,55	10	11,70
<b>Raccordement au gaz naturel</b>	%	43,6	47	54	56	59,1	62,3
<b>Taux d'occupation par logement (TOL)</b>	Personnes/logement	6	6	5,2	5	4,4	3,9
<b>Taux d'occupation par pièce (TOP)</b>	Personnes/pièces	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

(\*) Les valeurs de l'année correspondante sont calculées sur la base de l'année précédente

Source : Auteur sur la base des rapports de l'APRUE

Le parc de logement a connu une croissance très importante de 5,96 à 11,7 millions de logements. Le TCAM du parc de logements est passé de 1,8 à 6% après 2012, indiquant une accélération significative de la construction. Ce doublement du parc de logements implique sans doute une augmentation significative de la demande énergétique globale.

Le TOL a diminué de 6 à 3,9 personnes/logement et le TOP de 2 à 1,2 personnes/pièce, montrant une amélioration considérable des conditions d'habitation avec moins de surpeuplement. Cette baisse entraîne probablement une augmentation de la consommation énergétique par personne (plus d'espace à éclairer, chauffer et climatiser).

Le taux d'électrification était déjà très élevé en 2010 (98%), indiquant un accès quasi général aux services énergétiques de base (l'électricité). Le raccordement au gaz naturel marque une progression de 40,4% en 2010 à 62,3% en 2023. Son TCAM a connu une accélération entre 2012 et 2015 (4,4%). Cette extension du réseau de gaz naturel suggère une substitution progressive des autres sources d'énergie vers le gaz.

#### **4.2.5. Energie : réserve et potentiel, production et consommation**

##### **4.2.5.1. Réserves énergétiques**

L'Algérie détient d'importantes réserves d'hydrocarbures, avec 9,2 milliards de baril de pétrole (0,9 des réserves mondiales) elle se positionne 15<sup>ème</sup> mondial et 3<sup>ème</sup> africain. Son pétrole, le Saharab Blend 2, est apprécié par sa faible teneur en soufre (0,09%), facilitant son raffinage. L'Algérie dispose également de plus de 4500 milliards de m<sup>3</sup> de gaz naturel facilement exportable vers l'Europe via des gazoducs existants et futurs, ainsi que par des méthaniers (Belgacem, 2016). Ce potentiel énergétique important s'étend sur une superficie de 1536422 km<sup>2</sup> en 2018. Malgré cette réserve importante, de vastes zones restent encore inexploitées, estimées à 52 % du domaine minier algérien (figure 4.5). La moyenne des puits d'exploitation en dans un périmètre de 10 000 km<sup>2</sup> est d'environ 19 puits, contre 100 dans le monde (ME, 2019).

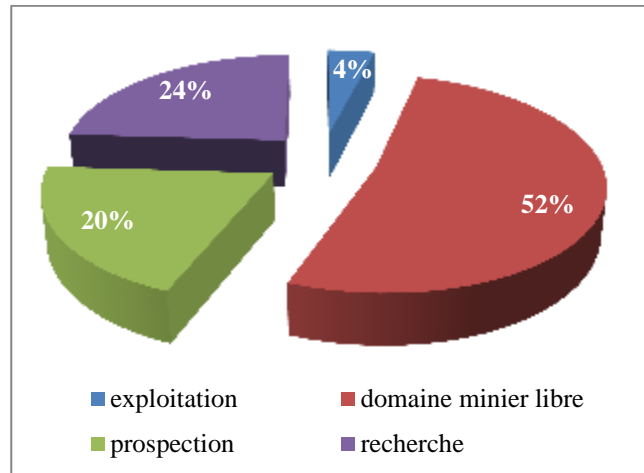


Figure 4.5 : Situation du domaine minier algérien en 2018

Source : auteur sur la base des bilans énergétiques du ministère de l'énergie

#### 4.2.5.2. Production et consommation de l'énergie

En Algérie, la production d'énergie est largement dominée par les énergies fossiles épuisables, le gaz naturel représentant 59% et le pétrole 30% de la production primaire d'énergie en 2023. Les énergies renouvelables ne contribuent qu'à hauteur de 1,12% (ME, 2025). La figure 4.6 illustre l'évolution de la production et de la consommation brute d'énergie (avant toute transformation).

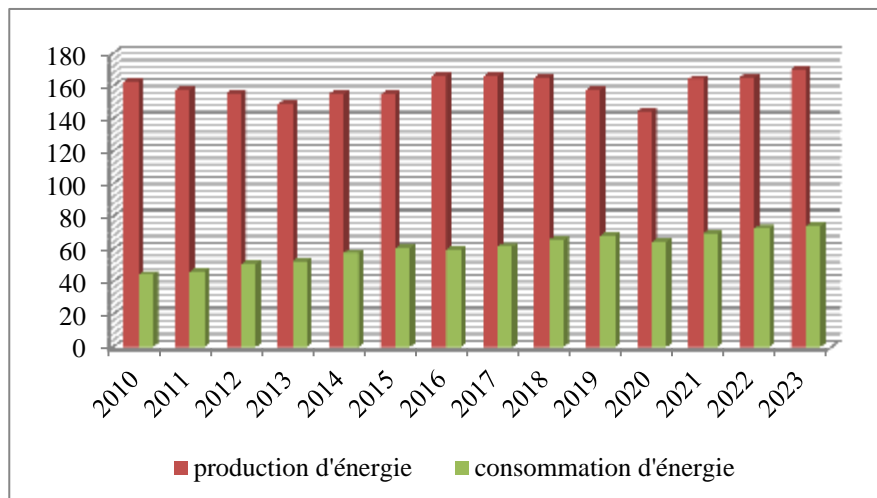


Figure 4.6 : Evolution de la production et de la consommation brute d'énergie en Mtep (2010-2023)

Source : auteur sur la base des bilans énergétiques du ministère de l'énergie

La production d'énergie est systématiquement plus élevée que la consommation brute sur toute la période d'étude. La production d'énergie fluctue avec une tendance globale à la hausse, notamment après 2020, atteignant son niveau le plus élevé en 2023, soit environ 4% de la production mondiale. La consommation brute d'énergie montre une augmentation progressive mais constante, passant d'environ 45 millions de tep en 2010 à environ 85 millions de tep en 2023.

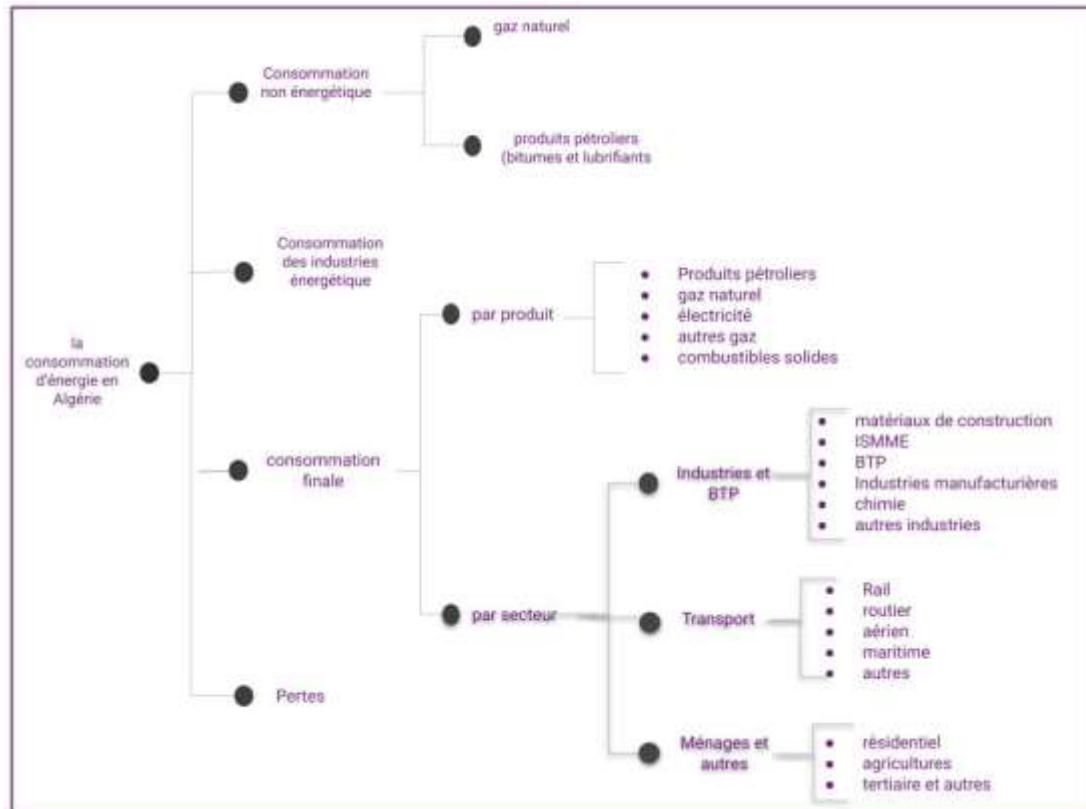
Malgré que l'écart entre les deux variables demeure positif, un déséquilibre dans la progression peut être observé. La consommation d'énergie avec un TCAM 4,05%, augmente plus rapidement que la production avec un TCAM de 0,35%, ce qui indique que l'écart entre la demande et l'offre énergétique se réduit progressivement. Cet écart reflète l'effet de la consommation finale, qui peut réduire la balance commerciale du pays, c'est à dire la part des exportations au profit des besoins internes.

### 4.3. Structure de la consommation d'énergie en Algérie

La consommation d'énergie peut être obtenue à partir des bilans énergétiques nationaux, élaborés annuellement par le ministère d'énergie, depuis plus de 30 ans. Ces bilans constituent un outil d'évaluation de système énergétique et des politiques mises en œuvre, décrivent de manière synthétique les flux énergétiques (production, échanges, transformation et consommation) (ME, s. d.).

La consommation nationale d'énergie est saisie à travers quatre agrégats (figure 4.7) :

- **Les consommations non-énergétiques:** produits énergétiques utilisés comme matière première dans des secteurs tels que la pétrochimie et les BTP.
- **La consommation des industries énergétiques:** Produits énergétiques consommés dans les industries productrices d'énergie.
- **La consommation finale:** Produits énergétiques consommés par les utilisateurs finaux (industrie, ménages, transport).
- **La consommation globale:** Somme des trois agrégats précédents, incluant les pertes dues au transport et à la distribution.



**Figure 4.7: Structure de la consommation d'énergie en Algérie**

Source : auteur selon les bilans énergétiques du ministère de l'énergie

### 4.3.1. Evolution des différents agrégats

La figure 4.8 fournit une vue d'ensemble de l'évolution de la consommation d'énergie en Algérie entre 1990 et 2023, décomposée en quatre agrégats.

La consommation nationale d'énergie a presque triplé durant cette période, passant de 24,6 millions de tep à plus de 72 millions de tep, avec un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 3,98%. Le déclin de la consommation en 2020 est dû à la crise sanitaire du Covid-19.

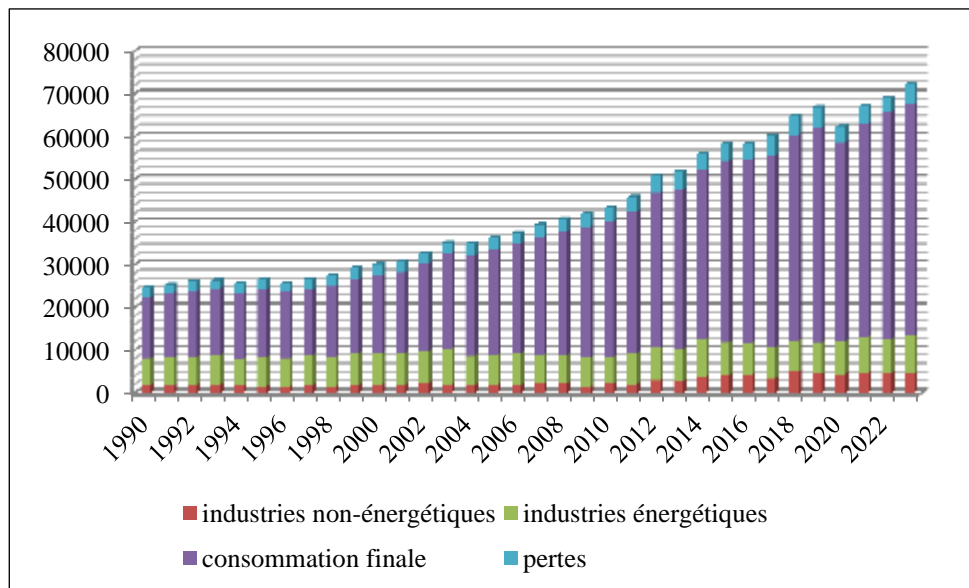
Sur la même période, la consommation des industries non énergétiques a connu une croissance de 2,97 %, passant de 1,75 MTep en 1990 à 4,6 MTep en 2023. La consommation des industries énergétiques a également évolué, passant de 6,4 MTep en 1990 à 8,73 MTep en 2023 avec un TCAM de 0,95 %.

Les pertes liées au transport et à la distribution de l'énergie ont continué d'augmenter -

malgré les efforts d'amélioration des services concernés au cours de cette période – pour atteindre un TCAM de 2,23 %. Cette évolution est attribuable à deux facteurs :

- la consommation non facturée (vol d'énergie) ;
- les pertes liées à la gestion du réseau de transport d'électricité, en particulier l'effet Joule causé par le transport d'électricité sur de longues distances.

La consommation finale (14,20 MTep en 1990) a connu une croissance moyenne annuelle de l'ordre de 4,14 %, atteignant un niveau de 54,2 MTep en 2023. Cette augmentation, assez élevée, montre une forte croissance de la demande énergétique, probablement en lien avec la croissance démographique, le développement économique et l'industrialisation, l'urbanisation et l'amélioration du niveau de vie et l'augmentation de l'usage des équipements énergivores.



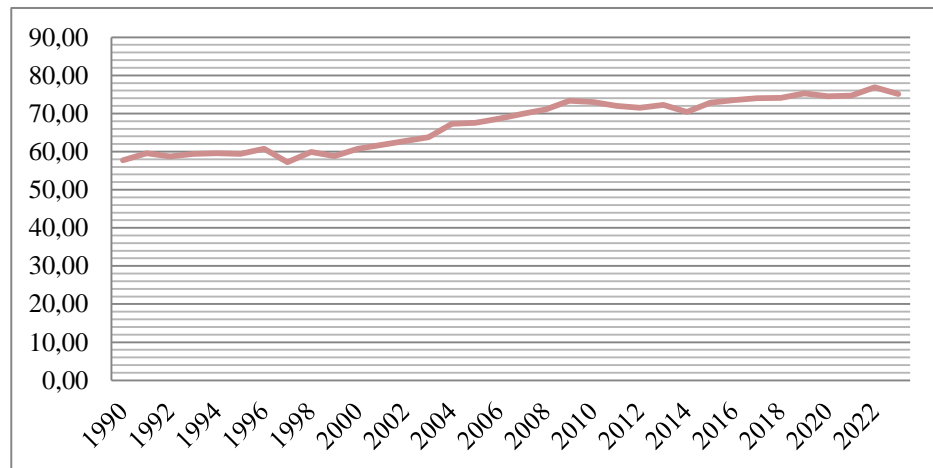
**Figure 4.8: Consommation nationale d'énergie par agrégat en ktep (1990-2023)**

Source : auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

#### **4.3.2. La consommation finale**

D'après les bilans énergétiques établis annuellement par le ministère de l'énergie, la répartition de la consommation nationale d'énergie entre 1990 et 2023, révèle une prédominance de la consommation finale. Elle a varié entre 58% et 75 % de la demande

énergétique total (figure 4.9).



**Figure 4.9 : Evolution de la part de la consommation finale dans la consommation nationale d'énergie (1990-2023)**

Source : auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

Dans le cadre de l'analyse de la consommation finale de l'énergie, deux approches méthodologiques complémentaires ont été utilisées. La première approche a consisté à analyser la consommation d'énergie selon le secteur d'activité. La seconde a permis de distinguer la consommation d'énergie selon la forme d'énergie.

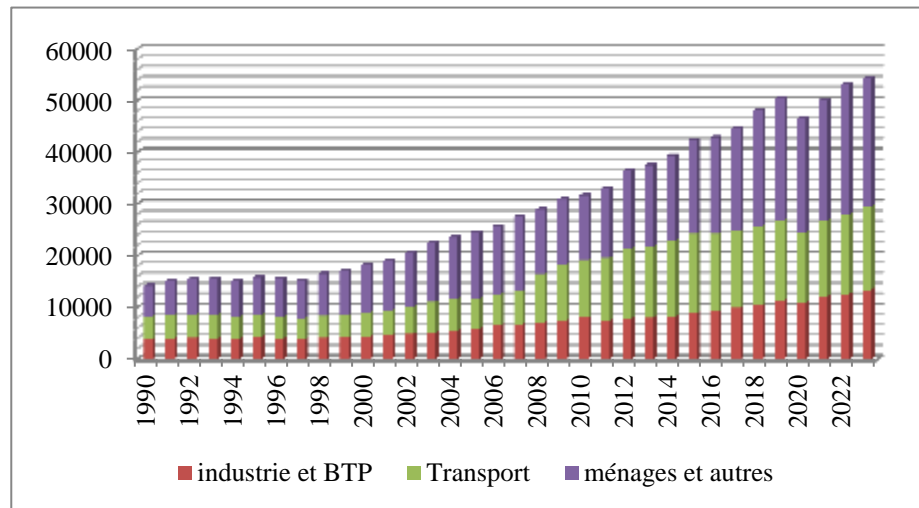
#### **4.3.2.1. Par secteur d'activité :**

L'analyse de l'évolution de la consommation finale décomposée par secteur d'activité (à savoir l'industrie, le transport et les ménages et autres), est illustrée par la figure 4.10. Il en ressort une croissance régulière et significative de la consommation d'énergie dans l'ensemble des secteurs sur la période considérée. Le secteur des ménages et autres apparaît comme le principal consommateur d'énergie, avec une consommation moyenne de 13,56 Mtep, tandis que l'industrie et le transport se situent respectivement à environ 7 et 9,1 Mtep.

Bien que cette structure générale se soit maintenue au cours de la période considérée, des changements notables sont intervenus au cours de la dernière décennie. Ainsi, entre 2008 et 2022, la part du secteur industriel a diminué au profit du secteur des transports.

Par secteur d'activité, la structure et l'évolution de la consommation finale se présentent comme suit :

- Le secteur "Industrie" a vu sa consommation croître de 3,83 %, tirée par des sous-secteurs énergivores comme les matériaux de construction, la chimie et les industries manufacturières, et soutenue par la croissance de leur valeur ajoutée.
- Le secteur "transport" avec ses différents modes utilisés (rail, routier, aérien, maritime et autres) a enregistré une hausse de 4,02 %, conséquence de l'intensité de l'activité.
- La consommation du secteur "ménages et autres", qui inclus le résidentiel, l'agriculture, le tertiaire et autres, a progressé de 4,42 %, passant de 5,94 Mtep en 1990 à 24,72 Mtep en 2023, sous l'effet combiné de la croissance démographique et de l'expansion du parc immobilier.



**Figure 4.10 : Evolution de la consommation finale par secteur d'activité en ktep (1990 - 2023)**

Source : auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

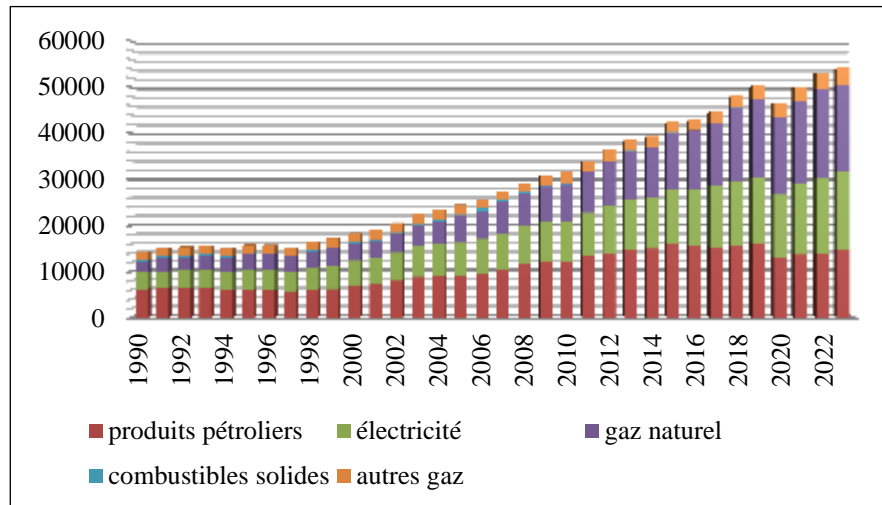
Il convient de souligner que la consommation d'énergie a subi un déclin marqué en 2020, en raison des répercussions de la pandémie de COVID-19 et des mesures de confinement, qui ont eu un effet néfaste affecté sur l'ensemble des secteurs d'activité. Toutefois, après la pandémie, la consommation d'énergie a connu une reprise, reflétant ainsi la relance progressive de l'activité économique.

L'accélération de la demande énergétique observée à partir des années 2000 est due à plusieurs facteurs, dont le développement économique, l'urbanisation et la croissance

démographique.

#### 4.3.2.2. Par type d'énergie

L'évolution de la consommation finale de tous les produits énergétiques en Algérie entre 1990 et 2023 est illustrée dans la figure 4.11.



**Figure 4.11: Evolution de la consommation finale par type d'énergie en Ktep (1990 - 2023)**

Source : auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

Durant la période d'étude, la consommation de l'ensemble des produits a nettement progressé jusqu'en 2020, année où la pandémie de Covid-19 a entraîné une baisse généralisée de la consommation. Cependant, la consommation a repris sa tendance haussière après cette année.

La consommation en produits pétroliers a enregistré une croissance remarquable, avec un TCAM de 2,49 %. Atteignant presque le triple de sa valeur initiale. Ils sont demeurés la première énergie consommée jusqu'en 2018, année où le gaz naturel a pris le relais.

Après une période d'alternance entre hausse et baisse entre 1990 et 1997, la consommation finale d'électricité n'a cessé de croître depuis 1998 avec un TCAM de 4,65 %. Cette forte demande en électricité est à prévoir en raison de développement de ce secteur.

Par ailleurs, la consommation du gaz naturel a augmenté régulièrement et fortement durant cette période d'étude et enregistre un TCAM élevé de 6,47 %. Il devient la première

énergie consommée en Algérie, grâce à son utilisation comme énergie primaire pour la production de l'électricité (99 %) et à la transition vers des sources d'énergie plus propres.

La consommation de combustibles solides a d'abord augmenté entre 1990 et 2008 (TCAM de 4,45 %), puis a régulièrement baissé (TCAM de -16,08 %), reflétant ainsi leur déclin progressif. Cette diminution peut être attribuée à la disponibilité accrue de sources d'énergie plus efficaces, comme le gaz naturel et l'électricité.

La consommation des autres gaz (GPL) ne présente pas de tendance clairement définie. Bien que la consommation ait fluctué, elle a globalement montré une augmentation (TCAM de 2,23 %). On observe une hausse presque continue, ponctuée de légers reculs.

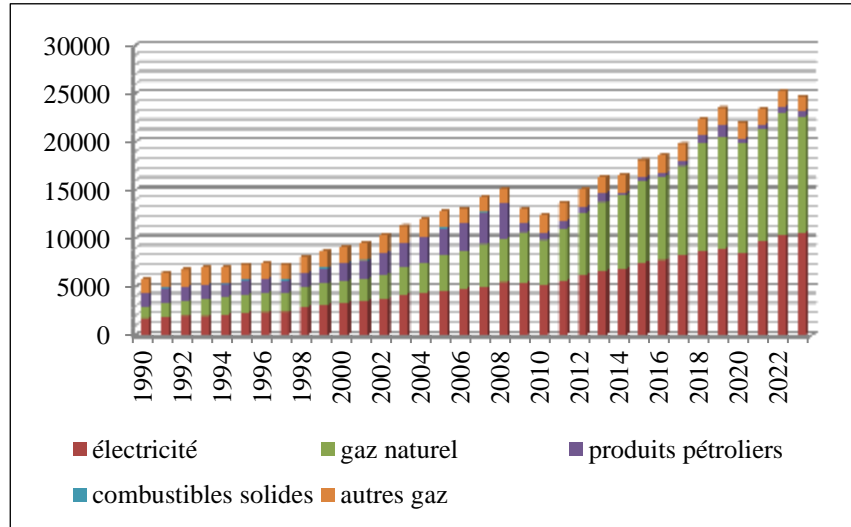
### **4.3.3. La consommation dans le secteur des ménages et autres**

#### **4.3.3.1. Par type d'énergie**

La figure 4.12 représente l'évolution de la consommation finale du secteur des ménages et autres par forme d'énergie entre 1990 et 2023.

Après avoir régulièrement augmenté jusqu'en 2008 pour atteindre un pic de 3,6 Mtep, la consommation finale de produits pétroliers par le secteur des ménages et autres, se replie depuis cette date (TCAM de -2,70 %). Cette baisse est probablement due à la disponibilité croissante du gaz naturel et de l'électricité. En revanche, la consommation d'électricité et de gaz naturel est en hausse depuis 1990, avec des taux de croissance annuels moyens de 5,54 % et 7,31 % respectivement. Cela est la conséquence de l'évolution du parc construit, qui a entraîné une hausse du taux d'électrification et du taux de raccordement au gaz naturel (tableau 4.1). La consommation des combustibles solides est très faible par rapport aux autres combustibles, et connaît des variations moins marquées, avec une diminution importante de 4,76 % en 33 ans. Cette baisse reflète probablement la transition vers des sources d'énergie plus propres et plus pratiques. La consommation des autres gaz fluctue de manière significative d'une année à l'autre, sans progression constante ni déclin marqué, mais elle est restée relativement stable (TCAM de 0,08 %).

Il convient de souligner que la consommation de tous les types d'énergie a diminué en 2020 en raison de l'impact de la pandémie de Covid-19, mais a repris progressivement sa tendance à la hausse par la suite.

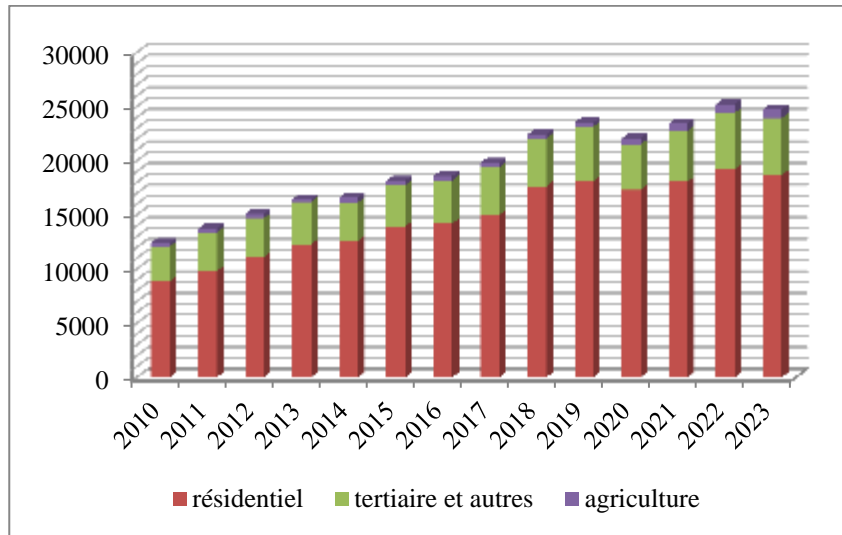


**Figure 4.12 : Evolution de la consommation finale du secteur ménages et autres par forme d'énergie en Ktep (1990-2023)**

Source : auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

#### 4.3.3.2. Par sous-secteur

Le secteur des ménages et autres est quant à lui décomposé en trois sous-secteurs plus précis, à savoir le résidentiel, le tertiaire et l'agriculture. Cependant, l'analyse de la consommation énergétique de ces sous-secteurs ne porte que sur la période 2010-2023, et non sur la période 1990-2023, car les données détaillées par sous-secteur avant cette date n'étaient pas disponibles (Figure 4.13). Cependant, la ventilation de la consommation énergétique entre ces trois secteurs n'est en effet disponible qu'à partir de 2010.



**Figure 4.13 : Evolution de la consommation du secteur ménages et autres par secteur d'activités en Ktep (2010-2023)**

Source : auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

On remarque que la consommation du résidentiel augmente de façon importante affichant un TCAM de 5,90 %. Cela peut être dû à l'augmentation du parc de logements, ainsi qu'à l'amélioration du niveau de vie, qui se traduit par une utilisation accrue d'appareils électriques.

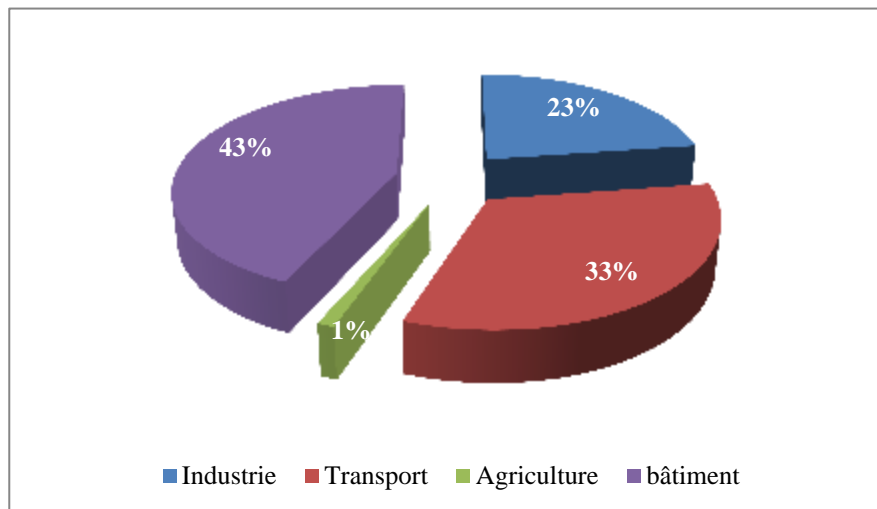
De même, le secteur tertiaire a également connu une croissance significative, passant de 3 231 ktep en 2010 à 4 202 ktep en 2023, avec un TCAM de 3,84 %. Cette croissance peut être attribuée à l'expansion du secteur tertiaire, qui compte davantage d'entreprises, d'hôtels, de restaurants et d'autres services.

En ce qui concerne l'agriculture, la consommation d'énergie a enregistré une forte croissance, passant de 322 ktep en 2010 à 787 ktep en 2023 avec un TCAM de 7,12 %. Cette croissance résulte probablement de l'intensification des activités agricoles, caractérisée par une utilisation accrue d'équipements mécanisés et d'irrigation.

Comme pour l'ensemble de la consommation d'énergie, une baisse est observée en 2020, probablement en raison des effets de la pandémie de Covid-19 sur l'activité économique. Après 2020, la consommation d'énergie renoue avec une tendance à la hausse, reflétant la reprise de l'activité économique.

#### 4.3.4. Prédominance de la consommation du secteur du bâtiment dans la consommation finale d'énergie

La figure 4.14 illustre la répartition de la consommation finale par secteur. Cette figure met clairement en évidence que le secteur du "bâtiment", qui englobe le résidentiel et le tertiaire, se caractérise par une forte consommation d'énergie, avec une part de 43 % de la moyenne de la consommation finale d'énergie sur la période 2010-2023. En deuxième position, le transport avec 33 %, tandis que le secteur industriel se situe en troisième place avec 23 %. L'agriculture, quant à elle, se distingue par sa part marginale négligeable, avec seulement 1% de la consommation d'énergie finale.



**Figure 4.14 : Répartition de la consommation d'énergie finale en % (2010-2023)**

Source : auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

Cette répartition souligne le poids du secteur de bâtiment dans la consommation d'énergie, ce qui le positionne comme un gisement important pour les économies d'énergie substantielles et contribuer ainsi aux objectifs de transition énergétique.

#### 4.3.5. La consommation du sous-secteur résidentiel

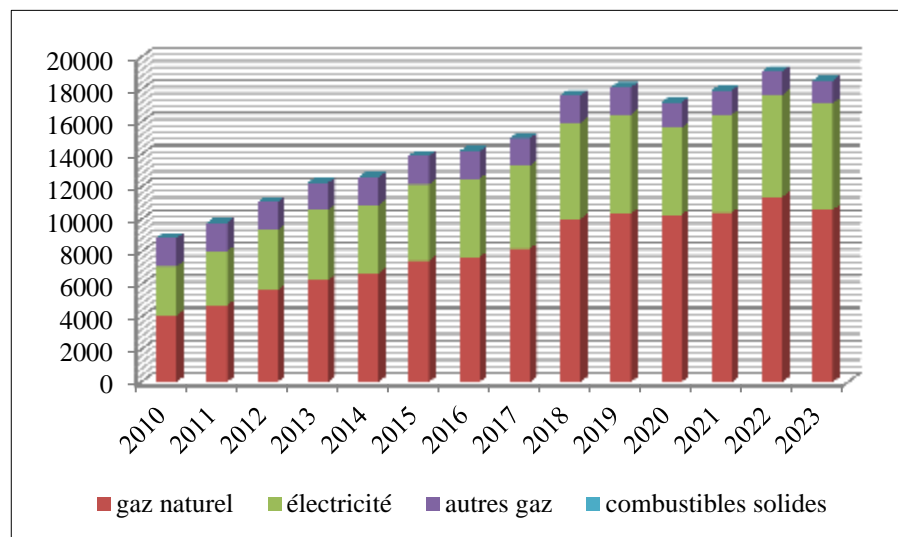
L'évolution de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel par type d'énergie est représentée dans la figure 4.15.

Cette figure met en évidence que les combustibles solides occupent une part marginale (0,033%) et démontrent une tendance à la baisse significative (TCAM -12,49). Les autres gaz,

avec une part de 11,11% de la consommation finale du secteur résidentiel, montrent également une tendance légèrement décroissante, comme l'indique le taux de croissance annuel moyen (TCAM) de -1,62 %.

La consommation d'électricité, quant à elle, affiche une tendance à la hausse régulière et continue sur la période observée, avec un TCAM de 6,28%.

Le gaz naturel s'impose comme la source d'énergie prédominante dans le secteur résidentiel, avec une part de 55 %, affichant une croissance significative avec un TCAM de 8,93 %.



**Figure 4.15 : Evolution de la consommation dans le secteur résidentiel par forme d'énergie en Ktep (2010-2023)**

Source : auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

#### **4.3.6. La consommation du sous-secteur tertiaire**

La consommation d'énergie du tertiaire sur la période 2010-2023 est représentée sur la figure 4.16. Ce secteur regroupe les activités de service (commerces, bureaux, administrations, établissements scolaires, etc.), dont les besoins énergétiques sont principalement liés au chauffage, à la climatisation, à l'éclairage et aux équipements informatiques et électroniques.

Par conséquent, l'électricité est la source d'énergie dominante dans ce secteur, représentant 60 % de la consommation totale moyenne, avec une progression régulière de

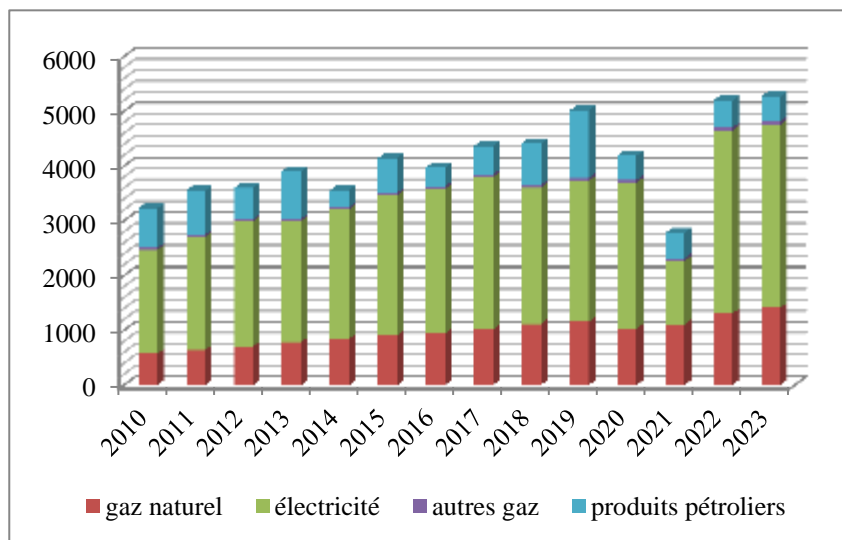
TCAM de 4,46 %.

Le gaz naturel est la deuxième source majeure, avec près de 24 % du mix énergétique moyen. Sa croissance est constante et soutenue (TCAM +7,18 %), passant de 573 ktep en 2010 à 1 412 ktep en 2023, soit une augmentation de 146 %.

Les produits pétroliers représentent environ 15 % de la consommation mais ils sont en déclin (TCAM -3,51 %). Les autres gaz couvrent une part mineure (1,2 %) mais stable, tandis que l'usage des combustibles solides est quasi négligeable (0,05 %).

Le déclin des produits pétroliers et la croissance rapide du gaz naturel par rapport à l'électricité, reflètent probablement l'abandon progressif du fioul et de l'électricité pour le chauffage, conformément à la politique énergétique qui adopte le gaz naturel comme gaz de transition.

La baisse remarquable sur la période 2020 – 2021 pourrait s'expliquer par l'impact de la crise Covid-19, avec la fermeture des administrations et d'établissements d'enseignement.



**Figure 4.16 : Evolution temporelle de la consommation dans le tertiaire par forme d'énergie en Ktep (2010-2023)**

Source : auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

#### 4.4. Emissions de gaz à effet de serre

En 2020, le secteur d'énergie représentait 81,5% des émissions nationales de gaz à effet

## CHAPITRE IV : LE BATIMENT : ENJEU MAJEUR DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET CLIMATIQUE

de serre (GES), ce qui en fait le secteur le plus émetteur (MEER, 2023). En effet, l'utilisation de l'énergie est à l'origine d'émission de GES, principalement le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Ces émissions proviennent de la combustion des énergies fossiles (destinés à la production de l'électricité et au transport), de la présence des polluants locaux qui peuvent être ou engendrer des GES (comme l'ozone), et des fuites de méthane lors de l'exploitation des hydrocarbures (transport du gaz naturel) (ADEME, 2007)

La consommation d'énergie est donc responsable de la production, en plus de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), du méthane (CH<sub>4</sub>) et du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). Cependant, ces émissions sont souvent négligées dans les calculs simplifiés d'empreinte carbone, en raison de leur faible quantité par rapport au CO<sub>2</sub>. Prenant l'exemple du gaz naturel, le facteur d'émission en CO<sub>2</sub> de ce gaz est de 2,35 TCO<sub>2</sub>/tep, alors que celui du CH<sub>4</sub> est de  $2,1 \cdot 10^{-4}$  T.éqCO<sub>2</sub>/tep, et pour le N<sub>2</sub>O est de  $4,2 \cdot 10^{-6}$  (GIEC, 2006a).

L'estimation des émissions de gaz à effet de serre résultant de la consommation d'énergie a été effectuée conformément à la méthodologie du GIEC (GIEC, 2006b). Elle repose sur l'application de facteurs d'émission spécifiques à chaque vecteur énergétique (tableau 4.2), en multipliant la quantité d'énergie consommée par le facteur d'émission correspondant (APRUE & GIZ, 2014).

**Tableau 4.2 : Facteur d'émission de CO<sub>2</sub> par type d'énergie**

Désignation	Kg CO <sub>2</sub> /kWh	Tonne CO <sub>2</sub> /Tep
Fuel domestique	0,2701	3,14
Fuel lourd	0,2787	3,24
Gasoil	0,2668	3,10
GPL	0,2272	2,64
Gaz naturel	0,2020	2,35
Electricité à partir du réseau SONELGAZ	0,6800	7,91
Energie (électrique ou thermique) produite à partir d'une source d'énergie renouvelable	0	0
Bois	$0,23 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \times 10^{-9}$
Charbon (à coke, sous-bitumeux ou autres bitumeux)	9,24	4,1
Essence	0,2492	2,9
Produits pétroliers	0,2640	3,07

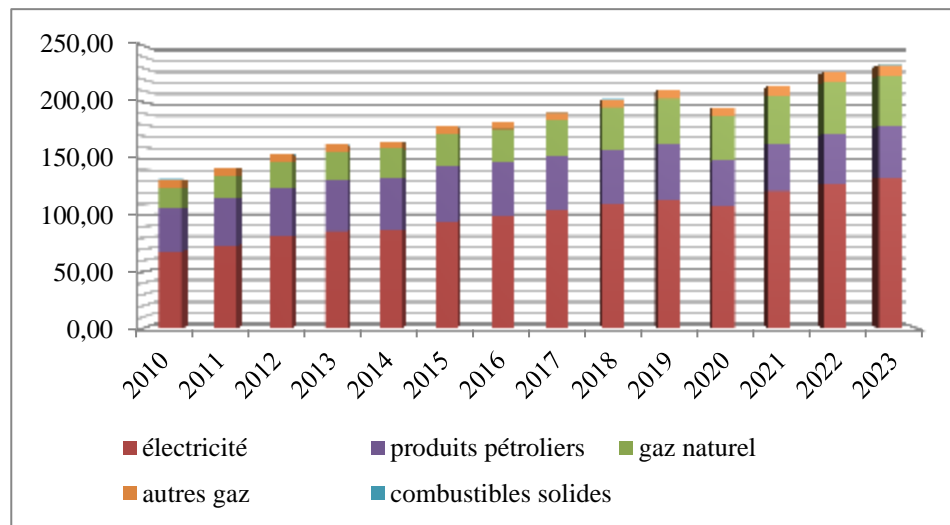
Source : (APRUE & GIZ, 2014) et (ADEME, 2007)

#### 4.4.1. Emissions CO<sub>2</sub> dues à la consommation finale

Comme pour l'analyse de l'évolution temporelle de la consommation d'énergie a été réalisée sur deux axes, l'analyse des émissions de carbone sera également conduite en suivant ces deux mêmes perspectives.

##### 4.4.1.1. Par type d'énergie

L'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation d'énergie par source d'énergie consommée sur une période allant de 2010 à 2023 est présentée sur la figure 4.17.



**Figure 4.17 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> dues à la consommation finale par type d'énergie en TCO<sub>2</sub>/Tep (2010-2023)**

Source : calcul effectué par l'auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

On observe une tendance générale à la hausse des émissions de carbone sur la période considérée, passant de 132 TCO<sub>2</sub>/Tep en 2010 à 233 TCO<sub>2</sub>/Tep en 2023. Une légère diminution est toutefois observée en 2020, due à la crise sanitaire du Covid-19 et à son impact majeur sur l'activité économique. Cette augmentation des émissions, reflète la forte dépendance aux sources d'énergie fossiles dans différents secteurs.

L'énergie électrique constitue la principale source d'émission de CO<sub>2</sub> tout au long de la période d'étude, représentant une moyenne de 54 % des émissions totales. Les émissions liées à la consommation de l'électricité ont augmenté de manière significative, avec un TCAM de

5,28 %. Cette évolution témoigne à la fois un accroissement de la demande en électricité, mais également un facteur d'émission pour ce type d'énergie. En effet, la production d'électricité en Algérie, repose majoritairement sur des centrales thermiques alimentées au gaz naturel, dont le rendement énergétique reste limité, ce qui entraîne une intensité carbone élevée (ME, 2019).

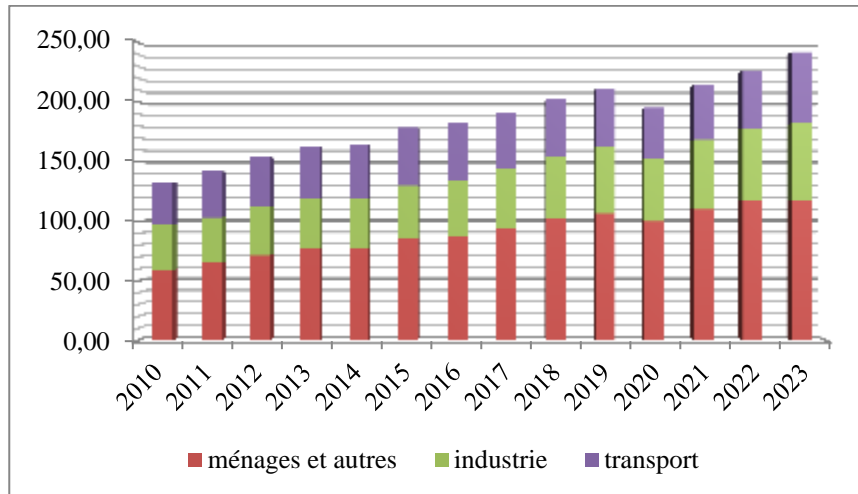
Les produits pétroliers arrivent en deuxième position avec une contribution relativement stable, traduite par un TCAM de 1,41 %. Cette stabilité reflète une stagnation de la consommation de ces produits.

La part des émissions liées à la consommation de gaz naturel est nettement inférieure à celle de l'électricité et des produits pétroliers (17,54 % des émissions totales moyennes), mais elle a tout de même augmenté progressivement au cours de la période d'étude avec un TCAM de 6,86 %. Cette croissance est probablement dues à l'utilisation prioritaire du gaz naturel dans le cadre de la transition énergétique, qui, bien qu'étant un combustible fossile, émet moins de CO<sub>2</sub> que d'autres sources.

La contribution des combustibles solides et des autres gaz dans les émissions de CO<sub>2</sub> reste relativement faible, avec une moyenne de 0,15% et 3,74% des émissions totales respectivement au cours de la période d'étude. Les combustibles solides voient leurs émissions diminuer de manière notable passant de 1,23 TCO<sub>2</sub>/Tep à 0,12 TCO<sub>2</sub>/Tep, soit un TCAM de -16,23 %.

#### **4.4.1.2. Par secteur d'activité**

La figure 4.18 illustre l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> résultant de la consommation d'énergie dans les trois secteurs d'activité (ménages et autres, industrie et transport) de l'année 2010 à 2023.



**Figure 4.18 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> dues à la consommation finale d'énergie par secteur d'activités en TCO<sub>2</sub>/Tep (2010-2023)**

Source : calcul effectué par l'auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

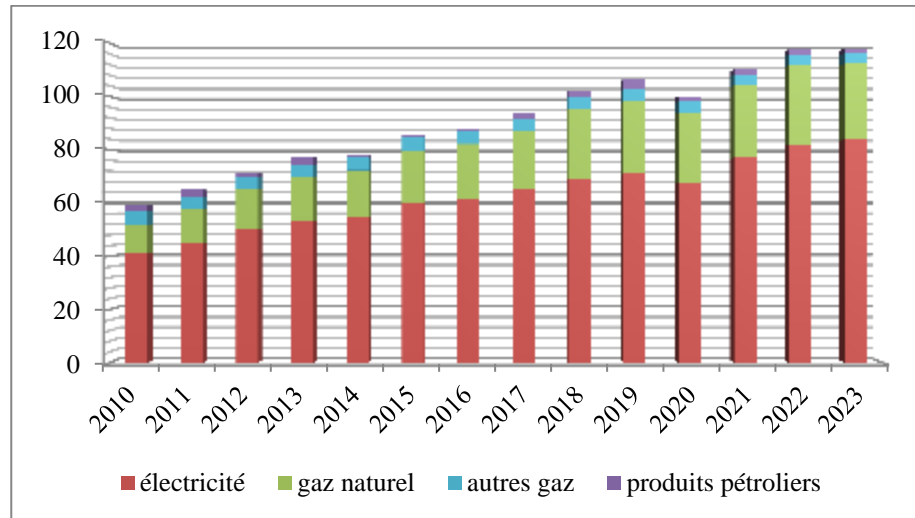
Il est clairement constaté que le secteur des ménages et autres est le plus émetteur tout au long de la période d'étude, avec une moyenne de 49 %. Les émissions de ce secteur augmentent de manière assez régulière, avec un TCAM de 5,47 %. On observe également une hausse continue des émissions de carbone dans les secteurs du transport et de l'industrie, affichant des TCAM de 4,13 et 4,18 % respectivement.

#### **4.4.2. Emissions de GES du secteur ménage et autres**

La forte contribution carbone du secteur des ménages et autres nécessite une analyses détaillée selon les deux axes suivants :

##### **4.4.2.1. Par type d'énergie**

L'analyse de l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> par source d'énergie sur la période allant de 2010 à 2023 est présentée sur la figure 4.19.



**Figure 4.19 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> par type d'énergie consommé dans le secteur ménages et autres en TCO<sub>2</sub>/Tep (2010 – 2023)**

Source : calcul effectué par l'auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

La figure montre clairement une forte augmentation des émissions totales entre 2010 et 2023, principalement tirée par la hausse des émissions liées à la consommation d'énergie électrique, et dans une moindre mesure, au gaz naturel. Cette progression constante a été temporairement interrompue en 2020 par une baisse notable à la suite de la pandémie de Covid-19.

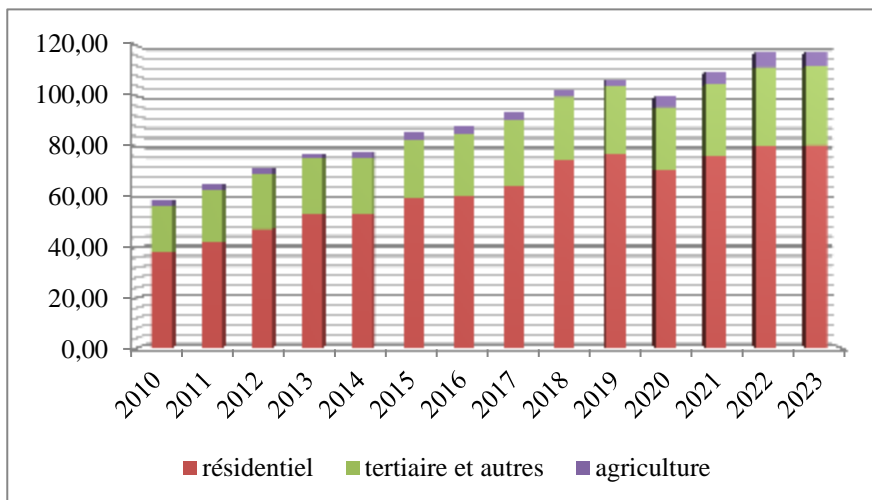
La contribution majeure aux émissions de gaz à effet de serre provient de la consommation d'électricité, avec une moyenne de 69 % sur la période étudiée et un TCAM de 5,66 %.

Le gaz naturel, bien que second contributeur avec 24 % des émissions totales, affiche le TCAM le plus élevé à 7,54 %. Ceci reflète les orientations de politiques énergétique algérienne vers l'utilisation du gaz naturel comme source prioritaire d'énergie, compte tenu des faibles émissions associées.

Les autres sources d'énergie présentent des contributions plus modestes : les autres gaz maintiennent une part de 5 % et les produits pétroliers 2 % des émissions totales. Elles enregistrent une tendance décroissante de TCAM de -1,35 et de -2,05 % respectivement, témoignant d'une diminution progressive de leur utilisation dans le secteur des ménages et autres.

#### 4.4.2.2. Par sous-secteur

La figure 4.20 présente une illustration des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur des ménages et autres, décomposé par sous-secteur : résidentiel, tertiaire et agriculture.



**Figure 4.20 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> dues à la consommation d'énergie dans le secteur ménages autres par sous-secteur en TCO<sub>2</sub>/Tep (2010 – 2023)**

Source : calcul effectué par l'auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

On observe une tendance à la hausse des émissions dans les trois sous-secteurs entre 2010 et 2022, avec une croissance plus marquée dans le résidentiel. On exclut de cette hausse, l'année 2020, qui a été marquée par la pandémie de COVID-19, montre une baisse temporaire des émissions GES dues au ralentissement des activités économiques, au confinement et à la baisse de consommation énergétique dans le tertiaire.

Le sous-secteur résidentiel est de loin le plus gros émetteur au sein des ménages et autres, avec une part d'environ 69 % des émissions moyennes tout au long de la période d'étude. Ses émissions augmentent significativement, passant de 38 TCO<sub>2</sub>/Tep en 2010 à plus de 31 TCO<sub>2</sub>/Tep en 2023, affichant un TCAM de 5,93 %. Cette augmentation est liée à la consommation accrue d'énergie, consommation influencée par la croissance démographique, l'expansion du parc de logements et l'amélioration du niveau de vie des citoyens, qui engendre une demande de confort plus élevée.

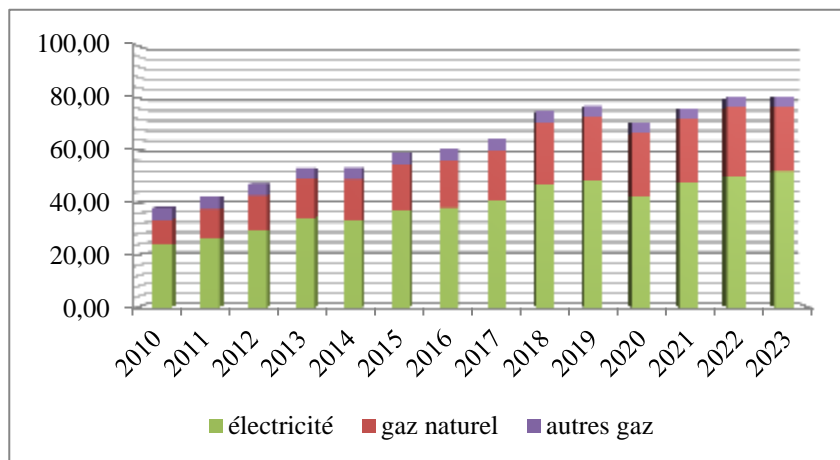
Le tertiaire arrive en seconde position avec des émissions moyennes de 27 % durant la

période d'étude. Il suit une tendance similaire mais moins prononcée à celle du secteur résidentiel (TCAM de 4,06 %). Cette augmentation peut être liée au développement des activités tertiaires qui nécessitent des grandes surfaces commerciales et de bureaux, ainsi que la généralisation des équipements informatiques et de climatisation.

L'agriculture contribue le moins aux émissions totales avec une moyenne de 4 %, mais elle enregistre le TCAM le plus élevé de 7,64 %, reflétant l'intensification des pratiques agricoles et de la modernisation du secteur.

#### **4.4.3. Emissions de GES du secteur résidentiel**

Dans le secteur résidentiel, les trois sources d'énergie émettrices de GES sont : l'électricité, le gaz naturel et le GPL (autres gaz) (figure 4.21)



**Figure 4.21 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> par type d'énergie consommé dans le secteur résidentiel en TCO<sub>2</sub>/Tep (2010-2023)**

Source : calcul effectué par l'auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

Nous constatons une augmentation significative des émissions totales de CO<sub>2</sub> durant la période d'étude, à l'exception de l'année 2020 affectée par la crise sanitaire due à la pandémie de COVID-19 (2020).

Les émissions de GES liées à la consommation d'électricité et de gaz naturel marquent une tendance à la hausse, avec un TCAM de 6,14 % et 7,61 % respectivement, tandis que celles des autres gaz enregistrent une baisse de -1,62 % de TCAM sur la période considérée.

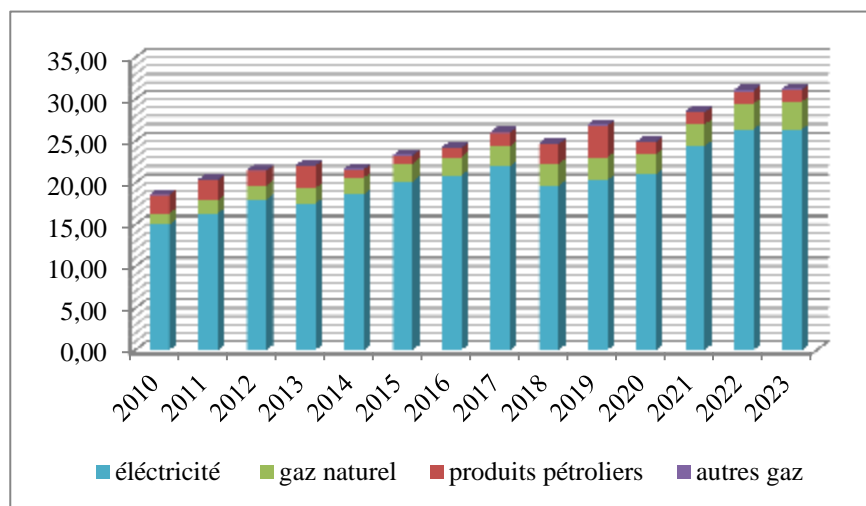
La figure met en évidence la prédominance de l'électricité comme source d'émissions de

GES dans le secteur résidentiel avec une part de 55 % en moyenne sur la période d'étude. Arrive ensuite le gaz naturel avec 34 %, puis les autres gaz avec 11 %.

Le secteur des ménages et autres, notamment le résidentiel, se distingue comme le principal consommateur d'énergie et, et par conséquent, le plus grand contributeur aux émissions de GES. L'électricité et le gaz naturel, principales sources d'énergie utilisées dans ce secteur, sont ainsi responsables de la majeure partie de ces émissions.

#### **4.4.4. Emissions de GES du secteur du tertiaire**

L'analyse de la figure 4.22 qui illustre l'évolution annuelle des émissions de GES dans le secteur tertiaire révèle les tendances suivantes :



**Figure 4.22 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> par type d'énergie consommé dans le secteur tertiaire en TCO<sub>2</sub>/tep (2010-2023)**

Source : calcul effectué par l'auteur sur la base des données du Ministère de l'énergie

- La forte dépendance du secteur tertiaire à l'énergie électrique, traduite par la part la plus importante des émissions GES, avec une moyenne de 20,50 TCO<sub>2</sub>/tep et 83 % du totale sur la période 2010 – 2023. Le TCAM modéré de 4,46 % indique les efforts déployés en matière de transition énergétique.
- Les émissions de gaz naturel affichent une tendance à la hausse sur la période, avec un TCAM de 7,18 %, le plus élevé parmi les sources d'énergie listées. Cette tendance reflète l'orientation vers l'utilisation du gaz naturel comme gaz de transition

énergétique.

- Les émissions de GES provenant de la consommation de produits pétroliers ont diminué au cours de la période d'étude, enregistrant un TCAM négatif de 3,51 %. A l'inverse, les autres gaz affichent une légère augmentation, voir une stagnation, avec un TCAM de 0,13 %.
- L'année 2020 marque une baisse significative à cause de la crise sanitaire du Covid-19.

#### **4.5. Principaux constats de l'analyse du profil énergétique et des émissions de GES**

L'analyse du profil de la consommation d'énergie dans les différents secteurs en Algérie, notamment le secteur de bâtiment, ainsi que les émissions de gaz à effet de serre (GES) qui ont résultent, permet de dégager les principaux constats suivants :

##### **Consommation d'énergie**

1. Tendances de consommation : la consommation est en augmentation constante dans tous les secteurs. La consommation finale d'énergie s'impose comme le principal moteur de cette croissance, représentant une part toujours plus importante du bilan énergétique national (58 % en 1990 et 75 % en 2023), avec un TCAM de 4,14%.
2. Consommation par secteur : tous les secteurs affichent une hausse continue de leur consommation d'énergie finale. le secteur des ménages et autres domine le paysage énergétique algérien depuis 1990, sa part oscillant entre 39% et 52% durant cette période, avec un TCAM de 4,42 %. On observe une transition significative dans ce secteur, avec une prédominance initiale des produits pétroliers (1990 – 2018), puis du gaz naturel (2018 - 2023). Parallèlement, les combustibles solides, quant à eux, montre un déclin progressif et tendent vers la disparition dans la consommation finale.
3. Consommation dans le secteur des ménages et autres : la consommation finale dans ce secteur est en constante augmentation. L'électricité a été la source d'énergie la plus utilisée de 1990 à 2012, avant que le gaz ne prenne le relais jusqu'en 2023. Le sous-secteur résidentiel est le plus énergivore, représentant 75% de la moyenne de consommation du secteur entre 2010 et 2023.
4. Consommation dans le secteur résidentiel : ce secteur affiche également une tendance

à la hausse, avec le gaz naturel comme principale source d'énergie (55 %) gaz naturel (55 %), suivi de l'électricité (34%). On note une absence de consommation de produits pétroliers et combustibles solides, ainsi qu'un déclin des autres gaz.

5. Consommation dans le secteur tertiaire : la consommation finale dans ce secteur est en constante hausse, l'électricité représentant 60 % de la moyenne de la consommation (2010-2023), suivie de gaz naturel à 24 %

**Emissions de GES :**

1. Tendances des émissions : les émissions de GES sont en augmentation, avec l'électricité comme principale source de ces émissions. Le secteur des ménages et autres est le plus gros émetteur.
2. Secteur des ménages et autres: dans ce secteur, l'électricité est la principale source d'émissions, le résidentiel étant le principal contributeur.
3. Détail sur le résidentiel : ce secteur émet principalement des GES issues de l'électricité (62 %, TCAM 6,14 %), et du gaz naturel (30 %, 7,61)
4. Secteur tertiaire : les émissions dans ce secteur proviennent principalement de l'électricité (83 %, TCAM 4,46) et du gaz naturel (9,20 %, TCAM 7,18%)

D'après ces constats, le secteur des ménages et autres est clairement le plus grand consommateur d'énergie finale en Algérie. A l'intérieur de ce secteur, le sous-secteur résidentiel est dominant, représentant 75 % de la consommation du secteur des ménages et autres entre 2010 et 2023. Cette prédominance du secteur résidentiel s'explique par :

- La croissance démographique
- L'augmentation du parc de logements
- L'amélioration du niveau de niveau de vie et l'accès accru aux équipements électroménagers
- Les besoins en chauffage et en climatisation liées aux conditions climatiques
- Les tarifs énergétiques peu élevés favorisant une consommation excessive.

Ainsi, les sources d'énergie les plus consommées varient selon les périodes et les secteurs. Cependant, le gaz naturel est la source dominante à l'échelle nationale depuis 2018. Dans le secteur des ménages et autres, le gaz naturel a pris le pas sur l'électricité depuis 2012, tandis

que dans le secteur résidentiel il reste prédominant tout au long de la période d'étude. En revanche l'électricité domine le sous-secteur du tertiaire.

En ce qui concerne les émissions de GES, l'électricité est la principale source d'émissions de GES dans tous les secteurs analysés, notamment dans celui des ménages et autres. Le gaz naturel occupe la deuxième place, avec une croissance rapide et préoccupante.

Cette analyse montre que les efforts de réduction de consommation devraient cibler l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, en particulier le résidentiel, qui est le principal consommateur d'énergie du pays. Parallèlement, les efforts de réduction des émissions devraient se concentrer sur la décarbonatation de la production de l'électricité.

### **Conclusion**

L'analyse du profil énergétique national met en évidence une croissance continue de la consommation d'énergie et des émissions de GES dans tous les secteurs, particulièrement dans le secteur des ménages et autres. Cette tendance s'explique par plusieurs facteurs : la croissance démographique, l'expansion du parc de logements l'amélioration du niveau de vie, l'usage croissant des appareils électriques, les besoins en chauffage et en climatisation, ainsi que des tarifs énergétiques peu incitatifs à la sobriété. Le passage progressif d'une prédominance des produits pétroliers vers le gaz naturel comme source principale d'énergie depuis 2018 témoigne d'une transition énergétique partielle. Toutefois, cette transition ne s'accompagne pas d'une réduction des émissions de GES, l'électricité demeure la principale source d'émissions dans tous les secteurs, suivie du gaz naturel dont les émissions connaissent une croissance préoccupante.

En synthèse, cette analyse montre deux priorités importantes pour l'Algérie. D'une part, la nécessité de maîtriser la consommation d'énergie par l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, notamment dans le résidentiel, qui constitue le cœur de la consommation nationale. D'autre part, la réduction des émissions de GES, nécessite une action ciblée pour rendre la production de l'électricité moins émettrice, principale source des émissions de GES liées à la consommation énergétique finale dans le bâtiment.

**CHAPITRE V :**

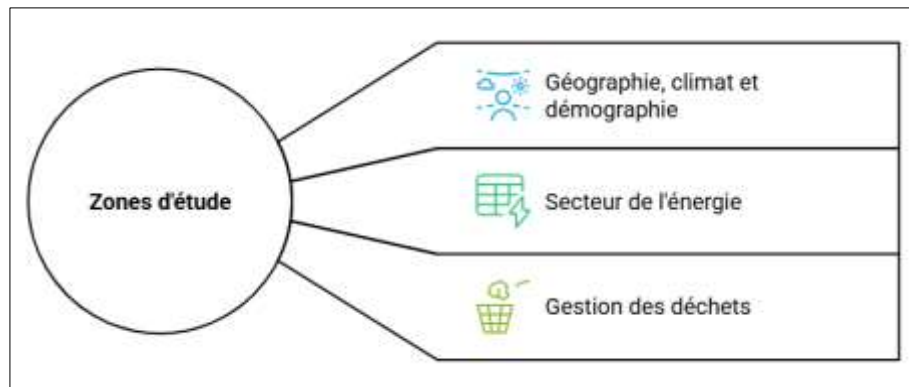
**DIAGNOSTIC DU SITE D'ETUDE : PROFIL  
ENERGETIQUE ET GISEMENT DES DECEHTS**

## Introduction

L'analyse du terrain d'étude est une étape fondamentale pour adapter notre méthodologie au contexte réel. Il s'agit de la situer dans un cadre géographique, socio-économique, démographique et environnemental précis, ce qui aide à comprendre les spécificités locales qui influencent la problématique de recherche.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les zones d'étude : la ville de Constantine et la nouvelle ville Ali Mendjeli. Une présentation de la wilaya de Constantine est donc indispensable, puisqu'elle englobe ces deux territoires. Ce chapitre débutera par une présentation géographique, climatique et démographique de la zone étudiée, autant d'éléments qui conditionnent les besoins énergétiques et la nature du gisement des déchets. Ensuite, l'attention sera portée sur le secteur de l'énergie dans la wilaya, à travers la description du réseau de distribution, l'analyse de l'évolution du nombre de clients et de la consommation d'énergie.

Par la suite, une analyse du secteur de la gestion des déchets dans les zones d'étude sera développée, en mettant l'accent sur les acteurs impliqués, l'évolution des quantités de déchets produites et de leur composition, pour enfin se focaliser sur la fraction organique, en raison de son importance quantitative et environnementale et afin d'évaluer son potentiel de valorisation matière dans la construction (figure 5.1).



**Figure 5.1: Schéma méthodologique du chapitre**

Source: auteur 2025

## **5.1. Présentation détaillée de la zone d'étude**

### **5.1.1. Justification du choix du terrain d'étude**

Le choix de ces deux aires d'étude, la ville de Constantine et la nouvelle ville Ali Mendjeli, se justifie par leurs caractéristiques urbaines opposées. La ville de Constantine, ancienne et stabilisée, est marquée par une stagnation démographique et une croissance urbaine limitée en raison du manque de foncier disponible. A l'inverse, la nouvelle ville Ali Mendjeli connaît une expansion démographique et urbanistique rapide, accompagnée d'une multiplication des équipements et des infrastructures. De ce fait, la ville de Constantine offre un cadre pour étudier l'efficacité énergétique dans un tissu urbain dense et peu évolutif, où la rénovation et l'optimisation du bâti existant sont primordiales. La nouvelle ville, quant à elle, représente un terrain propice à l'évaluation des besoins énergétiques croissants, liés à la construction de nouveaux logements et d'équipements.

### **5.1.2. Position géographique**

**La wilaya de Constantine**, situé à l'Est de l'Algérie, s'étend entre 36°17' de latitude et 6°37' de longitude. Elle se trouve à 431 Km d'Alger et à 245 km de la frontière tunisienne. D'une superficie de 2 247,59 Km<sup>2</sup>, soit 0,09 % du territoire national, elle est limitrophe des wilayas de Skikda au nord, Guelma à l'est, Mila à l'ouest et Oum El Bouaghi au sud (figure 5.2), (DPSB, 2024).

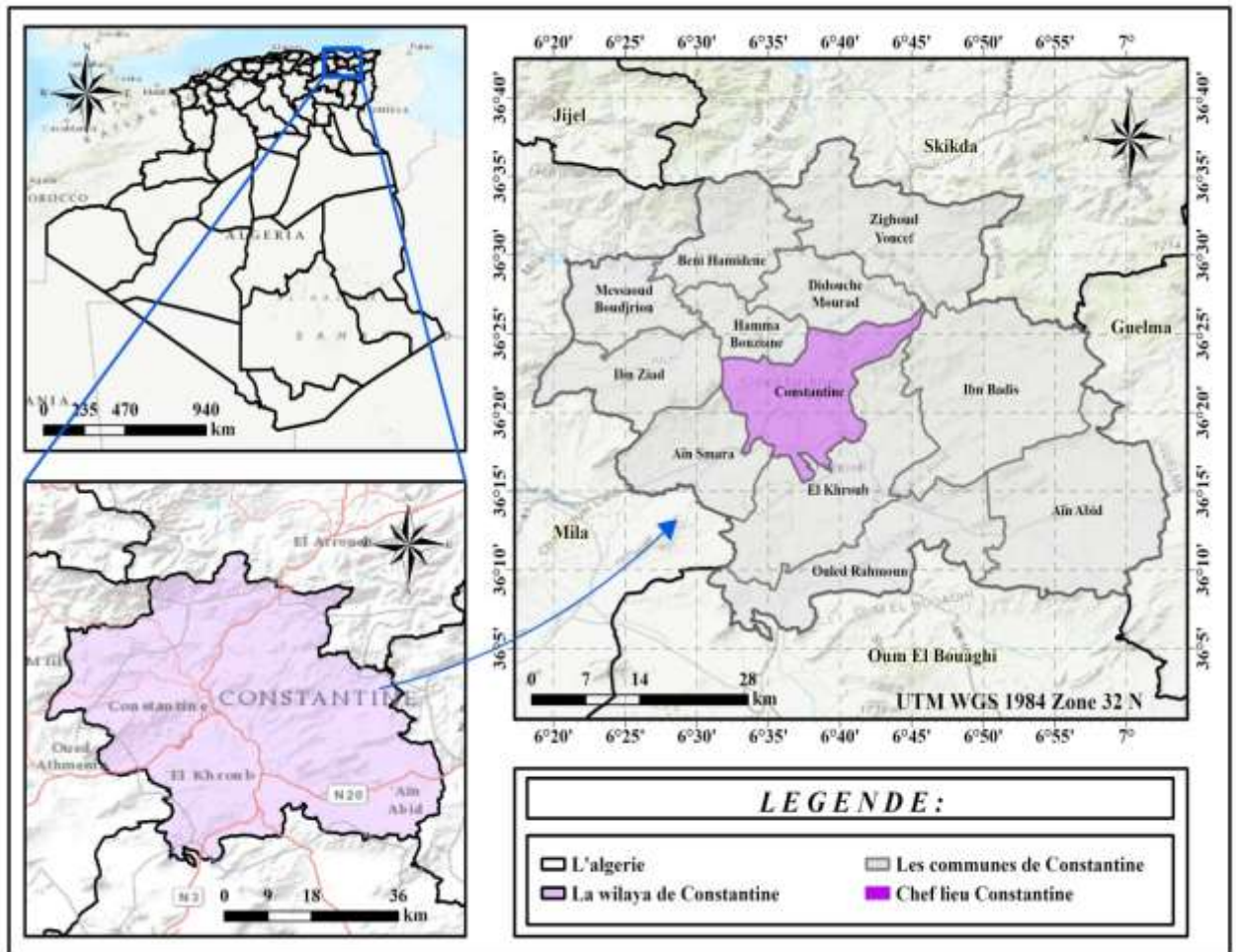


Figure 5.2. : Limites et localisation de la wilaya de Constantine

Source: auteur 2025

Située au cœur du Nord-Est algérien, *la ville de Constantine* occupe une position géographique stratégique entre le Tell et les hautes plaines (figure 5.3). Cette métropole constitue un important carrefour routier, traversé par les principaux axes de la partie orientale du pays : Nord-Sud (Skikda – Batna – Biskra) et Ouest-Est (Sétif – Annaba – Tébessa). Cette configuration connecte Constantine aux principales villes de l’Est algérien, lui conférant un rôle essentiel dans le transit des populations et des marchandises. La topographie accidentée de la ville, caractérisée par sur une série de plateaux séparés par les oueds Rhumel et Boumerzoug, a fortement influencé son développement urbain, conduisant à un tissu urbain fragmenté (URBACO, 2021).

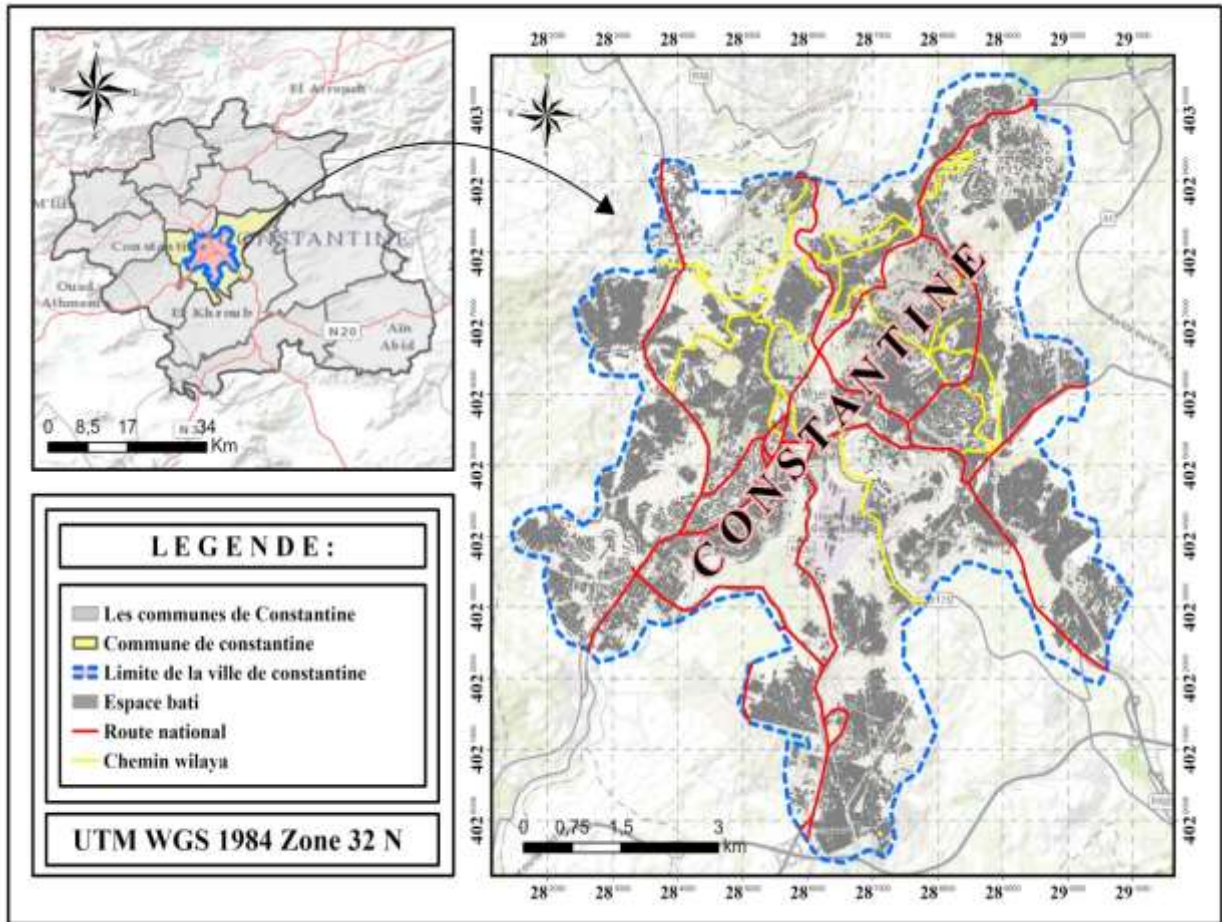


Figure 5.3 : localisation de la ville de Constantine

Source: auteur 2025

**La ville nouvelle Ali Mendjeli** a été créée dans le cadre du Plan d'urbanisme directeur (PUD) de Constantine (1982), puis confirmée par le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) (décret exécutif n° 98/89 du 25/02/1998). L'objectif de sa création était de résoudre le déséquilibre spatial et démographique de Constantine en accueillant le surplus de population de la ville et des centres urbains voisins (El Khroub, Aïn Smara, Didouche Mourad) (Lakehal, 2017). Officiellement nommée « Ali Mendjeli » par décret présidentiel n° 2000/17 du 05/08/2000, elle s'étend sur les commune d'El Khroub (1342 hectares) et Aïn Smara (1085 hectares). Elle se trouve à environ 15 km au sud de Constantine, 12 Km à l'Ouest d'El Khroub et 10 Km à l'Est d'Aïn Smara, à une altitude moyenne de 800 m (figure 5.4), (URBACO, 2021). Sa position géographique lui confère une importance stratégique par rapport à Constantine. A proximité se trouve l'aéroport international Mohamed Boudiaf (au

Nord-Est), la route nationale 79 reliant Constantine et l'autoroute Est-Ouest avec une pénétrante via le campus universitaire Constantine 3. Le chemin de wilaya 101, reliant Aïn Smara et El Khroub, traverse la ville, la divisant en deux parties (BOUGUEBRINE, 2020).

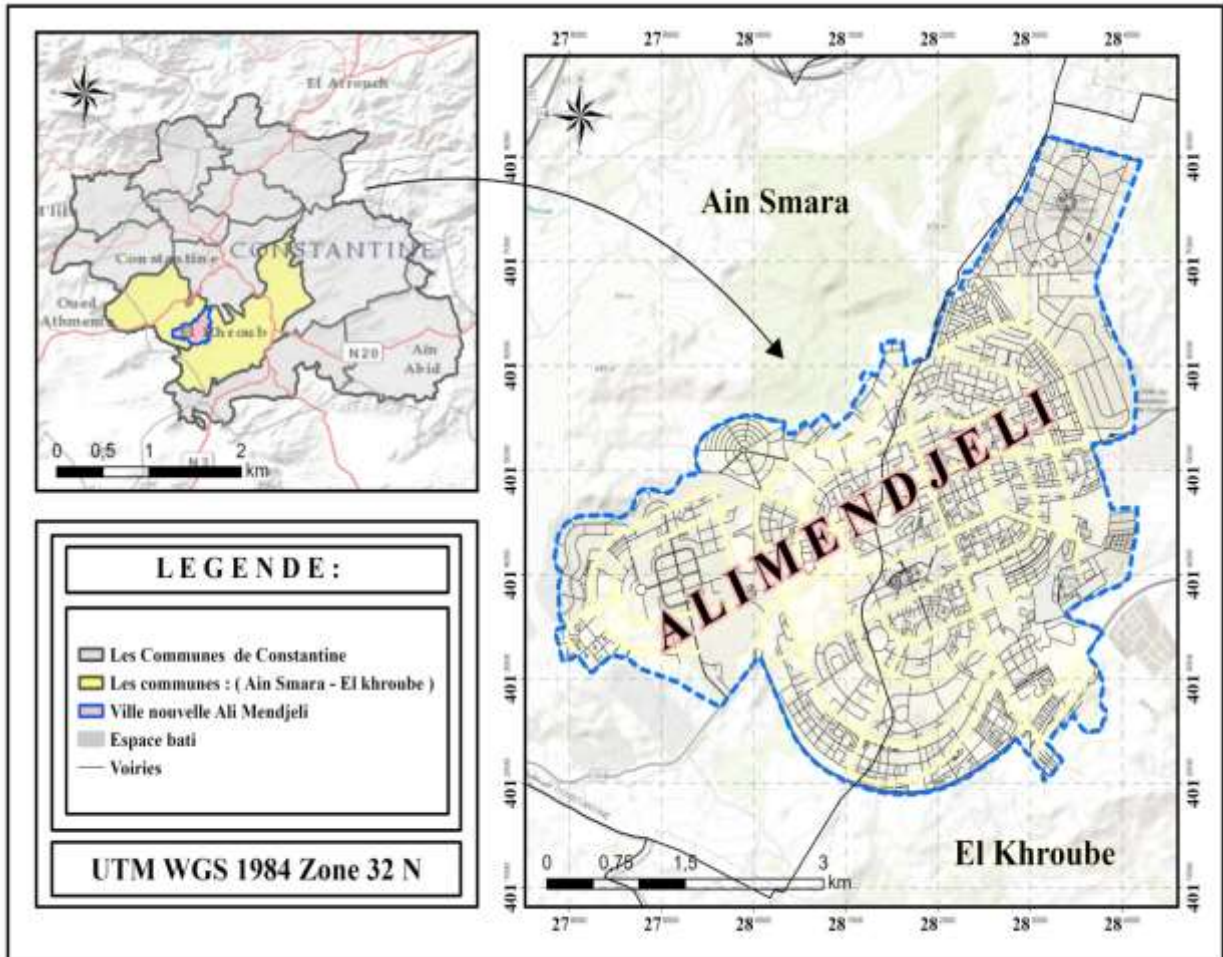


Figure 5.4 : Localisation de la nouvelle ville Ali Mendjeli

Source: auteur 2025

### 5.1.3. Organisation administrative

**La wilaya de Constantine** regroupe 12 Communes sous la tutelle de 07 Dairas et, la commune de Constantine comme chef-lieu de la Wilaya, conformément à la loi N° 84-09 du 4 février 1984 relative à l'organisation territoriale du pays modifiée et complétée, Le Décret présidentiel N° 18-337 du 25 décembre 2018 portant création de circonscriptions administratives dans les grandes villes et dans certaines villes nouvelles et déterminant les

règles de leur organisation et fonctionnement à mis une nouvelle recombinaison administrative comme suit (tableau 5.1) (DPSB, 2023):

**Tableau 5.1 : Circonscription administrative de la wilaya de Constantine**

Circonscription Administrative	Composition	
	Dairas	Commune ou Périmètre
El Khroub	El Khroub	El Khroub, Ouled Rahmoune
	Ain Abid	Ain Abid, Ibn Badis
Zighoud Youcef	Zighoud Youcef	Zighoud Youcef, Béni Hamidene
Hamma Bouziane	Hamma Bouziane	Hamma Bouziane, Didouche Mourad
	Ibn Ziad	Ibn Ziad, Messaoud Boudjeriou
Constantine Ville	Constantine	Constantine
ALI MENDJELI	Ain Smara	Périmètre de la ville nouvelle Ali Mendjeli et la commune d'Ain Smara

Source : (DPSB, 2020)

Sur le plan administratif, la wilaya de Constantine Compte sept dairas (07 dairas) et douze communes (tableau 5.2 et figure 5.5)

**Tableau 5.2 : Organisation administrative de la wilaya de Constantine**

Dairas	Communes	Superficie de la commune
1. CONSTANTINE	Constantine	185,62
2. EL KHROUB	El Khroub	259,81
	Ouled Rahmoune	217,36
3. AIN ABID	Ain Abid	303,79
	Ibn Badis	316,75
4. ZIGHOUD YUCEF	Zighoud Youcef	235,98
	Beni Hamidene	137,56
5. HAMMA BOUZIANE	Hamma Bouziane	73,29
	Didouche Mourad	112,43
6. IBN ZIAD	Ibn Ziad	150,36
	Messoud Boudjeriou	106,87
7. Ain Smara	Ain Smara	147,77
/	/	2 247,59

Source : (DPSB, 2024)

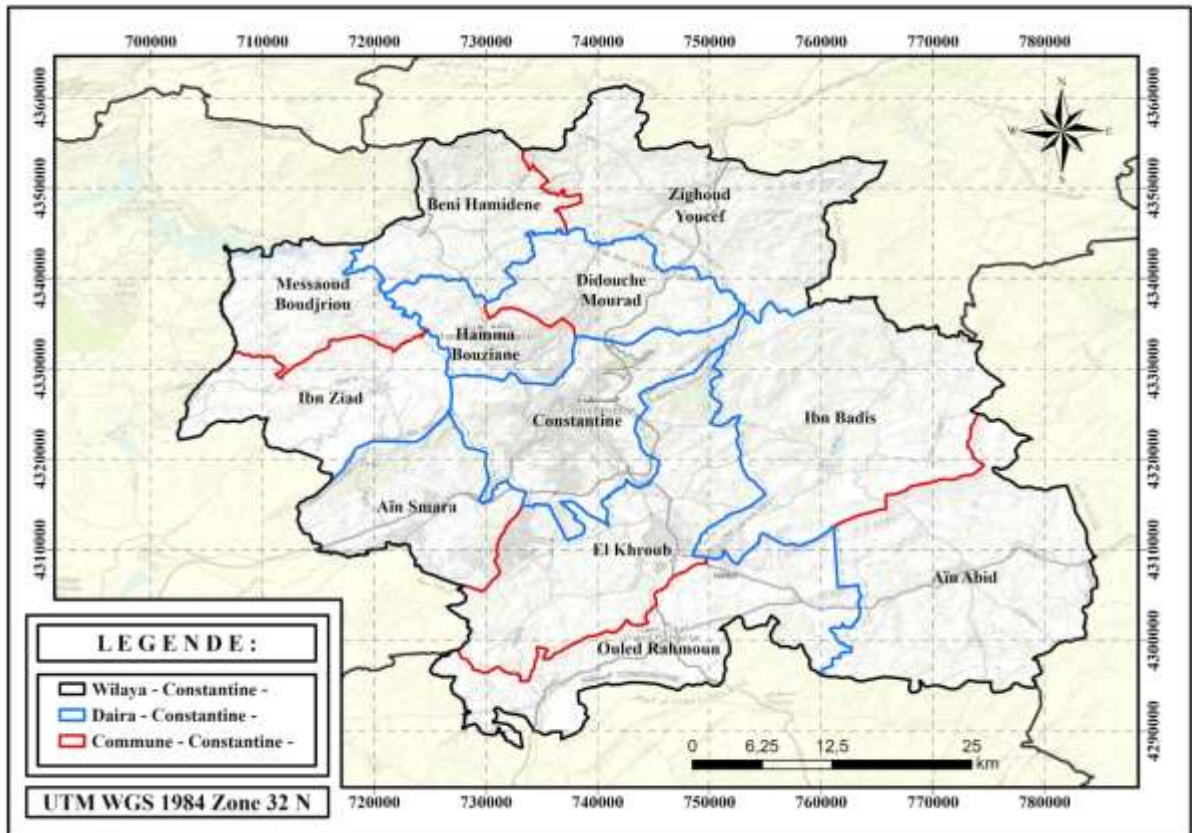


Figure 5.5 : Dairas et communes de la wilaya de Constantine

Source : auteur 2025

#### 5.1.4. Cadre physique

##### 5.1.4.1. Relief de Constantine

La wilaya de Constantine présente un relief diversifié, structuré autour de plusieurs formations géographiques distinctes (figure 5.6) :

**Montagnes** : le nord de la wilaya est dominé par une chaîne numidique, dont le massif de Jebel El Wahech (environ 500 km<sup>2</sup>) constitue l'élément le plus important pour le développement économique. Ce massif accidenté s'étend sur plusieurs communes. D'autres reliefs montagneux importants incluent l'anticlinal de Chettaba à l'ouest, le rocher de Constantine, caractérisé par ses escarpements abrupts, et Djbel Oum Settas au sud.

**Plaines** : au sud, les glacis d'Ain Abid et d'Ouled Rahmoune marquent le début des

hautes terres de l'est algérien, annonçant les plateaux d'Ain M'lila et d'Ain El Bey.

**Steppes** : la partie intérieure de la wilaya est caractérisée par le prolongement du bassin de Mila (aux environs de Messaoud Boudjeriou), en continuité avec le bassin de travertins de Hamma Bouziane, et la dépression de Didouche Mourad et Béni Hamidène.

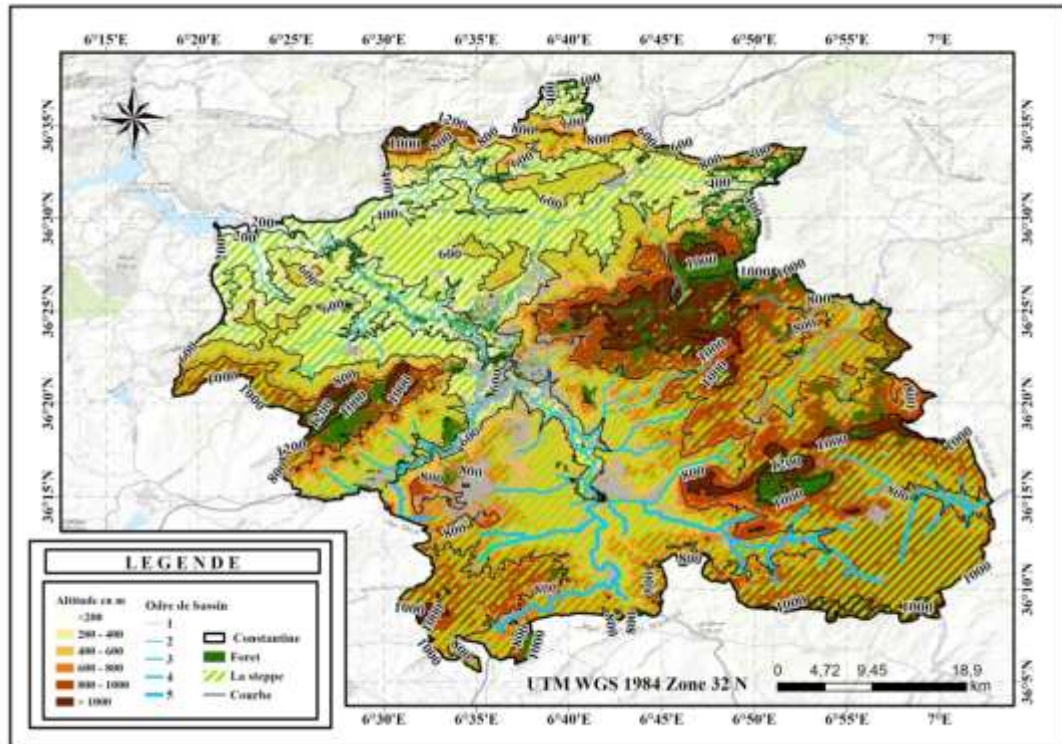


Figure 5.6: relief de Constantine

Source: auteur 2025

**Vallées** : quatre vallées principales constituent des couloirs naturels reliant le Tell aux hautes terres du sud : la vallée supérieure du Rhumel (à Ain Smara), la vallée du Boumerzoug à El-Khroub, la vallée inférieure du Rhumel (Ibn Ziad – Hamma Bouziane), et la vallée de l'Oued Smendou ( qui rejoint la vallée inférieure du Rhumel à Beni Hamidène) (DPSB, 2024).

#### 5.1.4.2. Climat

Nos deux aires d'étude se situent dans la zone climatique B en période estivale, qui englobe les différentes régions du nord Tellien et les hautes plaines de l'intérieur (avec une

température extérieure de base est de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). En période hivernale, la ville nouvelle d'Ali Mendjeli se trouve également dans la zone climatique B, tandis que la ville de Constantine est située dans la zone climatique A. Cette dernière est délimitée par la mer au nord et les hautes plaines de l'intérieur au sud, et la température extérieure de base est de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (figure 5.7 et 5.8), (CNERIB, 2017).

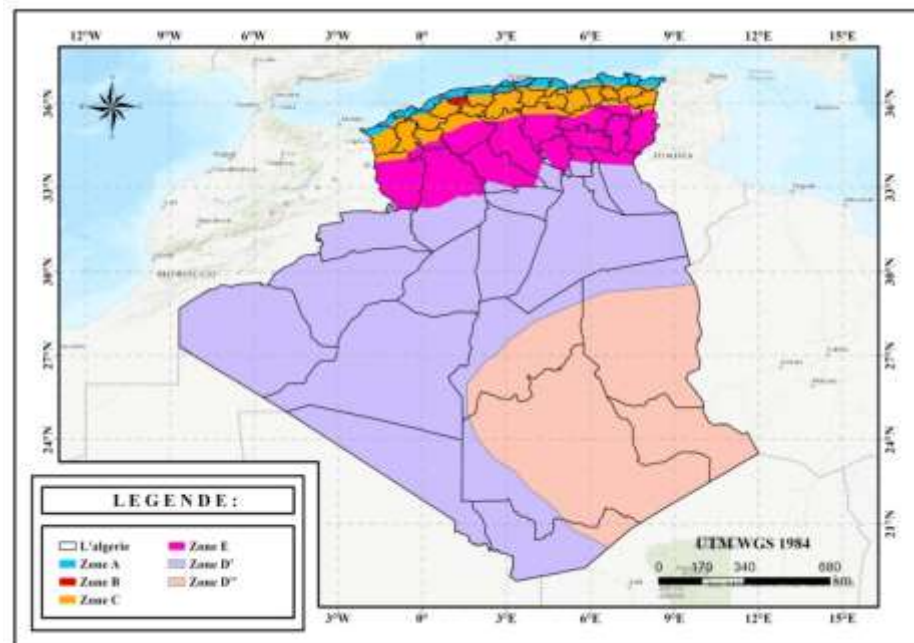


Figure 5.7: Zonage thermique hiver de l'Algérie

Source : auteur 2025

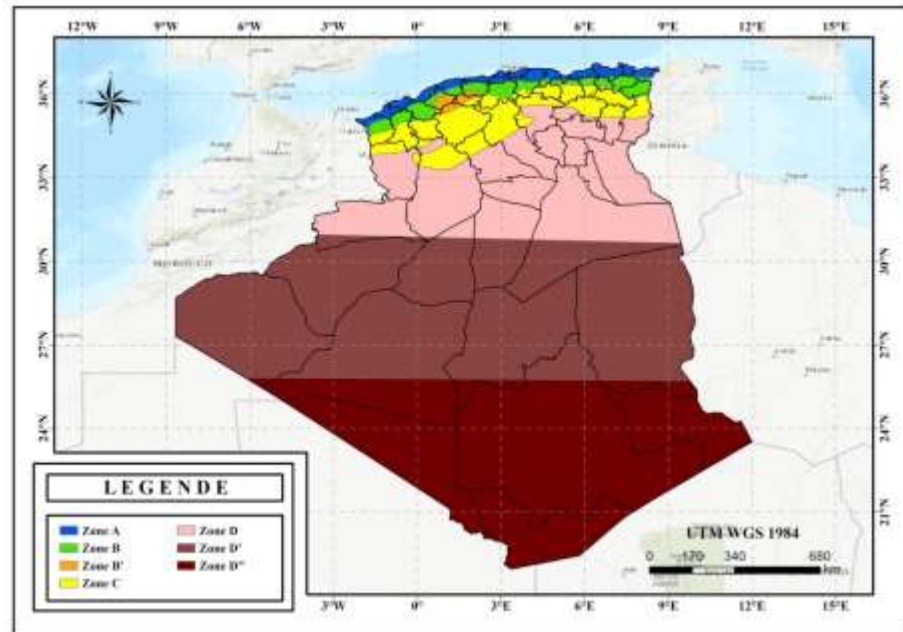


Figure 5.8: Zonage thermique été de l'Algérie

Source : auteur 2025

Constantine bénéficie d'un Climat continental, caractérisé par des hivers froids et des étés chauds et secs. La température moyenne estivale se situe entre 18 °C et 26 °C, tandis que la température moyenne hivernale oscille entre 7 °C et 12 °C. La température moyenne annuelle s'établit à 16 °C. Les précipitations annuelles présentent des variations considérables, allant de 35 mm à 700 mm selon les années (DPSB, 2022), avec une répartition inégale au cours de l'année (figure 5.9). Ces précipitations, essentielles pour la recharge des réserves en eau, sont principalement concentrées durant la saison hivernale (environ 65-70 mm en décembre-janvier). Le nombre annuel de jour de pluie varie de 40 à 60 jours (DPSB, 2019). Par ailleurs, la vitesse du vent demeure relativement stable sur l'année, légèrement élevée en hiver, atteignant 3,8 m/s aux mois de décembre, janvier et février. L'humidité atteint son minimum en juillet, tandis qu'elle est maximale en décembre et janvier (figure 5.10).

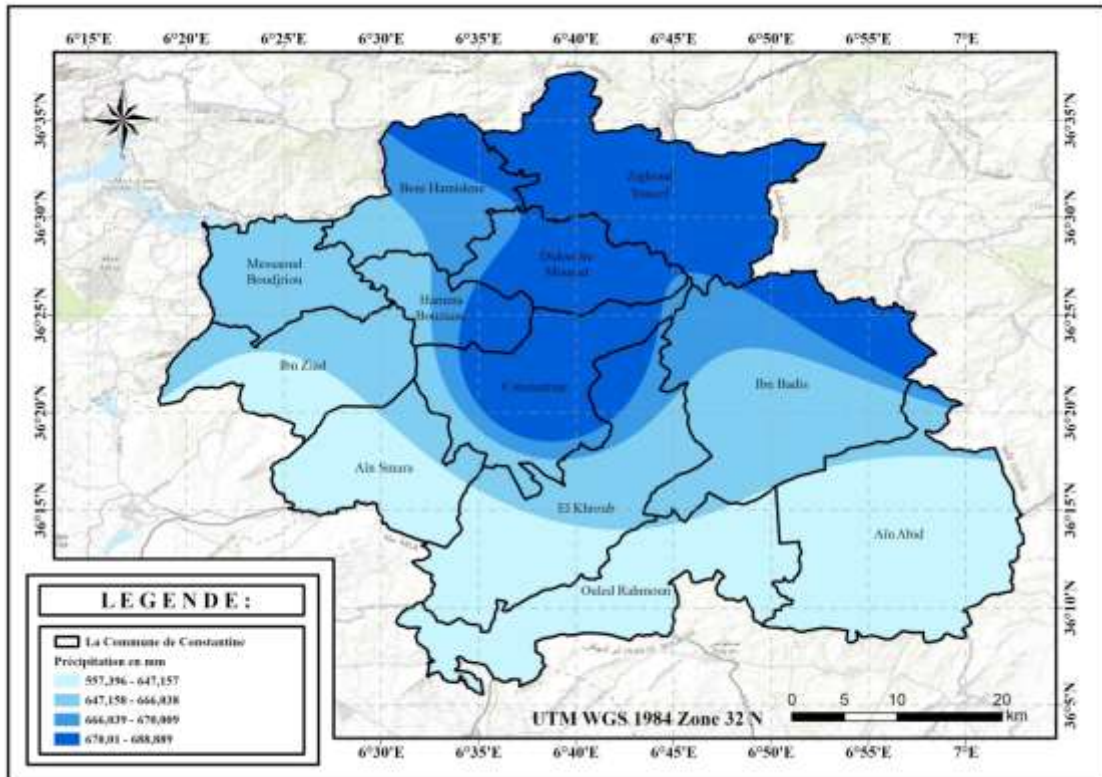


Figure 5.9 : Précipitations par commune dans la wilaya de Constantine

Source : auteur 2025

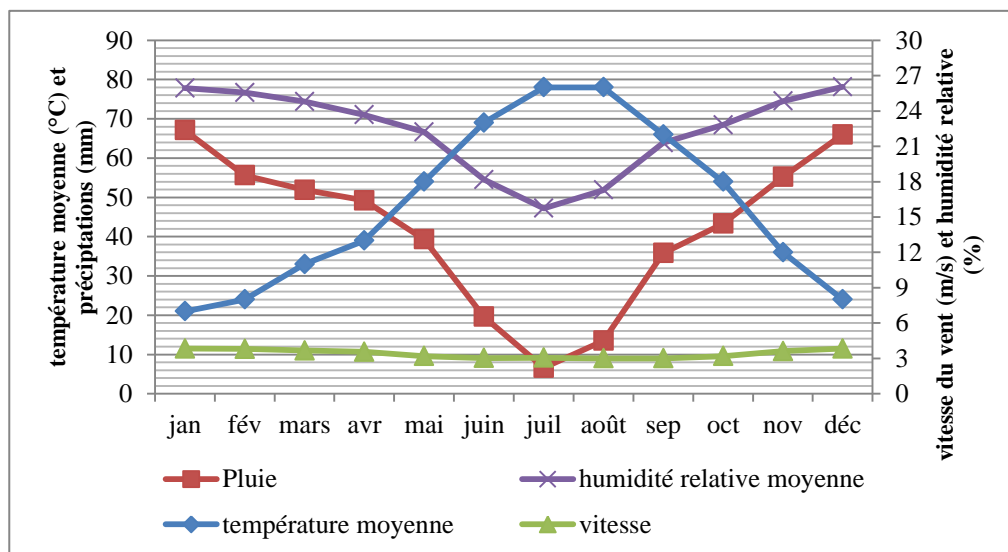


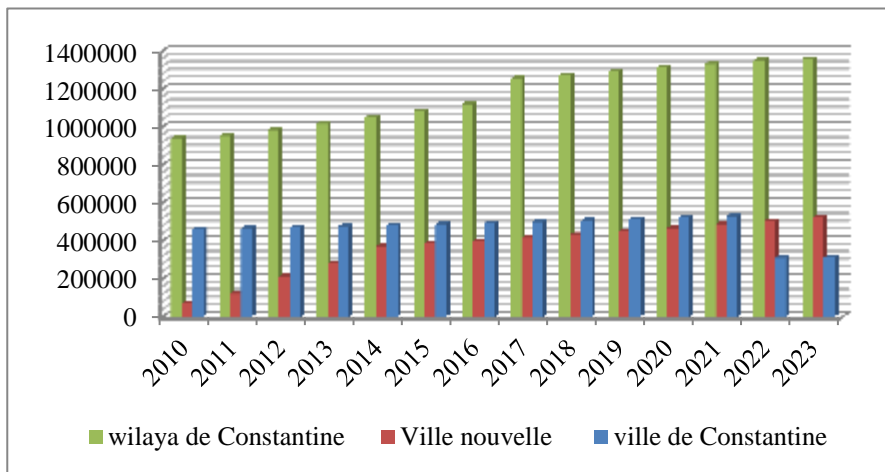
Figure 5.10 : Facteurs climatiques mensuels moyens à Constantine

Source : auteur sur la base des données de l'Office National de Météorologie

### 5.1.5. Population

La figure 5.11 présente l'évolution de la population de la wilaya de Constantine, de la ville de Constantine et de la ville nouvelle Ali Mendjeli de 2010 à 2023. Cette figure a été élaborée sur la base de plusieurs sources :

- Les résultats du RGPH (2008) de la population et de l'habitat au niveau de la commune.
- Les monographies de Constantine (2017-2023)
- Les données de la direction de logement (2020-2023)
- Et des estimations basées sur les TCAM pour compléter les données manquantes.



**Figure 5.11 : Evolution de la population dans la zone d'étude (2010 – 2023)**

Source : données de plusieurs directions + calcul sur la base des TCAM des données manquantes

La population de la ville de Constantine a connu une baisse significative, passant de 462 517 en 2010 à 388 588 en 2023, affichant un TCAM négatif de -1,33 %. Ce déclin démographique pourrait être imputable à plusieurs facteurs : une baisse du taux de natalité, une forte émigration vers d'autres régions (y compris la nouvelle ville d'Ali Mendjeli), ou un manque d'attractivité de la ville pour les nouveaux arrivants. A l'inverse, la ville nouvelle d'Ali Mendjeli, qui connaît une intensification des différents programmes de logements, enregistre une croissance démographique très rapide, comme en témoigne le TCAM

extrêmement élevé de 16,94 %. Ce taux exceptionnel est reflète la forte immigration vers la ville nouvelle, attirée par les opportunités de logement, d'emploi ou d'infrastructures nouvelles.

La wilaya de Constantine connaît une croissance démographique globale avec un TCAM de 2,88 %, mais cette croissance est spatialement inégale. Elle est principalement concentrée dans la ville nouvelle qui connaît une expansion démographique remarquable, simultanée au déclin de la ville de Constantine, ce qui suggère une redistribution de la population au sein de la wilaya.

### 5.1.6. Habitat

Le tableau 5.3 présente l'évolution du parc de logement et du taux d'occupation du logement (TOL) pour la wilaya de Constantine, la ville de Constantine et la nouvelle ville d'Ali Mendjeli entre 2010 et 2023.

**Tableau 5.3 : Evolution locale du parc de logements (2010 – 2023)**

	année	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2023
<b>Wilaya de Constantine</b>	Parc du logement	938475	983064	1049017	1119395	1272488	1310952	1350575	1357328
	TOL	5,0	4,9	4,8	4,8	5,1	4,9	4,3	4,3
<b>Ville de Constantine</b>	Parc du logement	78756	78457	78143	77831	77520	77349	77040	76886
	TOL	5,9	5,7	5,6	5,5	5,3	5,2	5,1	5,0
<b>NV Ali Mendjeli</b>	Parc du logement	13709	42326	73902	86345	86345	99041	113604	121670
	TOL	5,0	5,0	5,0	4,6	5,0	4,7	4,4	4,3

Source : données de plusieurs directions + calcul sur la base des TCAM des données manquantes

Le parc de logement dans la wilaya de Constantine a augmenté de 938475 en 2010 à 1 357 328 unités en 2023, soit une croissance de 44,7 % en 13 ans. Le rythme de croissance semble cependant ralentir ces dernières années, comme en témoigne le TCAM qui est passé de 2,99 % pour la période 2010 – 2016 à 1,33 % pour la période 2017 - 2023. Contrairement à la

wilaya, le parc du logement de la ville de Constantine diminue de manière constante au cours de la période étudiée (TCAM de -0,18 %) (URBACO, 2021). Cela indique une réduction du nombre de logements disponibles, possiblement due aux démolitions, en particuliers des logements précaires proliférés durant les années 90, ainsi qu'à la transformation de logements en usage commercial. La ville d'Ali Mendjeli connaît une forte croissance du logement, avec un TCAM de 36 % avant 2016 et 5 % après cette date. Cette croissance observée confirme son rôle de pôle d'attraction démographique (transfert de surplus démographique) (Lakehal, 2017).

Le TOL est un indicateur qui mesure la densité démographique moyenne au sein d'un logement. Une diminution du TOL indique une amélioration des conditions de logement. Les TOL de la wilaya et de la nouvelle ville suivent la même tendance, avec une baisse progressive sur la période d'étude, passant de 5 en 2010 à 4,3 personnes/logement en 2023. Ceci indique que la croissance du parc immobilier permet d'accompagner l'augmentation de la population sans créer de surpeuplement important. En revanche, malgré la baisse de la population et du parc de logement dans la ville de Constantine, le TOL diminue en parallèle, traduisant l'atténuation progressive du phénomène de surpeuplement.

## **5.2. Contexte énergétique**

### **5.2.1. Structure de la distribution de l'énergie à Constantine**

Le réseau de distribution de l'énergie à Constantine s'organise selon une structure complètement différente du découpage administratif de la wilaya (daïras et communes). La figure 5.12 met en évidence l'organisation du réseau de distribution énergétique au niveau de la wilaya de Constantine.

Cette différence structurelle entre les découpages administratifs et énergétiques, complique l'obtention des données précises sur la consommation énergétique par commune, notamment pour la ville de Constantine et la nouvelle ville Ali Mendjeli. Pour faire face à cette difficulté, la méthodologie suivante sera utilisée pour l'analyse énergétique dans l'aire d'étude :

1. Une présentation globale des caractéristiques du réseau de distribution d'énergie à l'échelle de la wilaya de Constantine (nombre de clients et ventes d'énergie).

2. Une estimation de la consommation d'énergie par commune, en utilisant un modèle basé sur la consommation nationale et locale, ajusté selon les paramètres spécifiques à chaque commune (population, typologie du bâtiment)

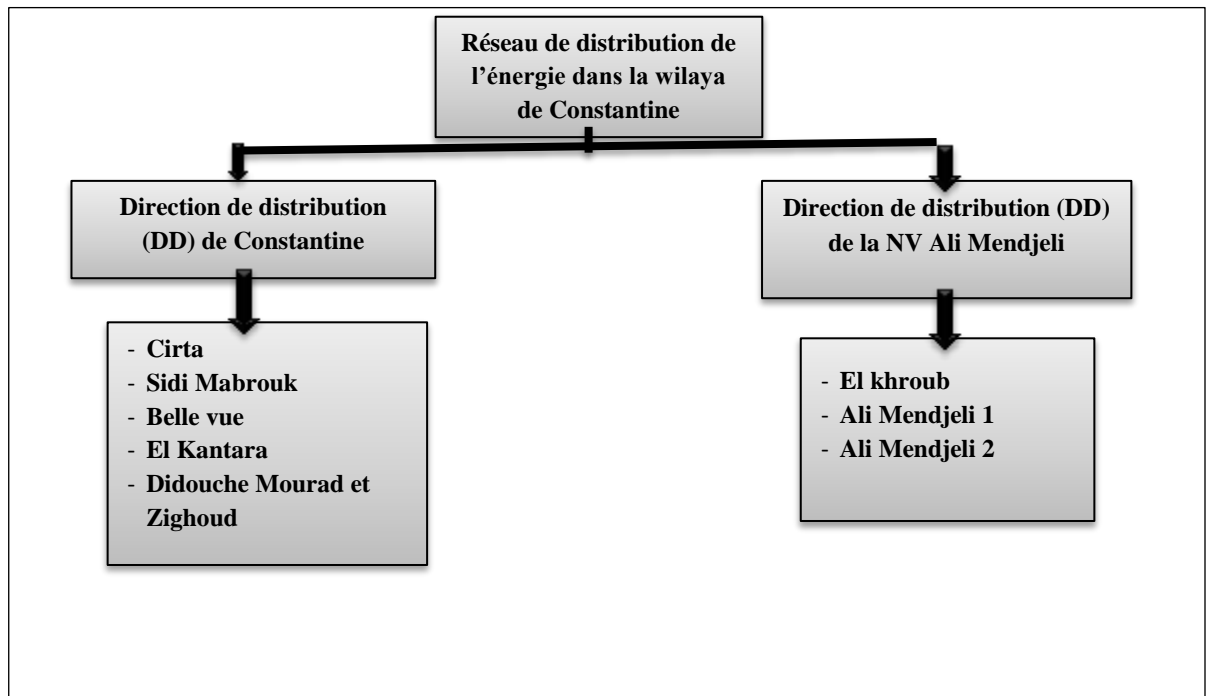


Figure 5.12 : Schéma organisationnel du réseau de distribution à Constantine

Source : auteur sur la base de (SDE, 2024)

### 5.2.2. Description du réseau de distribution

Le réseau de distribution transporte l'énergie depuis les postes de transformation (électricité) ou les stations de réduction de pression (gaz) jusqu'aux utilisateurs finaux (Sonelgaz, s. d.). Il assure l'alimentation en énergie selon les besoins des consommateurs. Il propose des abonnements en basse tension (BT) et en moyenne tension (MT) pour l'électricité, ainsi qu'en basse pression (BP) et moyenne pression (MP) pour le gaz (tableau 5.4).

**Tableau 5.4 : Caractéristiques du réseau de distribution d'énergie en Algérie**

Type d'énergie	Catégorie	Usagers principaux	Caractéristiques techniques
<b>Electricité</b>	Basse tension (BT)	Ménages (résidentiel), petites entreprises, certains services publiques (écoles)	≤ 40 KVA
	Moyenne Tension (MT)	Industries, grandes entreprises, administrations, exploitations agricoles	40 – 15 000 KVA
<b>Gaz</b>	Basse Pression (BP)	Ménages (résidentiel), petites entreprises, certains services publiques (écoles)	≤ 21 mbars
	Moyenne Tension	Industries, grandes entreprises, administrations, exploitations agricoles	≤ 1 bar

Source : auteur sur la base des données de Sonelgaz

### 5.2.3. Nombre de clients

L'évolution du nombre d'abonnés à l'énergie dans la wilaya de Constantine est illustrée dans le tableau 5.5.

**Tableau 5.5 : Evolution du nombre d'abonnés au gaz et à l'électricité à Constantine (2010 – 2023)**

Energie	DD	année	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2023
<b>Electricité</b>	<b>Constantine</b>	<b>BT</b>	97631	98356	97709	97728	273383	152633	162069	164929
		<b>MT</b>	449	467	476	515	1419	832	845	876
	<b>NV Ali Mendjeli</b>	<b>BT</b>	109062	121512	139161	154716	171366	146563	172735	177284
		<b>MT</b>	629	685	769	823	877	669	734	769
<b>Gaz</b>	<b>Constantine</b>	<b>BP</b>	73925	75284	76220	77449	228709	124608	134011	136775
		<b>MP</b>	125	136	138	147	281	198	202	205
	<b>NV Ali Mendjeli</b>	<b>BP</b>	87581	101244	117256	131971	144294	128072	149603	154935
		<b>MP</b>	60	68	97	113	122	113	124	126

Source : auteur sur la base de (SDE, 2024)

#### a) La direction de distribution de Constantine

Le nombre d'abonnés à l'électricité BT est relativement stable entre 2010 et 2016 (autour de 98 000 abonnés). Une forte augmentation est observée en 2018 (273 383), suivie

d'une réduction en 2020 (152 633 abonnés), puis une reprise en 2023 (164 929 abonnés). Cette augmentation suggère une amélioration de l'accès à l'électricité, à l'urbanisation ou à la régularisation des branchements informels.

**Le nombre d'abonnés à l'électricité MT**, faible par rapport aux abonnés BT, croît lentement de manière linéaire sur la période, passant de 449 abonnés en 2010 à 876 en 2023. Ceci reflète le développement du secteur industriel et commercial dans la zone desservie.

En ce qui concerne **les abonnés au gaz en BP**, l'évolution est similaire à celle de l'électricité BT, une progression modérée jusqu'en 2016 (77 449 abonnés), suivie d'une explosion en 2018 (228 709), avant de repartir à la hausse en 2023 (136 775 abonnés). Cela indique une amélioration de la couverture en gaz naturel dans la wilaya (tableau 4.6).

Parallèlement, **le nombre d'abonnés en moyenne pression**, augmente progressivement, passant de 125 en 2010 abonnés en 2010 à 205 en 2023, soit une augmentation de 64 %. Cette évolution indique un développement progressif du secteur industriel, qui nécessite une alimentation en gaz à moyenne pression.

#### **b) La direction de distribution de la nouvelle ville Ali Mendjeli**

Cette direction a connu une forte croissance de 62,5 % de **nombre d'abonnés en électricité BT** sur la période d'étude. Un déclin temporaire a été observé en 2020, qui pourrait être attribuée à la pandémie qui a causé des retards dans le raccordement de nouvelles constructions au réseau électrique.

**Le nombre de clients en MT** a augmenté régulièrement jusqu'en 2018, puis a diminué en 2020, avant de repartir à la hausse. Cette instabilité peut être liée à des fluctuations de l'activité économique due à la pandémie.

L'urbanisation rapide de la nouvelle ville a entraîné une augmentation remarquable du **nombre d'abonnés au gaz BP** sur la période, passant de 87581 en 2010 à 154 935 en 2023, soit un taux de 77 %. La chute de nombre d'abonnés en 2020 peut être expliquée par une urbanisation plus rapide que l'électrification. Ainsi que l'industrialisation modérée de la région desservie se traduit par une augmentation lente mais continue **de nombre d'abonnés au gaz MP** (11 % d'augmentation sur la période).

#### **5.2.4. Taux de raccordement au réseau d'énergie**

L'évolution des infrastructures énergétiques dans la wilaya de Constantine sur la période 2010-2023 est illustrée dans le tableau 5.6.

**Tableau 5.6 : Evolution du taux de raccordement au gaz et à l'électricité à Constantine (2010 – 2023)**

année	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2023
<b>Taux d'électrification (%)</b>	98,2	98,4	98,6	98,8	98	99	99	99
<b>Taux de raccordement au gaz (%)</b>	84,3	86,4	88,3	91,12	92	92	93	95

Source : (Direction de l'énergie, 2024)

Bien que les progrès soient différents pour l'électricité et le gaz, les taux de raccordement ont globalement augmenté, indiquant une amélioration de l'accès à ces services essentiels pour la population. Le taux d'électrification était déjà très élevé en 2010 (98,2%), qui s'est maintenu et a atteint un niveau proche de 99% en 2023. Le taux de raccordement au gaz en 2010, significativement plus bas (84,3%) que celui de l'électricité, a connu une croissance plus marquée et continue sur la période, gagnant au total 10,7 points de pourcentage (passant de 84,3% à 95%). Cette progression reflète la volonté de l'état algérien d'assurer une couverture équitable et universelle en électricité et en gaz, sur l'ensemble du territoire nationale (loi 02-01 du 5 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations)

#### **5.2.5. Ventes d'énergie**

Les données relatives aux ventes d'énergie, présentées dans le tableau 5.7, représentent une approximation très proche de la quantité d'énergie réelle utilisée par les différents secteurs (résidentiel, industriel, tertiaire et agriculture), malgré quelques écarts. Ces écarts sont dus aux pertes en ligne, aux fraudes, ainsi qu'à l'autoproduction d'énergie via les énergies renouvelables (ce qui n'est pas le cas dans notre aire d'étude).

**Tableau 5.7 : Evolution des ventes d'énergie à Constantine (2010 – 2023)**

**CHAPITRE VI : DIAGNOSTIC DU SITE D'ETUDE : PROFIL ENERGETIQUE ET GISEMENT DES DECHETS**

Energie (ktep)	DD	année	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2023
<b>Electricité</b>	<b>Constantine</b>	<b>BT</b>	23	26	28	28	68	39	44	45
		<b>MT</b>	9	9	10	11	39	20	23	24
	<b>NV Ali Mendjeli</b>	<b>BT</b>	21	28	33	36	43	28	35	37
		<b>MT</b>	17	18	21	26	29	17	19	22
<b>Gaz</b>	<b>Constantine</b>	<b>BP</b>	138	153	168	173	508	294	297	291
		<b>MP</b>	11	13	13	13	46	28	32	34
	<b>NV Ali Mendjeli</b>	<b>BP</b>	133	178	217	243	273	231	252	255
		<b>MP</b>	13	14	19	27	28	14	16	17

Source : auteur sur la base des données de la SDE

Les ventes d'**électricité BT** dans les deux directions de distribution suivent une évolution similaire. Elles progressent régulièrement sur la période d'étude, avec une légère baisse en 2020. L'augmentation peut être liée à l'urbanisation rapide et l'augmentation de la population, et la baisse peut être liée à la pandémie ou à une réduction de la consommation d'énergie due à la politique énergétique.

Parallèlement, les ventes d'**électricité MT** augmentent progressivement entre 2010 et 2023, avec un pic en 2018 suivi d'une baisse en 2020. Cette tendance irrégulière peut être due à deux facteurs principaux : les crises économiques, notamment celle de 2020 due à la pandémie, et les changements dans la structure industrielle.

Quant aux ventes de **gaz BP**, consommé principalement par les ménages, les petites entreprises et certains services publics, une tendance à la hausse a été observée dans les deux DD entre 2010 et 2018, avec un pic important en 2018. Après le déclin observé en 2020, les ventes se sont stabilisées dans les deux DD. Cependant, la DD de la nouvelle ville présente une croissance plus linéaire, tandis que Constantine connaît des variations marquées.

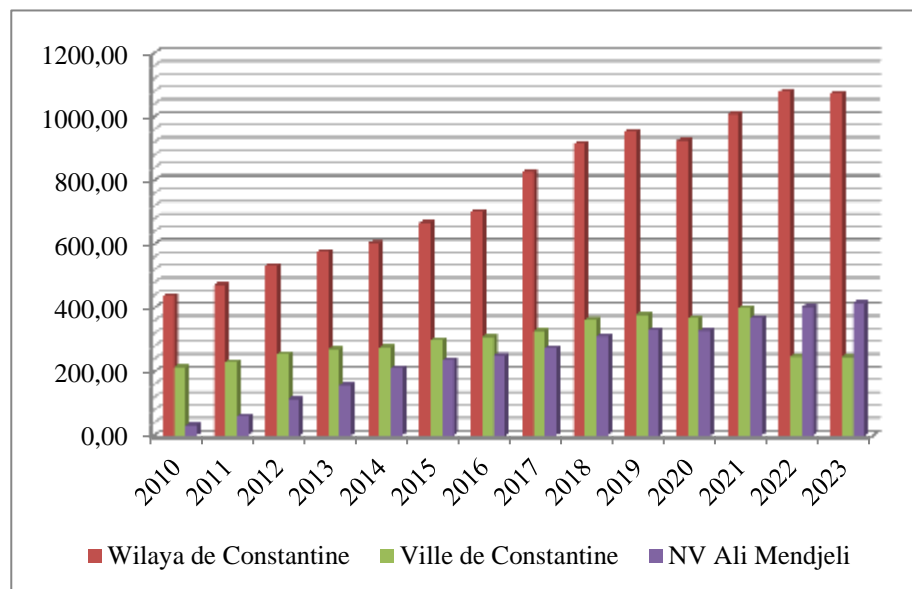
Les ventes de **gaz en MT** ont connu une croissance marquée jusqu'en 2018, suivie d'une baisse et d'une stabilisation après 2020, et ça dans les deux directions. L'augmentation des ventes de gaz en MT peut être attribuée à l'extension du réseau vers les industries et les grands établissements publics.

### 5.2.6. Tendances générales de la consommation dans le résidentiel

Les ventes d'énergie basse tension, peuvent être considérées comme un indicateur de la consommation résidentielle. Cependant, ces données incluent également la consommation des établissements non résidentiels, tels que les écoles, les administrations, les petites entreprises et quelques exploitations agricoles. Par conséquent, l'estimation de la consommation d'énergie résidentielle pour chaque zone géographique étudiée, a été obtenue en appliquant la consommation moyenne nationale par habitant à sa population respective. Cette approche a été adoptée en raison de l'absence des données précises sur les villes en question.

#### 5.2.6.1. Consommation finale

La consommation énergétique du secteur résidentiel a globalement augmenté dans les trois zones étudiées (figure 5.13). *La wilaya de Constantine* affiche la consommation la plus élevée et une croissance régulière significative de TCAM de 7,13%. Cette augmentation indique une demande énergétique croissante à l'échelle locale, probablement liée à la hausse du nombre de logements et à l'évolution des modes de vie.



**Figure 5.13 : Evolution de la consommation finale du secteur résidentiel dans la zone d'étude**

Source : calcul basé sur la consommation finale résidentielle/habitant (niveau national)

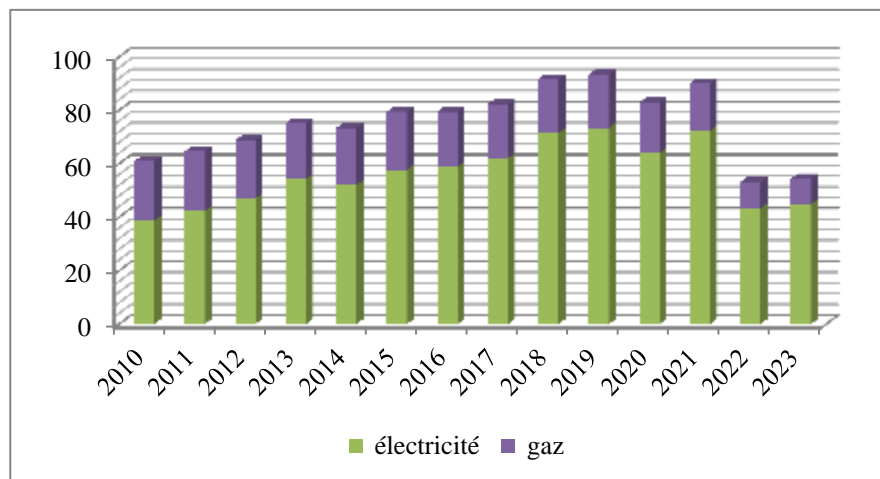
La consommation énergétique résidentielle **dans la ville de Constantine** affiche une

croissance beaucoup plus faible et plus modérée que la wilaya (TCAM de 1,06 %). Cela s'explique par la saturation de tissu urbain existant, avec une évolution plus lente du nombre de foyers et la consommation augmente principalement en raison de l'amélioration du confort et l'adoption de nouveaux équipements électroménagers.

En revanche, la consommation énergétique dans la **nouvelle ville d'Ali Mendjeli** est extrêmement rapide, comme en témoigne le TCAM de 21,77%. Cette forte demande énergétique peut être attribuée à l'expansion rapide cette nouvelle ville, qui a connu une urbanisation massive et une arrivée importante de nouveaux habitants.

### 5.2.6.2. Consommation par type d'énergie dans la ville de Constantine

La figure 5.14 met en évidence les tendances de la consommation d'électricité et de gaz dans la ville de Constantine entre 2010 et 2023.



**Figure 5.14 : Evolution de la consommation par type d'énergie dans la ville de Constantine en ktep (2010 – 2023)**

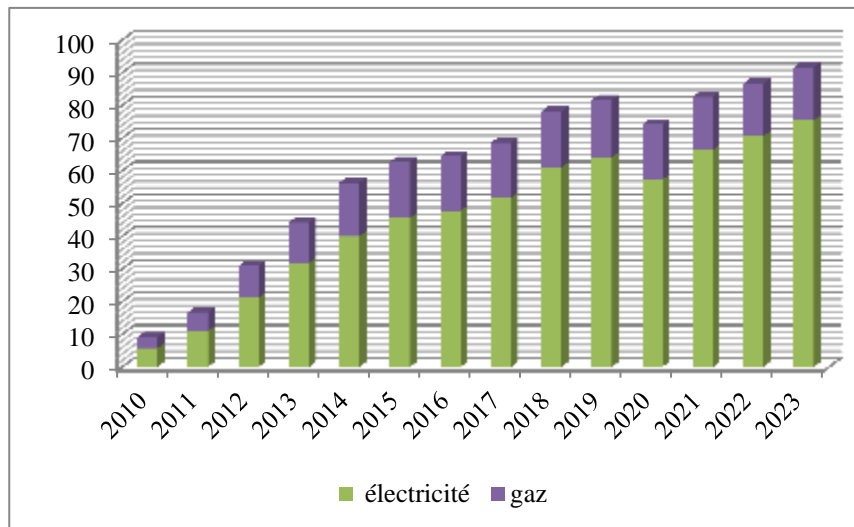
Source : calcul basé sur la consommation électrique résidentielle/habitant (niveau national)

La consommation d'électricité à Constantine augmente significativement entre 2010 et 2019, suivie d'une diminution en 2020, puis d'une reprise en 2021. La chute de 2022 est notable et principalement à la diminution de la population et du parc de logement. En revanche, la consommation de gaz a diminué de manière constante et significative tout au long de la période d'étude. La baisse est particulièrement marquée à partir de 2020, avec une division par deux de la consommation par rapport à 2021. Le TCAM de -6,27 % confirme

cette tendance à la baisse.

### 5.2.6.3. Consommation par type d'énergie dans la nouvelle ville Ali Mendjeli

La figure 5.15 montre une tendance générale à la hausse de la consommation de gaz et de l'électricité de 2010 à 2023 dans la nouvelle ville d'Ali Mendjeli, bien que certaines années présentent des fluctuations.



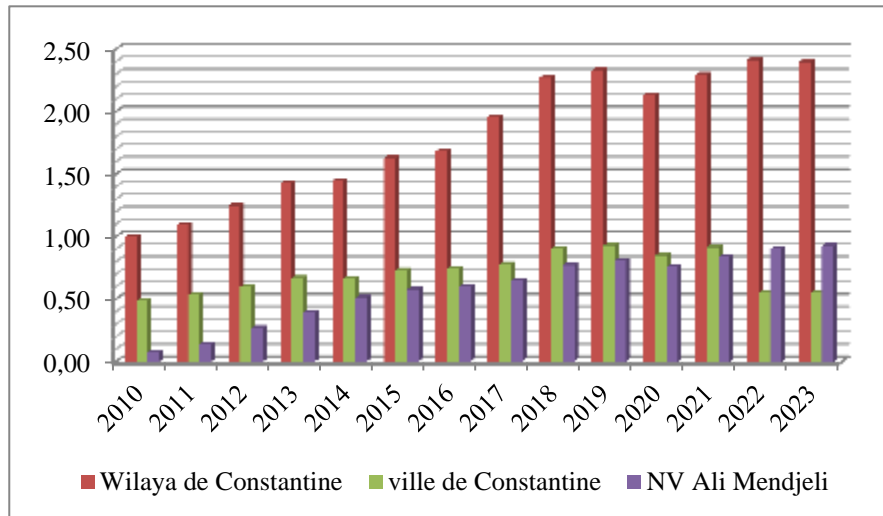
**Figure 5.15 : Evolution de la consommation par type d'énergie dans la nouvelle ville d'Ali Mendjeli en ktep (2010 – 2023)**

Source : calcul basé sur la consommation gazière résidentielle/habitant (niveau national)

La consommation de l'électricité a connu une croissance exponentielle entre 2010 et 2023. Le TCAM de 21,85 % témoigne cette croissance très rapide, liée à l'urbanisation et à l'augmentation de la population. La croissance est continue, bien qu'on puisse observer un léger ralentissement en 2020. La consommation de gaz a également augmenté, mais de manière moins spectaculaire que l'électricité. Le TCAM de 12,94 indique une croissance soutenue, mais inférieure à celle de l'électricité.

### 5.2.7. Les émissions de CO<sub>2</sub> dues à la consommation d'énergie dans le résidentiel

Les émissions de CO<sub>2</sub> évoluent au même rythme que la consommation d'énergie qui les génère (figure 5.16).



**Figure 5.16 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur résidentiel dans le cas d'étude en TCO<sub>2</sub>/tep (2010 – 2023)**

Source : auteur 2025

Les TCAM positifs confirment cette tendance à la hausse, avec des valeurs significatives pour la wilaya de Constantine (6,98 %) et particulièrement élevées pour la nouvelle ville Ali Mendjeli (21,6 %). Le TCAM de la ville de Constantine est, quant à lui, plus modeste (0,92 %). Ces observations concordent parfaitement avec les tendances démographiques et urbanistiques précédemment établies:

- Ali Mendjeli : expansion démographique et urbanisation rapide.
- Ville de Constantine : diminution de la population et du parc de logements.
- Wilaya de Constantine : effets combinés des tendances observées dans les deux villes précédentes.

Cette analyse met en évidence l'impact environnemental de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel de notre cas d'étude, soulignant l'influence de la population et de l'urbanisation. Toutefois, et afin d'évaluer l'impact de la politique énergétique sur le ralentissement de la consommation d'énergie et des émissions associées, il est nécessaire de

calculer les indicateurs d'efficacité énergétique avant et après la mise en œuvre de cette politique.

### **5.3. Système de gestion des déchets à Constantine**

La gestion des déchets au niveau de la wilaya de Constantine repose sur plusieurs étapes essentielles : la collecte, le tri, le transport, le stockage, puis la valorisation ou l'élimination finale. Chaque étape mobilise des intervenants spécifiques, avec des rôles bien définis

#### **5.3.1. Les opérateurs chargés de la collecte et transport**

La responsabilité de la collecte des déchets dans la wilaya de Constantine est partagée entre les services communaux et les Etablissements Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) :

- Les services communaux : Selon l'article 07 du code communal, la commune est responsable de l'hygiène et de la salubrité publique, notamment pour l'évacuation et le traitement des eaux usées et des déchets urbains solides. Elles doivent mettre en place un service public répondant aux besoins collectifs des habitants en matière de gestion complète des déchets (DJEMACI & AHMED ZAÏD-CHERTOUK, 2011).
- Les EPIC : Chacune des communes de la wilaya est dotée d'un EPIC dédiée à la collecte et transport des DMA (tableau 5.8).

**Tableau 5.8 : Liste des EPIC chargés de la Collecte et transport des déchets par commune**

<b>Commune</b>	<b>EPIC de collecte</b>	<b>Description</b>
Constantine	PROPCO	Etablissement de Propreté de la commune de Constantine
	PROPREC	Etablissement de la Propreté et de la Santé Publique de la wilaya de Constantine
El Khroub	PROPREC	//
	EGUVAM	Etablissement de Gestion Urbaine de la Ville d'Ali Mendjeli
	EPCA	
Ain Smara	EPAS	Etablissement de propreté et de l'aménagement de la commune Ain Smara.
Ouled Rahmoune	ENOR	Etablissement de propreté de la Commune OuledRahmoune.
Ain Abid	EPCA Ain Abid	Etablissement pour l'aménagement de la Commune Ain Abid.
Ibn Badis	EPCI	Etablissement de propreté et de l'aménagement de la Commune Ibn Badis.
Didouche Mourad	EGUCDM	Etablissement pour l'aménagement urbain de la Commune Didouche Mourad.
Hamma Bouziane	HAMMA	Etablissement de maintenance et de propreté de la

**CHAPITRE VI : DIAGNOSTIC DU SITE D'ETUDE : PROFIL ENERGETIQUE ET GISEMENT DES DECHETS**

	VERTE	Commune HammaBouziane .
Zighoud Youcef	EPCNEVZY	Etablissement de propreté et de l'aménagement des espaces verts de la Commune Zighoud Youcef
Bni-Hmidene	EPCEE	Etablissement public pour l'aménagement de la Commune Benihmidene
Ibn Ziad	EGUCIZ	Etablissement public pour l'aménagement urbain Commune Ibn Ziad
Messaoud Boudjeriou	EGUMB	Etablissement public pour l'aménagement urbain Commune Messaoud Boudjeriou

Source : auteur d'après (Direction de l'environnement, 2024)

### **5.3.2. Les opérateurs chargés de la collecte dans la ville de Constantine**

#### **5.3.2.1. Société Polyvalente des Travaux et Environnement (SOPTE)**

La société SOPTE, dont l'origine remonte à 1988 sous le nom d'EPCPTC (Entreprise Publique Communale Pluridisciplinaire de Travaux de Constantine), évolué pour devenir SOPT en 1996 avant de se spécialiser, dès 1997, notamment dans la gestion des déchets et l'éclairage public.

Grâce à son unité spécialisée de gestion des déchets à Constantine, SOPTE assure les activités suivantes :

- Gestion des déchets ménagers et assimilés (ramassage, balayage et transport, comprenant la planification des circuits de collecte et l'emplacement des points de regroupement).
- Gestion des déchets industriels (collecte, transport et vente depuis 2015).
- Gestion des déchets inertes (collecte et transport)

Outre la gestion des déchets, SOPTE a développé des activités dans les domaines de l'éclairage public, des énergies renouvelables, de la vidéosurveillance et de l'aménagement urbain (SOPTE, s. d.).

#### **5.3.2.2. EPIC de la Propreté et de la commune de Constantine (PROPREC)**

PROPREC est un établissement public industriel à caractère commercial (EPIC) opérant à l'échelle de la wilaya. Il a été créé par décision interministérielle le 1<sup>er</sup> août 2012 et a démarré ses activités en 2013. Ses principales missions sont :

- Nettoyage et désinfection de l'environnement
- Lutte contre les insectes vecteurs de maladies.
- Balayage, collecte et transport des DMA vers les stations de transfert ou traitement
- Mise en œuvre de programmes de sensibilisation à l'hygiène et à la préservation de l'environnement.
- Réalisation de toutes les opérations contribuant à l'amélioration de la propreté urbaine.

Dans la ville de Constantine, PROPREC opère sur 7 secteurs distincts (depuis 2015):

- Secteur Boussouf (Boussouf 1 et 2, zone industrielle de Palma)
- Secteur Sidi Mabrouk (Mentouri 1 et 2, Mansourah)
- Secteur Belle vue (Kouhil Lakhdar) (Direction de l'environnement, 2024).

### **5.3.2.3. EPIC de la Propreté et de la Santé Publique de la wilaya de Constantine (PROPCO)**

Cet EPIC propose une large gamme de service :

- Ramassage et transport des DMA, des déchets industriels banals et agricoles (solides ou liquides) ;
- Etudes et mise en œuvre des programmes de prévention environnementale et d'assainissement ;
- Nettoyage et entretien de différents types de locaux, y compris les environnements sensibles comme les blocs opératoires et salles informatiques ;
- Activités de désinfection, dératisation et lutte contre les nuisibles.

### **5.3.3. Les opérateurs chargés de la collecte dans la nouvelle ville Ali Mendjeli**

#### **5.3.3.1 EPIC PROPREC**

Le périmètre d'action de PROPREC dans la nouvelle ville Ali Mendjeli s'étend sur les unités de voisinage 17, 18, 19, 20, et 20 extension, depuis le début de 2017 (EVANAM, 2023).

### 5.3.3.2. EPIC de Gestion Urbaine de la Ville d'Ali Mendjeli (EGUVAM)

Créé en mars 2011, EGUAM a commencé ses activités en Janvier 2012. Il est chargé de plusieurs missions, notamment :

- La collecte et le transport des déchets ménagers et solides urbains
- Le balayage des voiries et des espaces publics
- L'entretien des espaces verts
- Les actions en matière d'hygiène et de salubrité publique.

Il intervient dans plusieurs agglomérations secondaires, ainsi dans les unités de voisinage 1, 2, 4, 5, extension 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, et 16 de la nouvelle ville Ali Mendjeli (EVANAM, 2023) .

### 5.4.1. EPIC EPWG – CET de Constantine

L'EPIC EPWG-CET est l'établissement public industriel et commercial responsable de la gestion et du traitement des déchets solides urbains dans la Wilaya de Constantine. Créé par arrêté interministériel le 1er octobre 2008, il est opérationnel depuis mars 2010.

Ses principales activités sont l'enfouissement, l'incinération des déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI) et la récupération des déchets recyclables.

Il gère 10 unités, incluant des Centres d'Enfouissement Techniques (CET Boughrab, CET Doghra), des déchetteries (Boudraa Salah, 13ème KM), une station de transfert, une décharge pour inertes (Ali Mendjeli) et quatre décharges contrôlées (Ain Smara, Hamma Bouziane, Ibn Ziad et Didouche Mourad) (figure 5.17), (EPWG-CET de Constantine, 2024).

#### 5.4.1.1. Centres d'enfouissement techniques

- **Le CET Boughrab**, situé au sud-ouest de la wilaya dans la commune d'Ibn Badis, s'étend sur 78 hectares. Ouvert en mars 2010, il est actuellement fermé. Son unique casier, d'une capacité de 200 000 m<sup>3</sup>, a atteint saturation en 2015. Le site comprenait également 3 lagunes et une décharge contrôlée interne qui a fonctionné jusqu'en juin 2019. Il desservait les communes de Constantine, El-Khroub, Ibn Badis, Ain Abid et

Ouled Rahmoune.

- **Le CET Doghra**, localisé au nord de la wilaya sur la commune de Zighoud Youcef, couvre 30 hectares. Bien que cinq casiers aient été prévus (dont un seul réalisé, avec une capacité de 300 000 m<sup>3</sup>), le site n'a jamais mis en service. Il devrait initialement accueillir les déchets des communes de Zighoud Youcef, Didouche Mourad, Hama Bouziane et Beni Hmidène.

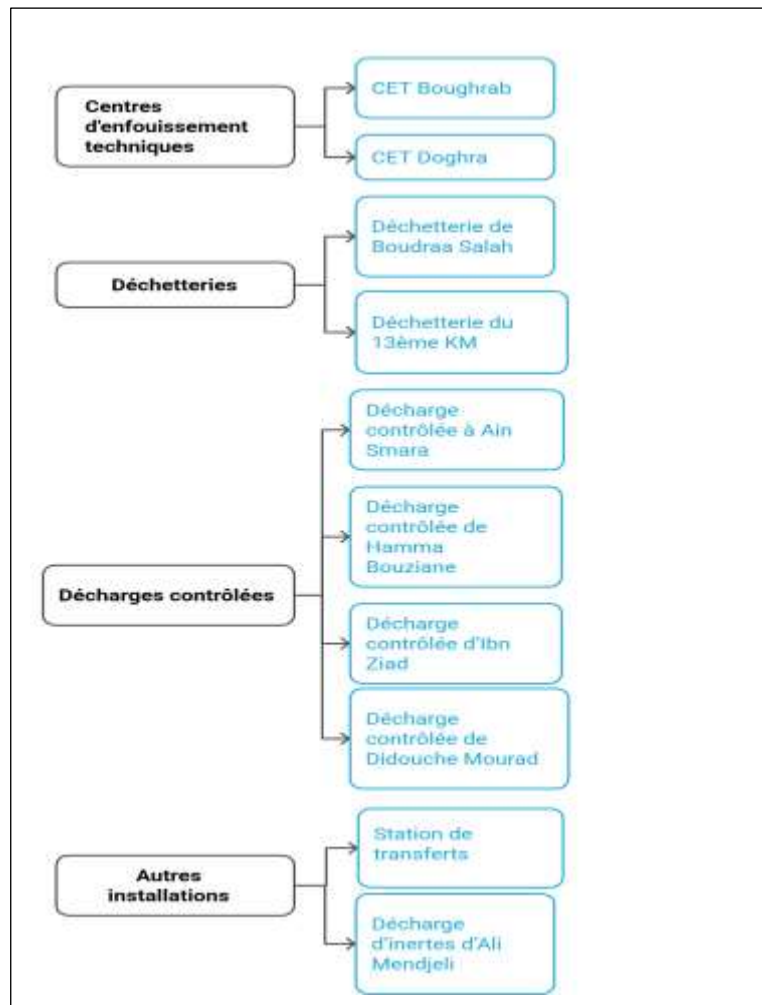


Figure 5.17 : Unités de traitement/gestion des déchets dans la wilaya de Constantine

Source : auteur 2025 d'après (EPWG-CET de Constantine, 2024)

#### 5.4.1.2. Déchetteries

- La déchetterie de Boudraa Salah, implanté dans la cité du même nom (commune de Constantine), sur une surface de 2500 m<sup>2</sup>, est fermée.
- La déchetterie du 13<sup>ème</sup> KM, situé sur la route nationale n°05 à Ain Smara, occupe environ 2500 m<sup>2</sup>. opérationnelle depuis juin 2013, elle fonctionne comme un espace aménagé pour l'apport volontaire de déchets triés (carton, plastique, métaux ferreux et non ferreux) par les particuliers et les institutions.

#### 5.4.1.3. Les décharges contrôlées des déchets ménagers et assimilés

- **La décharge contrôlée à Ain Smara**, sur le chemin reliant Ain Smara et Ali Mendjeli, couvre 8 hectares. Depuis son ouverture le 16 juin 2019, elle reçoit environ 500 tonnes de déchets par jour provenant des communes de Constantine, El Khroub, Ain Smara et Ouled Rahmoune.
- **La décharge contrôlée de Hamma Bouziane**, dans la région de Remada (commune de Hamma Bouziane) au nord de la wilaya, a une superficie de 4 hectares. Opérationnelle depuis le 17 juillet 2018, et traite environ 80 tonnes de déchets quotidiennement, issus de certains secteurs de Constantine et de la commune de Hamma Bouziane.
- **La décharge contrôlée d'Ibn Ziad**, près de la carrière locale, s'étend sur environ 5 hectares. Elle a démarré ses activités en septembre 2019 et gère approximativement 20 tonnes de déchets par jour, provenant de la commune d'Ibn Ziad.
- **La décharge contrôlée de Didouche Mourad**, situé à Ratba, couvre environ 8 hectares. Depuis son ouverture le 7 mars 2021, elle traite environ 70 tonnes de déchets par jour, générés par la commune de Didouche Mourad (EPWG-CET de Constantine, 2024) .

#### 5.4.1.4. Autres installations

- **La station de transferts**, implantée au 13<sup>ème</sup> KM de la route d'Ain Smara sur 2 hectares, ouverte en février 2018, est toujours en activité. Elle joue un rôle essentiel dans la gestion intermédiaire des déchets. Des projets futurs y sont envisagés, notamment un incinérateur pour les déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI) et une chaîne de tri.
- **La décharge d'inertes d'Ali Mendjeli**, localisée en face de l'Université 3 dans la même ville, couvrirait environ 17 hectares. Destinée aux déchets inertes et déchets verts depuis son

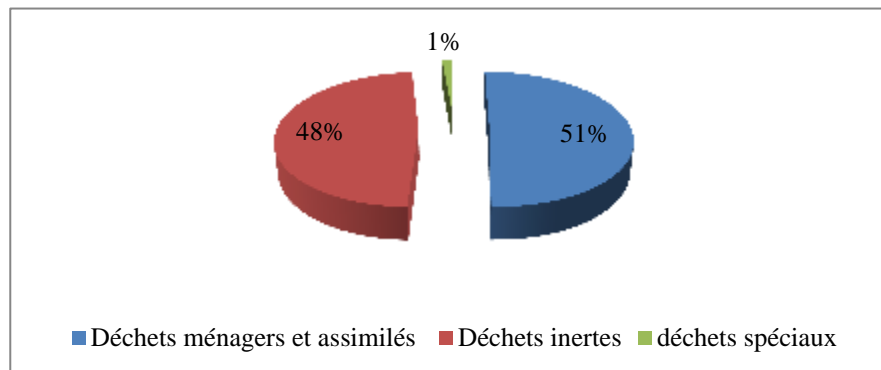
ouverture en juin 2016, elle est actuellement fermée (EPWG-CET de Constantine, 2024).

## 5.4.2. Caractérisation des déchets ménagers et assimilés à Constantine

### 5.4.2.1. Déchets solides en Algérie

La composition des déchets solides générés en Algérie montre une prédominance des déchets ménagers et assimilés (DMA). Leur volume s'élevait à 11,54 millions de tonnes en 2014 selon le rapport de la caractérisation de 2016 (AND, 2016). Ce chiffre à progresser pour atteindre 13,1 MT en 2018 (AND, 2019). Sans politique de prévention, la production des DMA pourrait atteindre 18 MT en 2035, une projection issue du SNGID 2035 qui se base sur une production moyenne 0,8 kg/hab/j pour une population estimée à 41 millions d'habitants en 2017 (MEER, 2017).

Les déchets inertes constituent le second flux majeur avec 11 MT/an en 2014, généralement dirigés vers les centres d'enfouissement technique classe III. Les déchets spéciaux, bien que moins volumineux (environ 1% de la production totale des déchets solides en 2016), posent des défis majeurs en raison de leur toxicité et dangerosité pour l'environnement (figure 5.16), (AND, 2020).



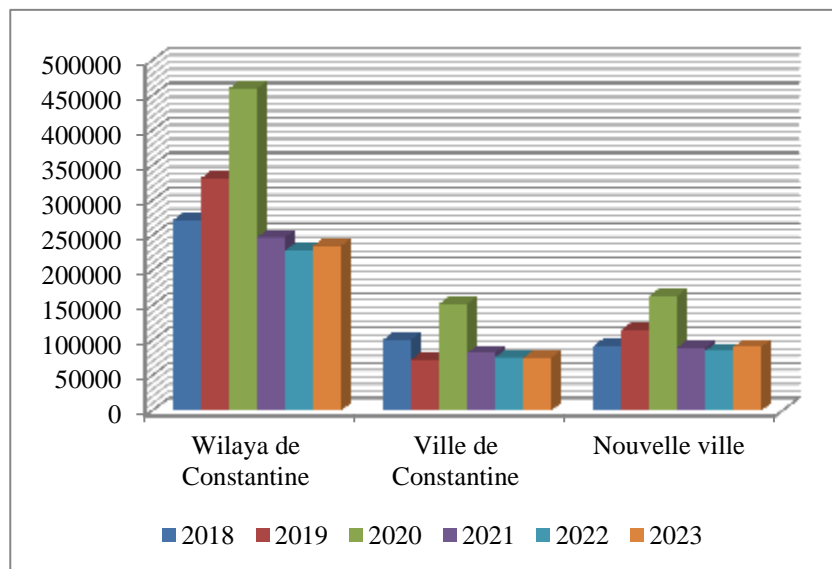
**Figure 5.18 : Répartition des déchets solides par type en Algérie**

Source : auteur d'après les données de plusieurs sources

#### 5.4.2.2. Evolution des DMA dans la zone d'étude

La période d'étude retenue s'étend de 2010 à 2023. Toutefois, en l'absence de données disponibles sur la quantité de DMA générés dans la wilaya et dans la ville de Constantine avant 2018, seuls les chiffres à partir de cette date ont exploités. Concernant la nouvelle ville Ali Mendjeli, bien que des données aient été obtenues auprès de différents organismes, leur manque de cohérence n'a pas permis de construire une série homogène. En conséquence, les quantités de DMA pour cette nouvelle ville ont été estimées en appliquant le ratio de production journalière par habitant de la wilaya de Constantine étant donné que les tendances démographiques entre les deux territoires son similaires.

L'évolution de la production des DMA sur la période de six ans, de 2018 à 2023, dans les trois zones géographiques est illustrée dans la figure (5.19).



**Figure 5.19 : Evolution de la quantité des DMA dans la zone d'étude**

Source : auteur d'après les données des monographies (2018-2023) + calcul

Toutes les zones étudiées présentent un pic important de production de déchets en 2020. Cette augmentation est probablement liée aux changements dans les habitudes de consommation qui ont pu être affectés par la pandémie de COVID-19. Ainsi, l'augmentation du temps passé à la maison, l'augmentation des achats en ligne avec une augmentation des emballages, et une possible augmentation de l'utilisation de produits à usage unique pourraient

avoir contribué à ce pic.

La diminution observée après le pic de 2020 dans toutes les zones peut être attribuée aux facteurs économiques de la période post-COVID-19, qui ont probablement affecté le pouvoir d'achat des habitants. Un ralentissement économique ou une plus grande prudence des consommateurs pourraient expliquer la baisse de la consommation et, par conséquent, la diminution de la quantité de déchets produits. De plus, la chute dans les quantités de déchets peut être attribuée également au secteur informel, qui a intensifié son activité ces dernières années, affectant la quantité des déchets enregistrés au niveau des systèmes de collecte.

La légère augmentation de la quantité de déchets visibles en 2023 par rapport à 2022 dans les trois régions pourrait refléter une stabilisation progressive des conditions économiques dans la région, entraînant une reprise modérée de la consommation.

#### 5.4.2.3. Composition des DMA

Les données relatives à la composition des DMA dans la wilaya de Constantine ont été obtenues à partir des rapports de caractérisation réalisés en 2014 et en 2018/2019. Cependant, en l'absence des données actualisées pour l'année 2023, les fractions des DMA ont été estimées en appliquant le taux de croissance annuel moyen (TCAM) calculé entre 2014-2018 à chaque fraction. L'évolution de la composition des DMA dans la wilaya de Constantine est présentée dans la figure 5.20.

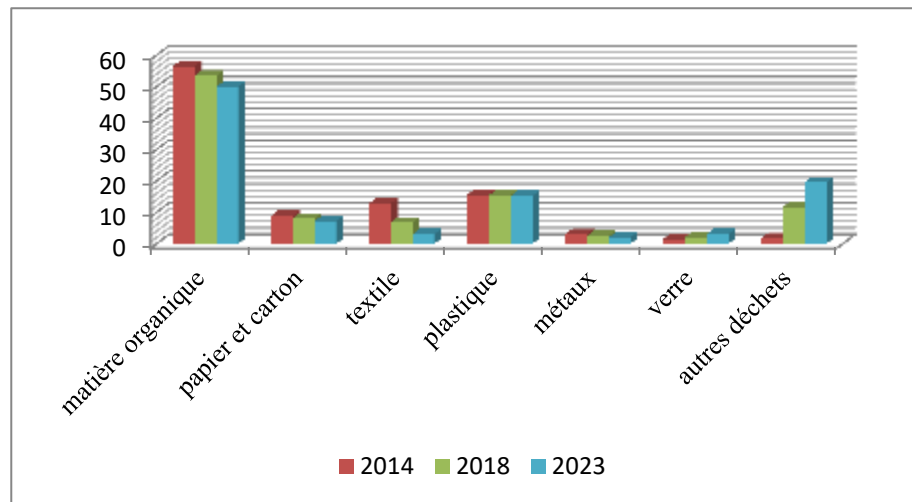


Figure 5.20 : Evolution de la composition des DMA dans la wilaya de Constantine  
Source : auteur d'après les rapports de caractérisation + calcul

La figure présente des changements notables dans la composition des DMA à Constantine.

La **matière organique**, la composante principale des DMA, enregistre une diminution progressive (TCAM de -1,35%). Cette diminution, bien que modérée, pourrait indiquer une légère évolution des habitudes de consommation, une meilleure gestion des restes alimentaires au niveau des ménages, ou un début de sensibilisation de gaspillage alimentaire.

La proportion de **papier et carton** a également connu une baisse constante de TCAM de -2,42%. Cette tendance à la baisse peut être liée à la digitalisation (moins de journaux, de documents papier), aux efforts de réduction des emballages en papier/carton, ou à une meilleure captation par les filières de recyclage informelles avant la collecte officielle.

Le **textile** est la catégorie qui a connu la baisse la plus significative, passant de 12,83% en 2014 à seulement 3,05 % en 2024 en enregistrant un TCAM de -14,74%. Cette diminution pourrait s'expliquer par une intensification de la collecte informelle pour la revente ou le recyclage (friperies par exemple) ; ou bien une meilleure sensibilisation à la réutilisation et au don.

La part du **plastique** est conservée relativement stable, avec une très légère tendance à la baisse (TCAM de -0,26%). La réalité des flux de déchets plastiques est influencée par les récupérateurs informels, qui ont considérablement développé leurs opérations de collecte, attirés par la présence d'entreprises de recyclage dans les villes voisines qui achètent cette matière première pour la transformer.

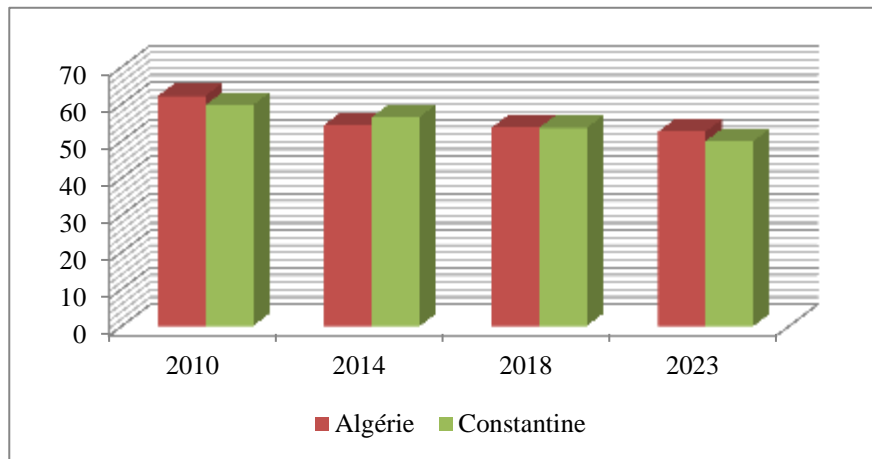
La proportion des **métaux** a diminué, passant de 3,01% en 2014 à 1,98% en 2023, affichant un TCAM de -4,45%. Cette baisse est probablement due à la valeur marchande des métaux, qui encourage une forte activité de récupération par le secteur informel. L'allègement des emballages métalliques (ex : canettes) pourrait aussi jouer un rôle.

Contrairement à la plupart des autres matières recyclables, la part du **verre** a significativement augmenté (TCAM de +8,44%). Cette augmentation pourrait être due à un changement dans les préférences des consommateurs pour les emballages en verre (perçus comme plus sains et écologiques), à une augmentation de la consommation de produits conditionnés en verre, ou à son faible coût, le rendant moins attractif pour le secteur informel.

Les autres déchets comprennent les composites, les chaussures, les déchets dangereux (DEEE, piles, déchets médicaux, etc), les inertes, les couches jetables et autres (cartables et parapluies). Cette catégorie a connu une explosion, passant de 1,72 % en 2014 à 19,57% en 2023, enregistrant un TCAM de 31,02%. Cette hausse est principalement liée à l'évolution des modes de consommation, au recours à des produits à courte durée de vie, ainsi qu'à la croissance de la population urbaine, qui génère davantage de déchets de natures variées.

#### 5.4.2.4. Focus sur les déchets organique

Bien qu'ayant connu une légère diminution en proportion au fil des ans (figure 5.21), la matière organique demeure de loin la fraction la plus significative des déchets ménagers, tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle locale. Son évolution et ses caractéristiques méritent une attention particulière en raison de son impact environnemental et du potentiel de valorisation qu'elle représente.



**Figure 5.21 : Evolution de la fraction organique des DMA en Algérie et à Constantine (2010-2023)**

Source : auteur d'après les rapports de caractérisation + calcul

La présence massive de matière organique dans les déchets ménagers collectés, qui sont généralement dirigés vers l'enfouissement, entraîne plusieurs conséquences négatives, en plus de l'emprise du foncier (Soukehal & Bouadam, 2022).

- **Production du lixiviat** : Les déchets mis en décharge génèrent des lixiviats,

c'est-à-dire l'eau qui a percolé à travers les déchets et qui est une source de pollution du sol et des eaux souterraines (Chandrappa & Brown, 2012) .

- **Emission de gaz à effet de serre** : la dégradation biologique de la matière organique en conditions anaérobies, entraînent la production du biogaz, qui est un mélange gazeux composé presque entièrement de méthane (CH<sub>4</sub>) et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) (Rada et al., 2015)

- **Nuisances** : odeurs, fumées, insectes, plusieurs maladies (paludisme, dysenterie amibienne, fièvre typhoïde et diarrhée) (Mangenda et al., 2022).

- **Pertes de ressources** : l'enfouissement de matière organique représente une perte de ressources, car cette fraction pourrait être valorisée soit par compostage pour produire un amendement organique utile pour l'agriculture (compost), soit par méthanisation, pour produire de l'énergie sous forme de biogaz (LAGACÉ, 2017).

- **Coûts de gestion** : l'isolement de la fraction organique humide et dense, permet de diminuer la masse des déchets transportée vers les décharges, ce qui réduit le coût de collecte et transport, tout en ralentissant la saturation rapides des sites d'enfouissement.

### **Conclusion**

Ce chapitre a permis de mieux comprendre l'aire choisie pour notre étude, qui est à la fois varié et pertinent. Il met en évidence les disparités entre deux zones : la ville de Constantine, noyau urbain ancien et stabilisé, à la démographie maîtrisée et à la croissance urbaine limitée, et la ville nouvelle Ali Mendjeli, véritable pôle d'expansion, caractérisé par une démographie en pleine mutation et une croissance urbaine rapide.

Sur le plan géographique, la ville de Constantine confirme sa position stratégique au cœur de sa wilaya, elle-même située à l'est du pays et occupant une superficie modeste de 0,09% du territoire national. La nouvelle ville joue, pour sa part, un rôle complémentaire important. Le relief varié, incluant montagnes, plaines, steppes et vallées, ainsi que le climat continental (hivers froids, étés chauds et secs) influencent ces deux zones.

Les chiffres de la population montrent des tendances opposées : la ville historique de Constantine a connu un déclin démographique important (TCAM de -1,33 %). En revanche, la ville nouvelle a connu une expansion démographique impressionnante, avec un taux de croissance annuel moyen de +16,94 %. Ces évolutions affectent directement les besoins en logement dans chaque zone.

Dans le domaine de l'énergie, une augmentation générale de nombre d'abonnés à l'électricité et au gaz est enregistrée dans les deux zones, malgré une baisse temporaire en 2020, avec des taux de raccordement très élevés. La consommation d'énergie résidentielle augmente dans la wilaya de Constantine et la nouvelle ville, mais diminue dans la ville de Constantine, en corrélation avec la population. Les émissions de GES suivent logiquement ces tendances de consommation.

Pour les déchets, plusieurs opérateurs assurent la collecte dans chaque commune, et l'EPIC EPWG-CET gère le traitement avec différentes installations (CET, déchetteries, station de transfert, et décharges). La quantité des déchets générés tend à augmenter dans les zones étudiées, la matière organique constituant plus de la moitié de leur composition.

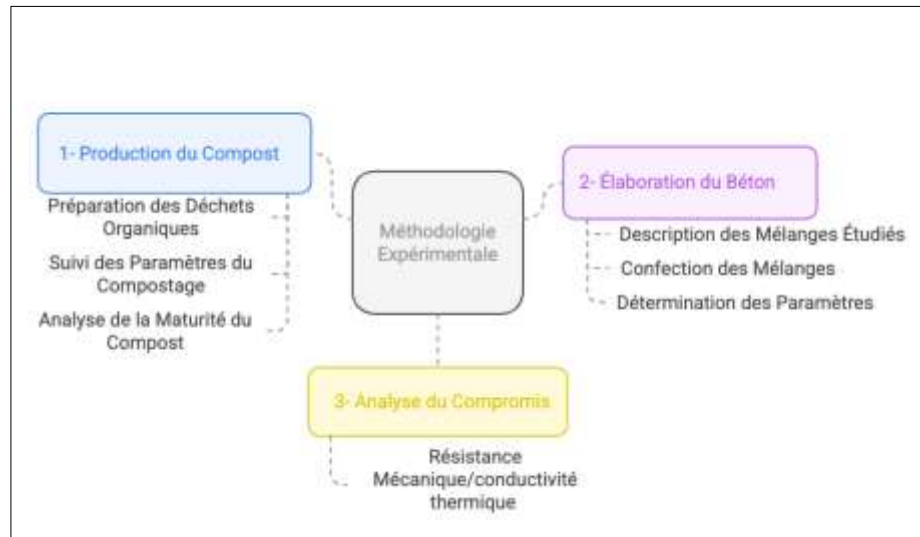
En somme, ce chapitre a mis en lumière que, malgré un cadre physique et climatique globalement similaire, les deux zones étudiées connaissent des évolutions très différentes en termes de population, de consommation d'énergie et de gestion des déchets. L'ensemble de ces observations constituent un socle essentiel pour les analyses qui seront développées ultérieurement dans la présente étude.

**CHAPITRE VI :**  
**L'INCORPORATION DES DECHETS ORGANIQUES**  
**COMPOSTESDANS LE BATIMENT :**  
**ETUDE DE L'AMELIORATION**  
**DES PROPRIETES ISOLANTES DU BETON**

## **Introduction**

Le développement de nouveaux matériaux de construction à partir de déchets est une solution pertinente pour réduire l'impact de ces derniers sur l'environnement. C'est notamment le cas de l'Algérie, où la mise en décharge demeure la principale méthode de traitement. Cette solution s'impose comme une alternative écologique à leur élimination. Elle permet non seulement de réduire l'épuisement de ressources naturelles, mais aussi de minimiser le double impact sur l'environnement : celui lié à la forte consommation d'énergie nécessaire à la production de nouveaux matériaux, et celui engendré par les d'enfouissement.

Le compost est le matériau obtenu par la décomposition biologique de la matière organique, connu par son utilisation en milieu agricole, comme fertilisant ou amendement organique pour les cultures (Rynk, 1992). Cependant, il semble qu'à notre connaissance il y ait peu de données (Muthulakshmi et al., 2021) dans la littérature sur les matériaux de construction utilisant le compost comme constituant. L'objectif de ce chapitre est d'explorer l'impact de l'incorporation du compost, à différentes teneurs, sur les propriétés physiques, mécaniques et thermiques du béton. Pour ce faire, le chapitre débutera par la présentation du processus de compostage ayant permis d'obtenir le compost intégré aux bétons. Par la suite, il détaillera la méthodologie de fabrication des bétons ainsi que les divers essais effectués pour caractériser leurs propriétés. Enfin, une analyse comparative des résultats obtenus permettra de rechercher et d'identifier le mélange offrant le meilleur compromis entre les performances mécaniques et thermiques (figure 6.1).

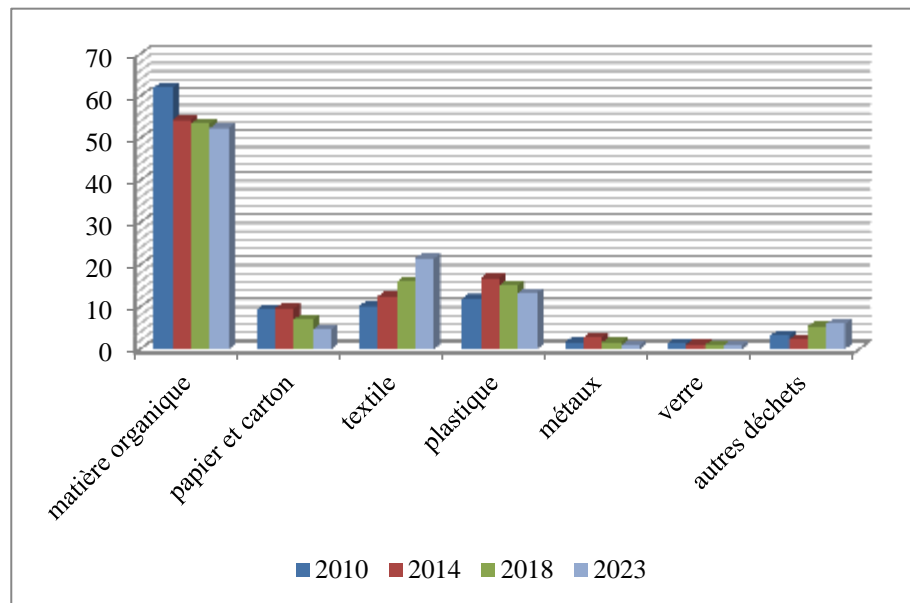


**Figure 6.1 : Méthodologie expérimentale suivie dans le chapitre**  
Source : auteur 2025

## 6.1. Processus de compostage

### 6.1.1. Contexte des déchets organiques en Algérie

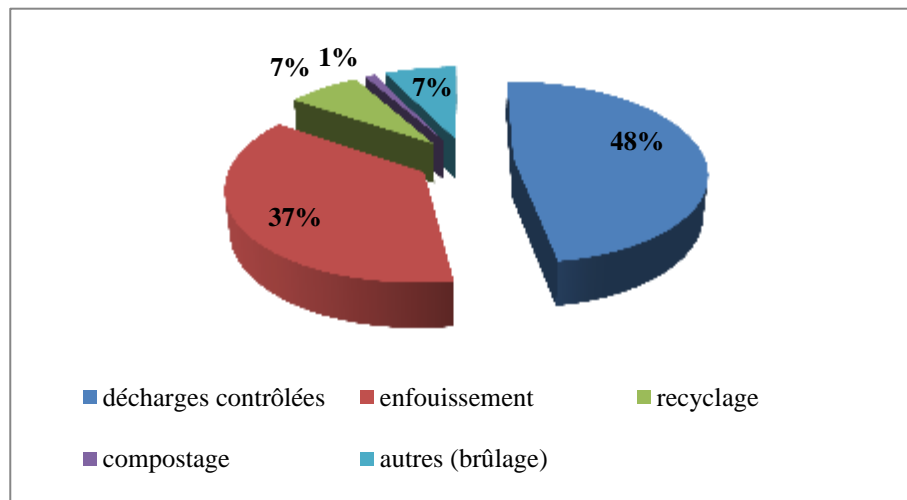
A l'instar des autres pays du monde, la croissance démographique et le développement des activités socio-économiques dans le milieu urbain en Algérie, favorisent fortement la consommation d'énergie et la production des déchets. Parmi les déchets solides générés en Algérie, les déchets ménagers et assimilés (DMA), qui sont les flux issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers (RADP, 2001). En 2018, la production des DMA s'est élevée à 13,1 millions de tonnes, soit une hausse de 4,46% par rapport à 2014 (AND, 2019). Sur ces 13,1 MT de DMA produits, 7 MT sont des déchets organiques avec un pourcentage de 53,61% (AND, 2020), fraction prédominante représente plus de la moitié des Déchets générés (figure 6.2). Malgré ce potentiel important promoteur d'une valorisation organique, seulement une infime partie (1%) de traitement par compostage a été enregistrée annuellement, qui se résume à quelques projets pilotes et expérimentations de citoyens et d'associations environnementales (AND, 2020).



**Figure 6.2: Evolution de la composition des déchets en Algérie (2010 – 2018)**

Source : auteur sur la base des rapports de caractérisation des déchets 2014-2019

Malheureusement, la majorité de ces déchets organiques finissent dans les centres d'enfouissement techniques et les décharges contrôlées (figure 6.3), où sont décomposés par des micro-organismes et forment des lixiviats qui peuvent contaminer les eaux souterraines. En outre, la dégradation des matières organiques dans ces conditions produit du méthane, qui est un gaz à effet de serre 25 fois plus nocif que le dioxyde de carbone (Yazid et al., 2017).



**Figure 6.3 : type de traitement des déchets en Algérie**  
Source : Auteur sur la base de données de (AND, 2020)

### 6.1.2. Production du compost utilisé dans les matériaux

Le compost est le matériau obtenu par la dégradation biologique de la matière organique en présence d'oxygène et sous l'action d'une communauté microbienne complexe. Il a été exploité dans l'agriculture comme amendement organique (Rynk, 1992).

Le compost utilisé pour remplacer les granulats fins, provient d'une expérimentation du compostage d'un mélange de déchets verts et alimentaires du campus universitaire Constantine 3, au sein de l'institut de gestion des techniques urbaines (figure 6.4) (Bouadam et al., 2022)



**Figure 6.4 : compost utilisé dans la fabrication du béton**

Source : auteur 2023

### **6.1.3. Nature et provenance des déchets compostés**

Les déchets compostés sont composés d'un mélange de 50% déchets verts et 50% déchets de cuisine produits au niveau du campus universitaire Constantine. Les déchets de cuisine sont les déchets alimentaires (restes de repas, les épluchures, retours plateaux, coquille d'œuf, marc de café, déchets de préparation alimentaire...) provenant des restaurants du campus, tandis que les déchets verts, sont composés de feuilles, de coupes de bois d'élagage et d'herbes, collectées dans les espaces verts du campus universitaire, puis inspectés, afin d'éviter la présence d'éléments qui pourraient nuire au processus de compostage (verres, métaux, plastiques,..) en apportant un taux élevé en carbone organique et de métaux lourds (Aylaj & Lhadi, 2008).

### **6.1.4. Préparation des déchets**

Les déchets verts ont été broyés à l'aide d'un broyeur à couteaux, ce qui permet d'obtenir une finesse inférieure à 4 cm. La capacité de broyage était inférieure à 1 m<sup>3</sup> par heure. Quant aux déchets de cuisine, ils ont été découpés manuellement à l'aide d'un couteau ordinaire de façon à ce que les morceaux mesurent moins de 6 mm de longueur. La réduction de la taille des déchets permet d'accroître le taux de décomposition aérobie grâce à une surface de contact

plus importante entre les particules (Hoornweg, 2000).

Les déchets sont pesés et mis en tas entouré d'un cerceau métallique, qui les empêche de se disperser. Le tas est ensuite recouvert d'une bâche poreuse, les protégeant de forte dessèchement ou humidification (figure 6.5).



**Figure 6.5 : Mise en place d'un tas de compost**  
Source : (Bouadam et al., 2022)

#### **6.1.5. Suivi des paramètres du compostage**

Au cours du compostage, les paramètres caractéristiques : pH, température et teneur en humidité ont l'objet d'un suivi régulier, présentés sous forme de courbe. Des corrections ont été apportées si nécessaire, notamment au niveau de l'aération et de l'humidification. Les opérations de corrections comprennent essentiellement :

- L'aération par le retournement manuel
- L'humidification par l'arrosage des tas de déchets
- L'homogénéisation par le broyage

### 6.1.6. Observation du déroulement du compostage

Les observations et mesures réalisées au cours du compostage portent sur différents aspects :

**L'aspect visuel** avec des inspections régulières du tas permettant de noter l'évolution de la couleur des déchets, de la taille des particules, l'apparition de macro-organismes et la réduction du poids.

**L'aspect physique** à travers des mesures régulières de paramètres tels que la température, la teneur en eau, le pH et le poids.

**L'aspect biologique** via des tests de germination permettant d'évaluer l'effet du compost produit sur la croissance des plantes.

### 6.1.7. Evolution des paramètres au cours du compostage

**La teneur en eau** du compost en cours de formation a été vérifiée à travers le test de la poignée. Cette méthode consiste à saisir une poignée de compost dans la main et à la presser fermement. Si l'eau perle entre les doigts, le composte est considéré extrêmement humide. Dans ce cas, l'ajout d'un matériau absorbant, tel que la paille, le carton ou le papier, s'avère nécessaire pour éliminer l'excès d'humidité. Si le compost forme une boule ferme, il possède la bonne teneur en eau. En revanche, si la boule s'effrite, c'est qu'elle est trop sèche et doit être aspergée d'eau (Inckel et al., 2005).

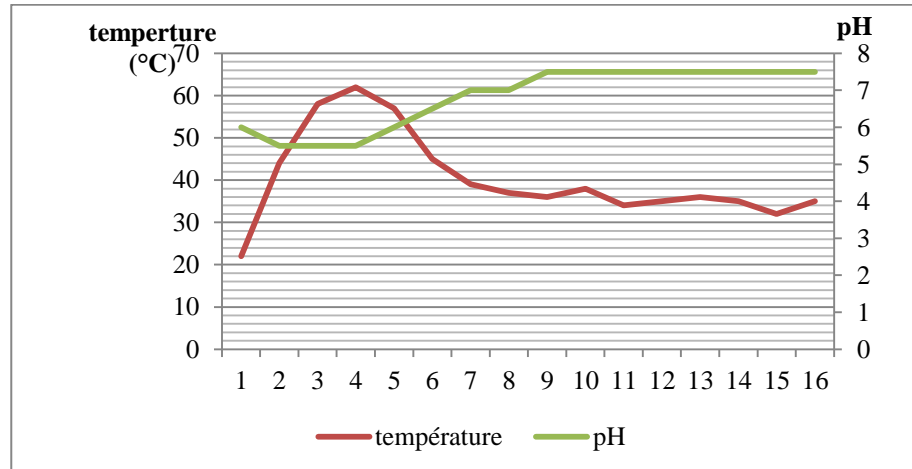
Comme l'expérience a été conduite durant une période de température élevées, la chaleur a provoqué le dessèchement du tas du compost, rendant nécessaire l'ajout d'eau à chaque mesure.

**La température** (T°C) a été mesurée tous les jours à la même heure durant tout le processus du compostage. Un thermomètre à sonde pénétrante de 70 cm de long a été utilisé (figure 5.6). Le profil de température reflète l'intensité de l'action microbienne, il peut être utilisé pour évaluer la vitesse ainsi que l'étendue du processus de compostage (Mbuligwe et al., 2002). L'évolution de la température du compost correspond parfaitement au profil de température qui conditionne l'apparition, développement et l'accroissement des microorganismes (figure 6.4).



**Figure 6.6 : Mesure de la température dans le tas de compost**  
Source : auteur 2022

Le pH a été mesuré hebdomadairement avec des bandelettes pH au cours du processus de compostage, au sein du tas pendant les 3 mois de l'expérimentation (Figure 6.7). Le suivi de ce paramètre pendant la dégradation aérobie des déchets s'est révélé utile à double titre. D'une part, il permet de contrôler le processus et donc de l'orienter favorablement. D'autre part, il permet de déterminer la stabilité du compost, caractérisé par un pH neutre. (Avnimelech et al., 1996). L'évolution du pH se situe parfaitement dans la fourchette recommandée, indiquant une acidification du milieu en début du processus, suite à la production d'acides organiques par les microorganismes. Cette phase d'acidification est suivie d'une neutralisation progressive à partir de la sixième semaine, qui peut évoluer vers une alcalinisation vers la fin du processus de compostage.

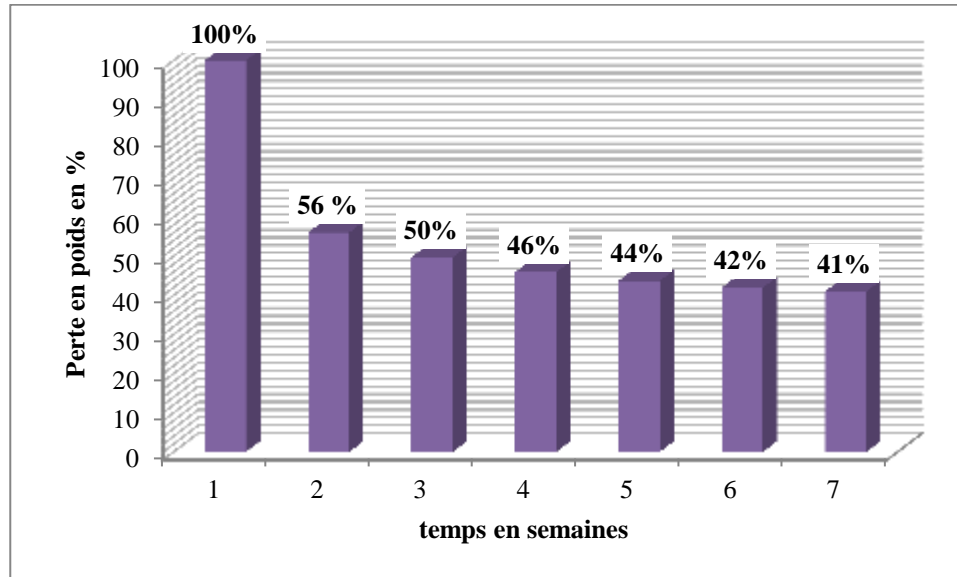


**Figure 6.7: Evolution hebdomadaire de la température et du pH du compost**  
Source : auteur d'après (Bouadam et al., 2022)

**La prise du poids** a été effectuée hebdomadairement à l'aide d'une balance colonne d'une capacité de 60 à 150 kg. Des pertes de masse importantes pouvaient survenir en raison de trois types de pertes liées aux processus de compostage :

- Perte d'eau par évaporation due à l'augmentation de la température du tas de déchets et au dégagement de chaleur ;
- Perte de carbone sous forme de  $\text{CO}_2$  lors de la respiration microbienne ; et
- Pertes de nutriments par volatilisation, lessivage et ruissellement. (Tiquia et al., 2002)

La figure 6.8 montre une diminution importante de masse au cours des premières semaines du processus. A partir de la septième semaine, ce déclin devient lent et se poursuit jusqu'à la fin de l'expérimentation, marquant ainsi la stabilité et la maturité du compost.



**Figure 6.8: Evolution hebdomadaire de la perte de masse du compost**

Source : auteur d'après (Bouadam et al., 2022)

Pour analyser la perte de masse et évaluer le rendement de l'expérimentation, les bilans massiques ont été calculés et illustrés dans le tableau suivant (tableau 6.1) :

**Tableau 6.1 : Bilan de la perte de masse et de la production du compost**

Grandeur	Méthode de détermination	Unité	Déchets compostés
Masse initiale	Pesage	Kg	400
Masse finale	Pesage	Kg	149
Masse perdue	$\frac{masse\ initiale - masse\ finale}{masse\ initiale} \times 100$ (Tiquia et al., 2002)	%	63
Masse des refus	Pesage	Kg	21
Masse du compost affiné	masse finale – masse des refus	Kg	128
Rendement de production du compost	$\frac{masse\ du\ compost\ affiné}{masse\ initiale}$	%	32 %

Source : auteur d'après (Bouadam et al., 2022)

Le tableau 6.1 montre que le processus du compostage a entraîné une perte de masse importante (63 % de la masse initiale). Le rendement de production de compost affiné est de 32 %, ce qui signifie qu'une partie importante de la matière organique initiale a été volatilisée. Le compost obtenu a été broyé et tamisé à l'aide d'un tamis de 20 mm.

#### 6.1.8. Analyse de la maturité du compost

#### 6.1.9. Paramètres de qualité

La maturité du compost a été évaluée par la mesure de plusieurs paramètres de qualité selon des méthodes standardisées :

- **La masse volumique ( $\rho$ )** : Déterminée par le remplissage et le pesage d'un volume connu de compost, puis calculée de selon la formule:  $\rho = \frac{m}{v}$ , où m représente la masse et v le volume.
- **Taux d'humidité** : Mesuré par séchage d'un échantillon à 105 °C dans une étuve jusqu'à l'obtention d'une masse constante (Gardner, 2015).
- **Teneur en matière organique (MO)**: Quantifiée par la perte au feu massique lors de la calcination d'un échantillon préalablement séché à 550°C pendant cinq heures (Allison, 2016).
- **Carbone organique total (COT)** : Calculé à partir de la teneur en matière organique selon la relation établie par (Giroux & Audesse, 2004):

$$\frac{MO}{COT} = 2,01$$

- **Teneur en azote** : Déterminée par la méthode Kjeldahl, qui permet de quantifier l'azote organique et ammoniacal présent dans l'échantillon (Bremner, 2016)
- **pH** : Mesuré à l'aide d'un pH-mètre sur un extrait aqueux de compost préparé dans un rapport 1:5 (une partie de compost pour cinq parties d'eau)

Les résultats des analyses de ces différents paramètres sont résumés dans le tableau suivant (tableau 6.2)

**Tableau 6.2 : caractéristiques physiques et chimiques du compost**

Paramètres	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Humidité (%)	Matière organique totale (%MS)	Carbone organique total ( $\frac{MO}{COT} = 2,01$ )	Azote total (% MS)	Rapport C/N	pH
	2000	53,08	9,11	4,5	0,44	10,22	7,8
Normes (Yazid et al., 2017)			> 5		> 0,25	< 20	

Source : auteur d'après (Bouadam et al., 2022) et (Zaidi & Bouadam, 2024)

### 6.1.9.1. Maturité du compost

L'un des tests de maturité du compost consiste à évaluer la germination des graines de cresson et de radis dans le compost. Un compost mature et non phytotoxique doit présenter un taux de germination supérieur à 90 % de celui observé dans l'échantillon témoin. De plus, le taux de croissance des plantules dans un mélange compost-sol ne doit pas être inférieur à 10 % de celui observé dans l'échantillon témoin (Warman, 1999).

Afin de déterminer la phytotoxicité du produit final, des tests de germination avec des grains de radis ont été effectués avec le compost obtenu. Trois supports de culture sont aménagés dans des pots, contenant différents pourcentages en volume de sol et de compost :

**Tableau 6.3 : Composition des substrats d'essai**

Echantillon	P1	P2	P3
Composants	50% compost + 50% sol	100% compost	100% sol (échantillon témoin)

Source : auteur d'après (Bouadam et al., 2022)

Le même nombre de graines de radis a été semé, dans une température ambiante de 25°C. Après une période d'incubation de dix jours, le taux de germination a été évalué en calculant le nombre de graines ayant germé. Cette mesure a été effectuée selon la relation suivante (Abbas et al., 2018) :

$$\text{Taux de germination en \%} = \frac{\text{Nombre de semences germées}}{\text{Nombre de semences testées}} \times 100$$

Les résultats du test de germination sont présentés dans le tableau suivant (tableau 6.4) :

**Tableau 6.4 : le taux de germination de différents substrats**

	<b>Substrat</b>	<b>Taux de germination</b>
P1	50 % Compost + 50 % sol	100 %
P2	100 % compost	89 %
P3	100 % sol	85 %

Source : auteur d'après (Bouadam et al., 2022)

Les résultats obtenus indiquent une variation du taux de germination en fonction de la composition du support de culture. L'incorporation du 50 % du compost au support de culture a conduit à un taux de germination de 100 %, traduisant la croissance de l'ensemble des plantules. En revanche, lorsque le support de culture est constitué intégralement de compost, le taux de germination est inférieur et ne dépasse pas 89 %. En outre, la culture sur un support constitué exclusivement de sol témoin a conduit à un taux de germination de 85 %. Ainsi, l'association du sol et du compost à favoriser une croissance supérieure des graines par rapport aux conditions où le compost était utilisé seul ou en mélange avec le sol témoin. Ces observations suggèrent que le compost a atteint un stade de maturité optimale, ce qui peut être attribuable à la combinaison des éléments nutritifs et à la qualité de la matière organique apportée par le compost.

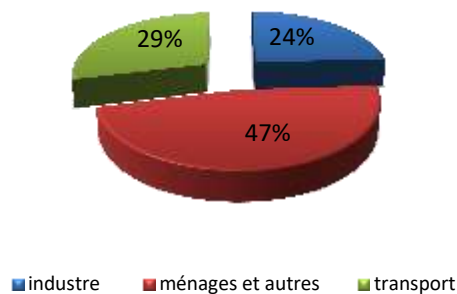
Cette expérience a ainsi permis de mettre en évidence l'efficacité du compostage dans la dégradation de la matière organique, avec une réduction notable de manière notable de sa masse, s'élevant à 63%. Les paramètres de suivi du processus, à savoir le pH et la température, correspondent parfaitement aux études antérieures. La maturité du compost a été vérifiée par le test de germination, qui a révélé des taux de germination supérieurs pour le mélange sol-compost. Ces résultats ont été confirmés par des analyses physico-chimiques, qui sont avérées conformes aux normes françaises en vigueur (tableau 6.2).

## 6.2. Béton contenant des déchets organiques compostés

### 6.2.1. Contexte et objectif de l'étude

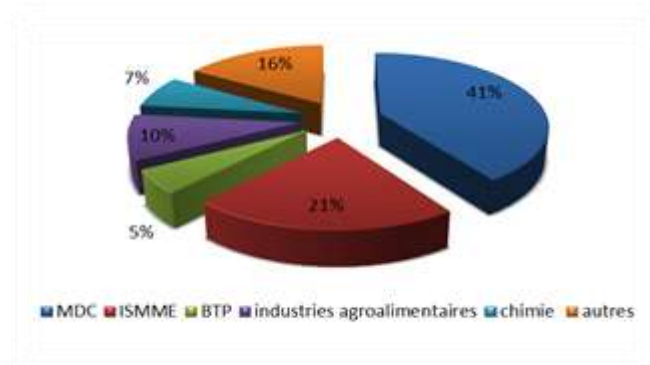
Le développement de nouveaux matériaux de construction à partir de déchets s'impose comme une alternative écologique à leur élimination. Cette démarche permet de réduire la consommation de ressources naturelles et de minimiser le double impact environnemental résultant de la consommation d'énergie nécessaire à la production de ces matériaux, ainsi que des problèmes liés à l'enfouissement. Elle permet également de répondre à la rareté de l'espace prévu à cet effet (Soukehal & Bouadam, 2022).

On estime qu'en Algérie, le secteur de l'industrie a consommé 24% de l'énergie finale en 2021 (figure 6.9), dont 41% de cette énergie est consommée pour la production des matériaux de construction (figure 6.10) (Ministère de l'énergie, 2022).



**Figure 6.9 : Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité**

Source : auteur sur la base des bilans énergétiques du ministère de l'énergie



**Figure 6.10 : répartition de la consommation du secteur de l'industrie par branche**

L'augmentation de la consommation d'énergie dans le secteur des matériaux de construction est due principalement à la demande croissante de logements et infrastructures. Cette augmentation de la demande qui a entraîné une augmentation de la production des matériaux de construction, en particulier le béton et le ciment. La production de ces matériaux nécessite une quantité importante d'énergie, notamment pour extraire les matières premières, les transformer en produits finis, et les transporter sur le marché.

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus populaire, il représente le matériau le plus utilisé après l'eau (Aitcin & Mindess, 2011). Sa production annuelle est estimée à plus de 14 milliards de tonnes (Li, 2011).

Le béton se distingue par sa facilité d'utilisation et son faible coût. Il procure de nombreuses propriétés mécaniques avantageuses. Cependant, sa production et son utilisation ont des impacts considérables sur l'environnement. En effet, son composant principal, le ciment, est responsable d'environ 7% des émissions mondiales de dioxyde de carbone. De plus, la fabrication de béton requiert une utilisation intensive de matières premières, nécessaires à la fabrication de milliards de tonnes de béton. Ce processus entraîne également des exigences en matière de consommation d'énergie et d'eau, ainsi qu'à la génération de déchets de construction et de démolition (Meyer, 2009), (Bur, 2012).

Sous cet effet conjugué de la consommation excessive des ressources naturelles et de l'impact environnemental négatif apporté par la fabrication du béton, la recherche des produits alternatifs est devenue impérative, et cela, via plusieurs méthodes, dont l'utilisation des matériaux recyclés et d'autres déchets industriels comme source de granulats (Aitcin & Mindess, 2011).

Plusieurs études ont été menées depuis plusieurs années sur la substitution des composants conventionnels du béton par des déchets solides de différente origine. Ces recherches se sont concentrées sur l'utilisation de ces déchets en tant que granulats ou ciment. Il s'agit d'ajouter ou de remplacer partiellement le ciment par les cendres volantes et le laitier de haut fourneau, et d'utiliser de matériaux en tant que granulats, tels que le verre, le plastique les pneus et les granulats recyclés provenant des déchets de construction et de démolition. Il est à noter que l'utilisation de ces matériaux alternatifs est déjà réglementée dans la plupart des pays développés (Pellegrino et al., 2019).

Pour notre part, nous procéderons à une étude expérimentale, portant sur le remplacement partiel du compost, obtenu par la dégradation aérobie d'un mélange à proportions égales de déchets de cuisine et de déchets verts, par du sable dans le béton ordinaire. Cette démarche a pour objectif l'évaluation de l'impact de cette substitution sur les différents paramètres du béton, y compris ses propriétés physiques, mécaniques et thermiques.

### 6.2.2. Description des mélanges étudiés

Pour atteindre l'objectif cité ci-dessus, cinq mélanges de béton ont été testés (tableau 6.5) : un mélange de référence, sans compost CC0, et quatre mélanges avec un remplacement de 5, 10, 15 et 20% du total de granulats fins par du compost (Les noms des mélanges sont générés en fonction du pourcentage du compost, précédés des deux lettres CC qui font référence à Compost Concrete).

**Tableau 6.5 : Mélanges des bétons étudiés**

	CC0	CC5	CC10	CC15	CC20
<b>Pourcentage du compost remplaçant le sable (%)</b>	0	5	10	15	20
<b>Masse du compost (Kg)</b>	0	40,21	80,43	120,65	160,87

Source : auteur 2023

### 6.2.3. Caractérisation des matériaux utilisés pour la confection des mélanges du béton

Outre le compost, dont la production et les caractéristiques ont été décrites précédemment, les matériaux suivants ont été employés dans l'élaboration des différents mélanges effectués :

#### 6.2.3.1. Ciment

Le ciment Portland CPJ-CEM II/A 42.5 (figure 6.11) provenant de la cimenterie de Hamma Bouziane à Constantine, dont la composition chimique est décrite dans le tableau 6.6. Il s'agit d'un ciment composé d'au moins 80 % de clinker, au plus 15 % d'ajouts normalisés et au plus 5 % de gypse. Sa résistance à la compression à 2, 7 et 28 jours, est respectivement 14,32, 26,64 et 43,31 MPa



**Figure 6.11 : ciment utilisé dans les mélanges étudiés**  
Source : auteur 2023

**Tableau 6.6 : Composition chimique du clinker.**

S <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	chlorures	CaO libre	Résidus insolubles	P.A.F*
27.83	6.21	3.12	57.22	0.94	2.02	/	/	0.00	0.88	2.28	2.41

\*P.A.F : perte au feu

### 6.2.3.2. Granulats

Les granulats utilisés sont constitués de sable naturel (0/4 mm) et de deux classes de gravier (4/8 mm et 8/16 mm). Tous les granulats proviennent de la carrière géante ENG (Entreprise Nationale des Granulats, unité d'ElKhroub), obtenus par concassage de roche calcaire massive (figure 6.12).



**Sable (0/4) mm**



**Gravier (4/8) mm**



**Gravier (8/16) mm**

**Figure 6.12 : Granulats fins et grossiers utilisées dans les mélanges étudiés.**

Source : auteur 2023

### 6.2.3.3. L'eau de gâchage

L'eau employée pour les expériences menées provient du réseau d'alimentation en eau de la source Fesguia, réseau qui approvisionne le laboratoire de génie civil de l'université Mentouri de Constantine. Les résultats de l'analyse chimique effectuée sur cette eau conformes aux normes NF P18 404, sont représentés dans le tableau ci-dessous (tableau 6.7).

**Tableau 6.7: Composition chimique de l'eau.**

Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	T° (C)	pH
116	36	80	3	140	170	305	5	19	7.9

### 6.2.4. Programme expérimental

Afin de caractériser les différents mélanges de bétons formulés et d'évaluer l'impact de l'incorporation du compost, plusieurs essais expérimentaux ont été effectués. La présente section a pour objet de détailler les principaux tests effectués, incluant la préparation des mélanges de béton, ainsi que les mesures des propriétés physiques, mécaniques et thermiques. Les protocoles suivis s'inspirent des normes en vigueur pour ce type d'essai.

#### 6.2.4.1. La confection des mélanges du béton

Les échantillons du béton ont été préparés selon la méthode de Dreux-Gorisse. La résistance désirée pour le mélange de référence (sans compost) à 28 jours est de 20 MPa, avec un affaissement de 12 cm, ce qui correspond à un béton de résistance moyenne (Li, 2011). La méthode mise en œuvre a ainsi permis d'établir la composition du béton, avec un rapport eau/ciment de 0,75, 45% de sable, 10% de Gravier 3/8 et 45 % de Gravier 8/16, pour un coefficient de compacité de 0,795.

La préparation des cinq mélanges de béton a été effectuée à l'aide d'un malaxeur de laboratoire (figure 6.13). Les matériaux secs (ciment, sable, compost et graviers) ont d'abord été introduits et homogénéisés avant que l'eau ne soit ajoutée progressivement. Les moules d'éprouvettes ont été remplis par simple versement, sans recourir à la vibration.



**Figure 6.13 : Malaxeur de laboratoire**

Les proportions des différents mélanges sont indiquées dans le tableau 6.8.

**Tableau 6.8 : Composition des bétons expérimentés**

composants	Granulats fins (0/4)	Granulats grossiers (3/8)	Granulats grossiers (8/16)	Compost	Affaissement souhaité	Rapport C/E	Ciment	Eau
Unité	(kg/ m <sup>3</sup> )	(kg/ m <sup>3</sup> )	(kg/ m <sup>3</sup> )	(kg/ m <sup>3</sup> )	(cm)		(kg/ m <sup>3</sup> )	(kg/ m <sup>3</sup> )
CC0	804,35	178,74	804,35	-	12	1,32	300	226,45
CC5	764,13	178,74	804,35	40,21	12	1,32	300	226,45
CC10	723,91	178,74	804,35	80,43	12	1,32	300	226,45
CC15	683,69	178,74	804,35	120,65	12	1,32	300	226,45
CC20	643,48	178,74	804,35	160,87	12	1,32	300	226,45

Source : auteur 2023

Les bétons frais ont ensuite été coulés dans des moules :

- Cylindriques de dimensions  $(16 \times 32) \text{ cm}^3$
- Prismatiques de dimensions  $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$  et  $(4 \times 8 \times 16) \text{ cm}^3$  (figure 5.14).



**Figure 6.14 : Echantillons de différentes dimensions**  
Source : auteur, 2023

#### **6.2.4.2. Propriétés physiques :**

##### **a. Analyse granulométrique**

La distribution granulométrique des granulats utilisés dans la confection des mélanges de béton, a été réalisée conformément à la norme NF P 18-540 à l'aide d'une tamiseuse électrique (figure 6.15). Cet essai repose sur le criblage successif par voie sèche, qui consiste à classer les différents grains composant l'échantillon, en utilisant une pile de tamis emboîtés les uns sur les autres. Ces tamis sont positionnés/disposés dans l'ordre décroissant de leur diamètre du bas vers le haut. Les diamètres des tamis utilisés pour chaque type de granulats sont les suivants :

- Le sable (0/4) mm : 0,08 - 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2 et 5 mm.
- Le gravier (3/8) mm : 3 - 4,5 - 6,3 et 8 mm.
- Le gravier (8/16) mm : 4 - 5 - 6,3 - 8 - 10 - 12,5 et 16 mm
- Le compost (0/4) mm : 0,08 - 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2 et 5 mm.



**Figure 6.15 : tamiseuse électrique**  
Source : auteur 2023

### b. La masse volumique

Deux techniques de mesure de la masse volumique ont été utilisées :

La première est basée sur la mesure du volume des granulats, et a pour objectif de déterminer la masse volumique absolue par unité de volume de matière pleine, selon la norme NF EN 1097-3. Une quantité connue de granulats (30g) a été versée dans une éprouvette graduée contenant 300 ml d'eau. La différence de niveaux d'affleurement du liquide avant et après l'immersion donne le volume de granulats (figure 6.16). La masse volumique a ensuite calculée en utilisant la formule :

$$\rho = \frac{m}{v_2 - v_1} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$



Mesure de la masse du sable



Volume avant immersion du sable



Volume après immersion du sable

**Figure 6.16 : étapes de mesure de la masse volumique du sable**

Source : auteur, 2023

L'autre est fondée sur la pesée pour déterminer la masse volumique de mélanges de béton ; la norme NF EN 12350-6 a été suivie. Un récipient de volume connu est rempli de béton frais (figure 6.17), puis la masse est mesurée avant et après remplissage. La masse volumique est alors déduite par le calcul :

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$m_1$  et  $m_2$  correspondent respectivement aux masses avant et après remplissage, et  $V$  au volume du récipient.



**Masse du récipient + béton**



**Masse du récipient**

**Figure 6.17 : mesure de la masse volumique des mélanges du béton**

Source : auteur 2023

### **c. La porosité**

La porosité ouverte (ou accessible à l'eau) a été déterminée selon NF P18-459 sur des échantillons de  $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$ . L'essai consistait tout d'abord à sécher les cubes dans une étuve à  $105^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante, ce qui permettait d'éliminer toute humidité accessible. La pesée après séchage donnait la masse à l'état sec,  $M_{\text{sec}}$ . Les cubes étaient ensuite saturés par immersion dans l'eau sous vide pendant 48 heures. Ils étaient retirés de l'eau et essuyés rapidement et soigneusement à l'aide d'un linge humide, afin d'éliminer l'eau superficielle, sans toutefois retirer l'eau des pores. Une pesée immédiate à l'air libre donnait  $M_{\text{air}}$ . Enfin, les échantillons subissaient une pesée hydrostatique à  $20^\circ\text{C}$ , permettant d'obtenir leur masse immergée  $M_{\text{eau}}$  (figure 6.18). La porosité accessible à l'eau avait été calculée par la formule suivante :

$$P_0(\%) = \frac{M_{air} - M_{s\grave{e}che}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

Avec :  $M_{air}$  : masse à l'air libre de l'échantillon imbibé

$M_{sec}$  : masse de l'échantillon à l'état sec

$M_{eau}$  : masse de l'échantillon immergé



Pesée à sec



Saturation par immersion



Essuyage



Pesée hydrostatique

**Figure 6.18 : Etapes de mesure de la porosité ouverte**

Source : auteur, 2023

### 6.2.4.3. Propriétés mécanique :

#### a. la maniabilité

La **maniabilité** des mélanges a été vérifiée à l'aide d'un cône d'affaissement conformément à la norme NF EN 12350-2, et cela pour chaque type du béton (figure 6.19.a). Les échantillons ont été durcis dans les moules pendant un jour avant d'être retirés.

#### b. La résistance à la compression

La résistance à la compression a été déterminée conformément à la norme NF P 18-406 par l'écrasement des échantillons de  $16 \times 32 \text{ cm}^3$  pour chaque mélange, après 28 jours (figure 6.19.b).

#### c. La résistance à la traction

Pour évaluer la résistance de traction par flexion, des éprouvettes prismatiques normalisées de dimensions  $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$  (Figure 6.19.c) ont été utilisées, conformément à la norme EN 12390-1. Cet essai a été réalisé à l'aide d'une presse de flexion à trois points de capacité 100 kN. Les résistances sont mesurées sur trois éprouvettes différentes pour chaque formulation.



a. Essai d'affaissement      b. Essai de compression simple      c. Essai de traction par flexion

**Figure 6.19 : Les différents essais mécaniques réalisés**

Source : auteur, 2023

#### 6.2.4.4. Propriétés thermique :

##### a. La conductivité thermique et la chaleur spécifique

Les propriétés thermiques ont été mesurés sur des éprouvettes prismatique de  $(4 \times 8 \times 16)$   $\text{cm}^3$  de section rectangulaire après 90 jours de durcissement (figure 6.20.a). Ces éprouvettes ont été coulées dans des moules en bois (figure 6.20.b). Les mesures ont été réalisées à l'aide d'une CT METRE utilisant la méthode de la plaque chaude gardée (figure 6.20.c).



a. Eprouvettes d'essai

b. Moule de coulage

c. CT mètre

**Figure 6.20 : Préparation et caractérisation thermiques des échantillons**

Source : auteur, 2023

La sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite est de type anneau, elle consiste en un circuit imprimé souple, d'épaisseur de 0,2 mm et dimension de 60×90 mm, conçue pour être insérée entre deux morceaux plans de l'échantillon à mesurer. Les mesures ont été prises sur trois éprouvettes différentes pour chaque mélange du béton, et les résultats présentés sont les moyennes des trois mesures.

## 6.2.5. Présentation et interprétation des résultats expérimentaux

### 6.2.5.1. Paramètres physiques

#### a. Distribution granulométrique

La figure 6.21 présente la distribution granulométrique de différents granulats utilisés dans la production des bétons étudiés. L'axe des abscisses représente la taille des tamis (en mm) sur une échelle logarithmique, allant de 0,01 à 100 mm. L'axe des ordonnées représente le pourcentage de tamisats (% cumulatif des particules passant à travers le tamis) sur une échelle arithmétique. Quatre types de matériaux sont comparés : compost, granulats fins (0/4), granulats grossiers (3/8) et granulats grossiers (8/16).

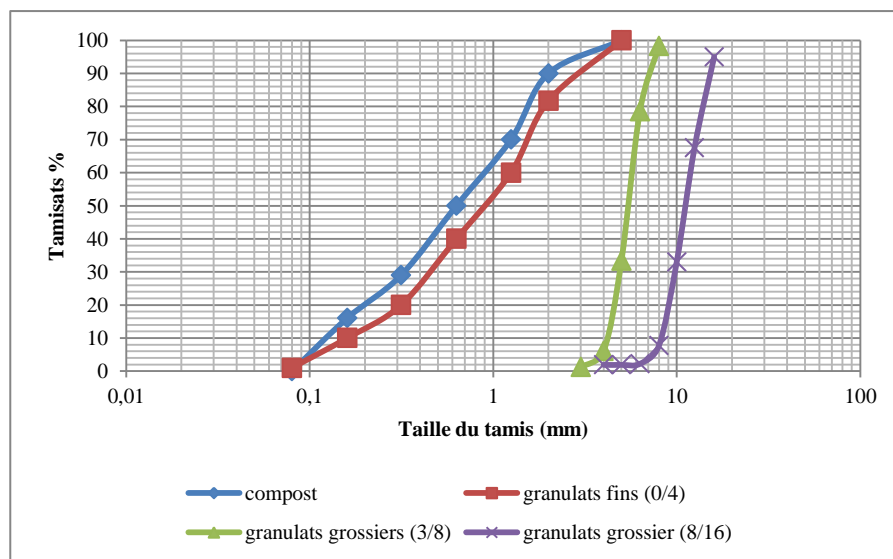


Figure 6.21: Courbes granulométriques des granulats étudiés

Source : auteur, 2023

Les courbes du compost et des granulats fins (sable) sont très proches, indiquant que leurs distributions granulométriques sont similaires. La courbe du compost montre une pente régulière, suggérant une distribution continue des tailles des particules.

Les courbes des granulats grossiers (3/8 et 8/16) sont nettement décalées vers la droite, indiquant qu'ils sont constitués de particules plus grossières. Leur pourcentage de passage augmente brusquement à une certaine taille de tamis, ce qui montre une distribution plus uniforme et moins étalée que celle du compost et du sable.

La similarité des courbes granulométriques du compost et du sable suggère une possible substitution partielle du sable par du compost dans le béton.

### **b. Masse volumique**

Les masses volumiques des différents dosages sont illustrés dans le tableau 6.9. La comparaison avec le béton de référence montre des variations peu significatives, comprises entre 1,25 % et 5 %. On observe que l'incorporation croissante de compost entraîne une diminution de la masse volumique du béton. Cette diminution de densité peut être attribuée au remplacement du sable, plus dense, par le compost, un matériau plus léger (Cuthbertson et al., 2018).

**Tableau 6.9 : Masse volumique des échantillons étudiés**

Béton	CC0	CC5	CC10	CC15	CC20
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2396,87	2367,19	2359,37	2325	2281,25

Source : auteur 2023

La masse volumique la plus faible obtenue est de 2281,25 kg/m<sup>3</sup>, demeure dans la gamme des bétons de poids normal béton (~ 2400 (kg/m<sup>3</sup>), ce qui est promoteur pour l'utilisation de ce type de déchets dans la production de (Li, 2011).

### **c. La porosité**

L'impact de l'ajout du compost sur la porosité du béton est illustré dans le tableau 6.10 :

**Tableau 6.10 : La porosité des mélanges étudiés**

Béton	CC0	CC5	CC10	CC15	CC20
Porosity (%)	13,21	13,43	13,64	14,07	14,32

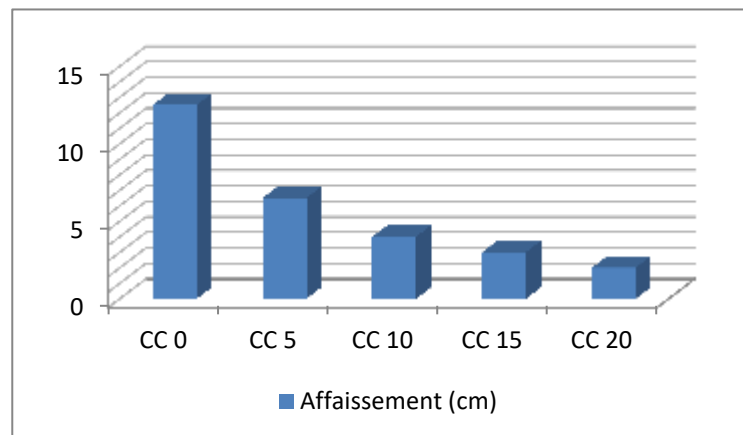
Source : auteur, 2023

Les résultats montrent que l'ajout de compost au béton en petites quantités (CC0 et CC10) entraîne une légère augmentation de la porosité (1,67 % et 3,25 %) par rapport au béton de référence, sans impact significatif. Cependant, après une substitution de 15 %, c'est-à-dire pour les mélanges CC15 et CC20, le compost a un impact significatif sur la porosité du béton, avec une augmentation de 6,51 % et 8,40 %. La structure du compost a un impact plus important sur les propriétés du béton lorsque la proportion de compost augmente, et cet effet est amplifié lorsque le taux d'incorporation augmente.

### 6.2.5.2. Les paramètres mécaniques

#### a. L'affaissement

Les figures 6.22 et 6.23 illustrent les résultats d'essai d'affaissement au cône d'Abrams (Norme NF EN 12350-2). Le rapport C/E des bétons étudiés est maintenu constant, 1,32 (A = 12 cm).



**Figure 6.22: Résultats d'essai d'affaissement des mélanges étudiés**

Source : auteur, 2023



**Figure 6.23 : Résultats d'Essais d'affaissement pour les mélanges étudiés**

Source : auteur 2023

La hauteur d'affaissement est un indicateur de l'ouvrabilité du béton ; plus la hauteur de l'affaissement est élevée, plus le béton est fluide et facile à manipuler, ce qui indique une bonne ouvrabilité (Nazari & Riahi, 2010). Il a été observé que l'ajout croissant du compost, conduit à une diminution de l'ouvrabilité du béton de 48%, 68%, 76% et 84% pour les mélanges CC5, CC10, CC15 et CC20, respectivement. Cette observation est attribuable au compost ajouté, caractérisé par des grains de géométrie angulaire et rugueuse qui s'interconnecte plus étroitement que les grains arrondis, ce qui entraîne une réduction de l'affaissement (Hover, 2011), (Vijayalakshmi et al., 2013). Il est également possible d'attribuer cette diminution au fait que l'engrais a contribué à une augmentation de la porosité du béton, entraînant ainsi une augmentation de la rétention d'eau et, par conséquent, une diminution de l'ouvrabilité (Cuthbertson et al., 2018). L'ajout des déchets, en revanche, a entraîné une diminution de l'ouvrabilité, favorisant ainsi une forte demande en eau. Il est donc important,

de trouver un équilibre entre l'ouvrabilité et la stabilité du béton, en ajustant la teneur en eau et le compost ajouté dans le mélange, tout en tenant compte de l'influence de l'eau sur les caractéristiques mécaniques du béton.

### **b. Résistance à la compression**

Les essais de la résistance à la compression des mélanges étudiés ont été effectués sur des échantillons cylindriques de 16×32 cm conformément à la norme NF P 18-406. Le tableau 6.11 présente les résultats obtenus après 28 jours pour les cinq formulations. Les essais ont montré que l'incorporation du compost dans le béton engendre une légère amélioration dans la résistance à la compression de 0,78% et 0,69% pour les mélanges CC5 et CC10 par rapport au béton témoin CC0. Pour les mélanges à 15% et 20%, la résistance à la compression diminue progressivement de 12,52% et 14,68%. Même si les résistances à la compression diminuent légèrement au-delà de 10%, elles restent proches de celle du béton témoin sans déchets. Ces résultats s'expliquent par le fait que les mélanges faiblement dosés conservent les mêmes propriétés que le béton de référence. De plus, leur structure poreuse peut contribuer à une meilleure compacité du mélange et donc améliorer légèrement la résistance. Au-delà de 10%, l'augmentation de la proportion de compost léger par rapport au sable dense commence à impacter négativement la compacité du béton, d'où la diminution progressive de la résistance. Cette constatation est cohérente avec des recherches antérieures qui ont montré que l'utilisation de granulats moins denses réduit la densité du béton, ce qui entraîne une diminution de la résistance à la compression (Pongsopha et al., 2019). Il convient de noter que l'ajout de compost en petites quantités n'affecte pas significativement la résistance à la compression.

**Tableau 6.11: Résistance à la compression des bétons étudiés**

<b>Béton</b>	<b>CC0</b>	<b>CC05</b>	<b>CC10</b>	<b>CC15</b>	<b>CC20</b>
<b>Résistance à la compression (MPa)</b>	21,80	21,97	21,95	19,07	18,60

Source : auteur 2023

### **c. Résistance à la traction par flexion**

Le tableau 6.12 présente les résultats d'essai de traction obtenus à 28 jours. Les résistances à la compression et à la traction sont fortement corrélées, en raison de leurs

caractéristiques similaires (Alyamaç & Aydın, 2015). Cependant, les mélanges de béton ayant une résistance élevée à la compression ont également une résistance élevée à la traction. Les résultats obtenus montrent que la résistance à la traction par flexion varie en fonction de la fraction de déchets organiques ajoutée. Elle augmente dans les échantillons CC5, CC10 et CC15 de 13,53 %, 14,41 % et 1,88 %, respectivement, puis diminue de 13,67 % dans l'échantillon. On observe également que les deux résistances, à la compression et à la traction par flexion, présentent une tendance similaire, avec une augmentation pour les faibles taux de substitution et une diminution pour les taux plus élevés. Cependant, la résistance à la traction par flexion semble être plus sensible à l'ajout de compost que la résistance à la compression. Ainsi, on peut noter que le remplacement partiel des déchets organiques compostés est bénéfique pour les propriétés mécaniques du béton, 10 % étant le taux optimal, donnant une valeur de 7,29 KN.

**Tableau 6.12:** Résultats d'essai de traction par flexion des mélanges étudiés

Béton	CC0	CC5	CC10	CC15	CC20
<b>Résistance à la traction par flexion (MPa)</b>	6,37	7,23	7,29	6,49	5,49

Source : auteur 2023

### 6.2.5.3. Paramètres thermique :

L'influence du remplacement partiel du sable par le compost sur les propriétés thermiques du béton a été étudiée. Les résultats sont illustrés dans le tableau 6.13.

**Tableau 6.13 : Conductivité thermique des différents mélanges étudiés**

Béton	CC0	CC5	CC10	CC15	CC20
<b>Conductivité thermique (W/m.K)</b>	1,291	1,228	1,148	0,971	0,92

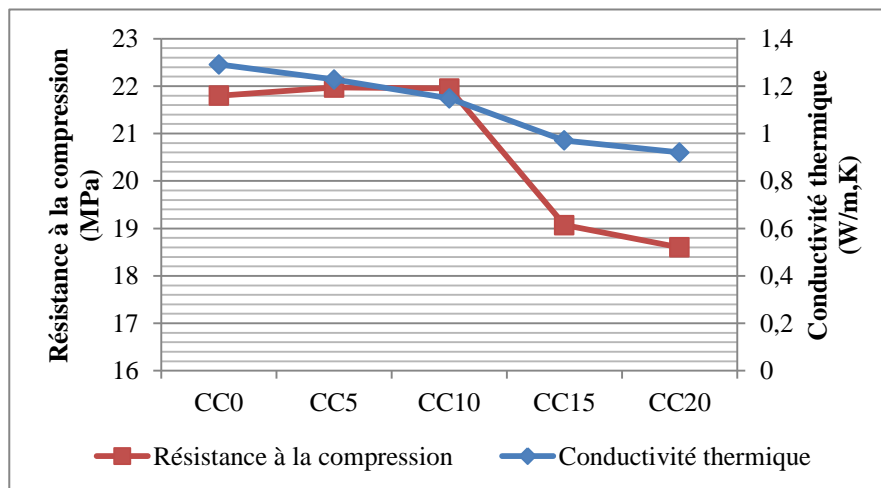
Source : auteur 2023

La conductivité thermique du béton diminue à mesure que la proportion de compost incorporé augmente. Elle diminue de 5 % pour CC5, puis de 11 %, 25 % et 29 % pour CC10, CC15 et CC20, respectivement. Plusieurs études ont montré que cette caractéristique

thermique varie en fonction de paramètres physiques tels que la densité, la porosité, le type d'agrégat et la teneur en eau (Khan, 2002 ; Meukam et al., 2004 ; Asadi et al., 2018). Bien que la teneur en eau ait été maintenue constante, l'utilisation des granulats légers a engendré une diminution de la densité du béton combinée à une augmentation de la porosité, entraînant une réduction significative de la conductivité thermique dans les différentes formulations du béton par rapport au béton témoin.

### 6.3. Compromis Résistance mécanique/isolation thermique dans le béton au compost

La figure 6.24 illustre l'évolution de la résistance à la compression et de la conductivité thermique en fonction de la teneur en compost dans le béton.



**Figure 6.24 : Evolution de la résistance à la compression et la conductivité thermique des mélanges étudiés**

Source : auteur, 2023

L'incorporation du compost entraîne une diminution de la conductivité thermique, améliorant ainsi les caractéristiques isolantes du béton. Cependant au-delà d'un certain pourcentage (CC15 – CC120), la résistance mécanique est significativement réduite. Il faut donc trouver un équilibre entre ces deux paramètres.

Les mélanges CC5 et CC10 maintiennent une résistance quasi stable (~22 MPa), pratiquement la même résistance à la compression que le béton de référence CC0, tout en présentant une conductivité thermique sensiblement inférieure. En revanche, pour les mélanges CC15 et CC20, la résistance marque une baisse plus marquée, avec environ 12 et 15 % de celle du béton témoin. L'analyse suggère que le mélange CC10 offre le meilleur

compromis entre résistance mécanique et performance thermique, alliant une bonne résistance à la compression à une isolation thermique améliorée. Un taux de compost supérieur implique des gains d'isolation thermique moindres par rapport à la perte de résistance mécanique.

#### **6.4. Impact de la valorisation de la fraction organique des déchets dans les matériaux de construction sur l'enfouissement**

La production annuelle nationale des DMA est de 13 millions de tonnes, dont 53,61 % sont des déchets organiques (AND, 2020), soit une quantité de 7 millions de tonne. En ce qui concerne la zone d'étude, la part de la matière organique produite est estimée à 117682 tonnes pour la wilaya de Constantine, 37801,5 tonnes pour la ville de Constantine, et 16404 tonnes pour la nouvelle ville Ali Mendjeli (DPSB, 2023). Le rendement de production du compost issue du compostage d'un mélange de déchets verts et de de déchets de cuisine est de 32 % (Bouadam et al., 2022).

Dans le cadre de la SNGID, quatre scénarios ont été élaborés afin de projeter l'évolution des pratiques de valorisation organique. Ces scénarios fixent des objectifs progressifs en matière de compostage des déchets biodégradables :

- Le scénario 1 maintient un taux de compostage limité à 1 %,
- Le scénario 2 prévoit une augmentation à 15 %,
- Le scénario 3 vise un taux de 25 %,
- Tandis que le scénario4, le plus ambitieux, projette un taux 50 %.

A partir de ces hypothèses, nous allons à présent estimer la réduction potentielle de la quantité de déchets organiques dirigés vers l'enfouissement, en considérant que la fraction compostée est intégralement valorisée dans la fabrication de béton, conformément aux résultats de l'expérimentation menée dans la partie précédente.

Le calcul se fera en deux étapes pour chaque scénario :

- 1- Le calcul de la masse de la matière organique MO envoyée au compostage : masse totale de MO  $\times$  taux de compostage de scénario
- 2- Le calcul de la masse MO réellement évitée à l'enfouissement : quantité de compost produit  $\times$  rendement de compostage (tableau 6.14).

**Tableau 6.14 : Quantités des déchets organiques évitées à l'enfouissement**

scénario	Taux de compostage visé (%)	Quantité de MO réellement évitée à l'enfouissement (en tonnes)				Part MO évitée (%)
		Algérie	Wilaya de Constantine	Ville de Constantine	NV Ali Mendjeli	
Scénario 1	1	22 400	377	121	52	0,32
Scénario 2	15	336 000	5649	1814	787	4,8
Scénario 3	25	560 000	9415	3024	1312	8
Scénario 4	50	1 120 000	18829	6048	2625	25

Source : auteur 2025

Le tableau montre clairement que plus le taux de compostage augmente, plus la masse MO évitée à l'enfouissement est importante, tant à l'échelle nationale que locale. Le scénario le plus ambitieux est le scénario 4, avec 50 % de taux de compostage, permet d'éviter 25 % de masse de déchets organique enfouie.

La masse de sable préservée grâce au remplacement partiel par du compost correspond à la quantité de compost nécessaire pour produire 1 m<sup>3</sup> de béton, soit 80,44 kg/m<sup>3</sup> pour le béton CC10 et 120,65 kg/m<sup>3</sup> pour le béton CC15. Le tableau 6.15 suivant résume les quantités estimées de sable préservé, exprimées en tonne, pour chaque scénario et pour chaque zone d'étude :

**Tableau 6.15 : Quantités de sable préservé par l'utilisation du compost dans le béton**

Scénario	Algérie		Wilaya de Constantine		Ville de Constantine		NV Ali Mendjeli	
	CC10	CC15	CC10	CC15	CC10	CC15	CC10	CC15
<b>1</b>	2502,08	3953,6	42,1	66,5	13,5	21,4	5,9	9,3
<b>2</b>	37531,2	59304	631,0	997,0	202,7	320,3	88,0	139,0
<b>3</b>	62552	98840	1051,6	1661,7	337,8	533,8	146,6	231,6
<b>4</b>	195475	308875	2103,2	3323,3	675,6	1067,5	293,2	463,2

Source : auteur 2025

L'analyse des différents scénarios de compostage révèle le rôle déterminant que peut jouer la valorisation des déchets dans la réduction des masses à enfouir. Un taux de compostage de 50 % permet d'éviter un quart de la fraction organique initialement destinés à l'enfouissement, et de préserver d'importantes quantités de sable aussi bien à l'échelle nationale qu'à l'échelle locale.

## Conclusion

Ce chapitre a pour objectif d'accroître la valeur des déchets organiques tout en préservant les ressources naturelles et en minimisant la consommation d'énergie grâce au développement de nouveaux mélanges de béton dérivés de déchets. La viabilité du remplacement de 5, 10, 15 et 20 % du sable naturel par des déchets organiques compostés a été évaluée sur la base des propriétés mécaniques et thermiques. Les résultats des essais mécaniques ont été jugés satisfaisants. Le remplacement partiel du sable dans le béton par du compost plus léger n'a pas d'effet alarmant sur les résistances à la compression et à la traction. La porosité a été augmentée tandis que l'ouvrabilité et la densité ont diminué. L'ajout progressif de compost au béton a réduit de manière significative la conductivité thermique, améliorant ainsi les propriétés d'isolation. Sur la base de ces résultats, il apparaît que le remplacement d'une petite quantité de sable par du compost n'a pas eu d'effet négatif sur les propriétés mécaniques du béton. Il a également permis d'améliorer les propriétés d'isolation thermique tout en réduisant le poids de la composition. Le mélange CC10 semble être le meilleur compromis, offrant un bon équilibre entre résistance mécanique et performance thermique.

En conclusion, le compost de multiples atouts. Sur le plan agronomique, il enrichit le sol en matière organique, améliorant ainsi sa structure et sa fertilité. Ses avantages environnementaux sont également considérables : il permet la valorisation de plus de 50% des déchets ménagers et assimilés, ce qui réduit les quantités destinées à l'enfouissement. Par conséquent, les émissions de méthane issues de la décomposition anaérobie des déchets organique en décharge diminuent. A cela s'ajoute les bénéfices économiques, tels que la réduction du coût de transport et de mise en décharge, ainsi que la création d'emploi locaux grâce au développement des filières de compostage.

Au-delà de ces applications traditionnelles, la valorisation du compost dans les matériaux de construction, notamment le béton, ouvre des perspectives intéressantes. Cette démarche contribue à la fois à la préservation des matières premières, la réduction de l'énergie consommée pour l'extraction, le transport et la fabrication de matériaux neufs, ainsi qu'à la diminution significative des quantités de déchets organiques destinées à l'enfouissement. De plus, l'incorporation de compost dans le béton permet d'améliorer certaines de ses propriétés, notamment en conduisant à des matériaux plus légers et offrant de meilleures performances en termes d'isolation thermique.

**CHAPITRE VII:**

**AMELIORATION DE LA PERFORMANCE  
ENERGETIQUE D'UN LOGEMENT A L'AIDE DE  
BETON INTEGRANT DES DECHETS**

## Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude énergétique à l'échelle des logements dans le cadre de notre aire d'étude. Son objectif principal est de déterminer et de quantifier l'influence de l'intégration du béton contenant du compost, tel que caractérisé dans le chapitre précédent, sur la réduction de la consommation d'énergie et des émissions GES au sein de deux logements choisis dans le terrain d'étude. Pour ce faire, l'analyse est appuyée sur plusieurs niveaux.

Au début une analyse des factures énergétiques des deux logements est effectuée, afin d'identifier la source d'énergie la plus utilisée et de caractériser les profils de consommation réelle.

Dans un second temps, il conviendra de procéder à un calcul de l'énergie théorique consommée. Ce calcul s'effectuera sur la base des équipements présents, des habitudes d'usage et des caractéristiques des logements. Cette étape est essentielle pour comparer la consommation estimée à la consommation réelle, permettant ainsi de détecter d'éventuels gaspillages ou de surconsommation énergétique.

Une troisième partie est consacrée à l'étude thermique des logements, afin de déterminer les besoins énergétiques pour le chauffage et la climatisation. Cette analyse permet d'évaluer l'efficacité de l'isolation et de déterminer la performance énergétique des logements. Dans le cadre de cette étude, l'application CT BAT, un outil de simulation thermique dynamique conçu spécifiquement pour le contexte algérien, sera utilisée.

En conclusion, le chapitre propose des scénarios d'amélioration énergétique de l'enveloppe des logements, intégrant l'utilisation du béton testé au chapitre précédent. Ces différents scénarios sont accompagnés d'une estimation de la réduction des besoins en énergie (chauffage et climatisation), ce qui permet de répondre à l'objectif initial de ce chapitre.

## 7.1. Présentation des logements étudiés :

### 7.1.1. Critères de sélection des appartements

Afin d'illustrer l'impact du béton contenant des déchets sur la performance thermique du bâtiment, deux appartements en immeubles collectifs ont été sélectionnés : le premier se situe dans la ville de Constantine (Aprt1), et le second dans la nouvelle ville Ali Mendjeli (Aprt2) (figure 7.1). Outre la situation géographique, qui permet de couvrir les deux terrains d'étude. Le critère déterminant dans le choix de ces appartements, a été la disposition des propriétaires à partager leurs factures énergétiques, et se rendre auprès de Sonelgaz pour obtenir les factures manquantes. Il est important de noter que ces deux appartements sont situés au dernier étage des immeubles, ce qui les expose à des conditions particulièrement défavorables en termes de chauffage et de climatisation, et rend donc l'étude de leur performance thermique d'autant plus pertinente.



a. Appartement 1



b. Appartement 2

Figure 7.1 : vue aérienne des appartements étudiés

Source : Google Earth

### 7.1.2. Description et orientation

Le premier appartement (Aprt1), d'une surface de 55 m<sup>2</sup>, se trouve au dernier étage du bâtiment 1, de la cité Ben Boulaid, dans le secteur urbain de belle vue à Constantine. Construit dans les années 1960, il se compose de 3 chambres, un séjour, une cuisine, un balcon et une salle d'eau. La porte principale de l'appartement donne directement accès à une coursive ; celle-ci se présente comme un grand balcon partagé avec les voisins, servant également de passage vers les escaliers de l'immeuble (figure 7.2.a).

La façade Sud est celle qui donne sur la coursive, sur laquelle se trouve la porte d'entrée principale. Elle comporte également plusieurs fenêtres afin de bénéficier de la lumière.

La façade Nord (à l'opposé de la coursive) est une façade extérieure de l'appartement. Elle comporte deux fenêtres et une pergola qui est totalement vitrée, donnant sur l'arrière du bâtiment.

Les murs Est et Ouest sont mitoyens avec les appartements voisins, donc sont pleins et non pas d'ouvertures vers l'extérieur.

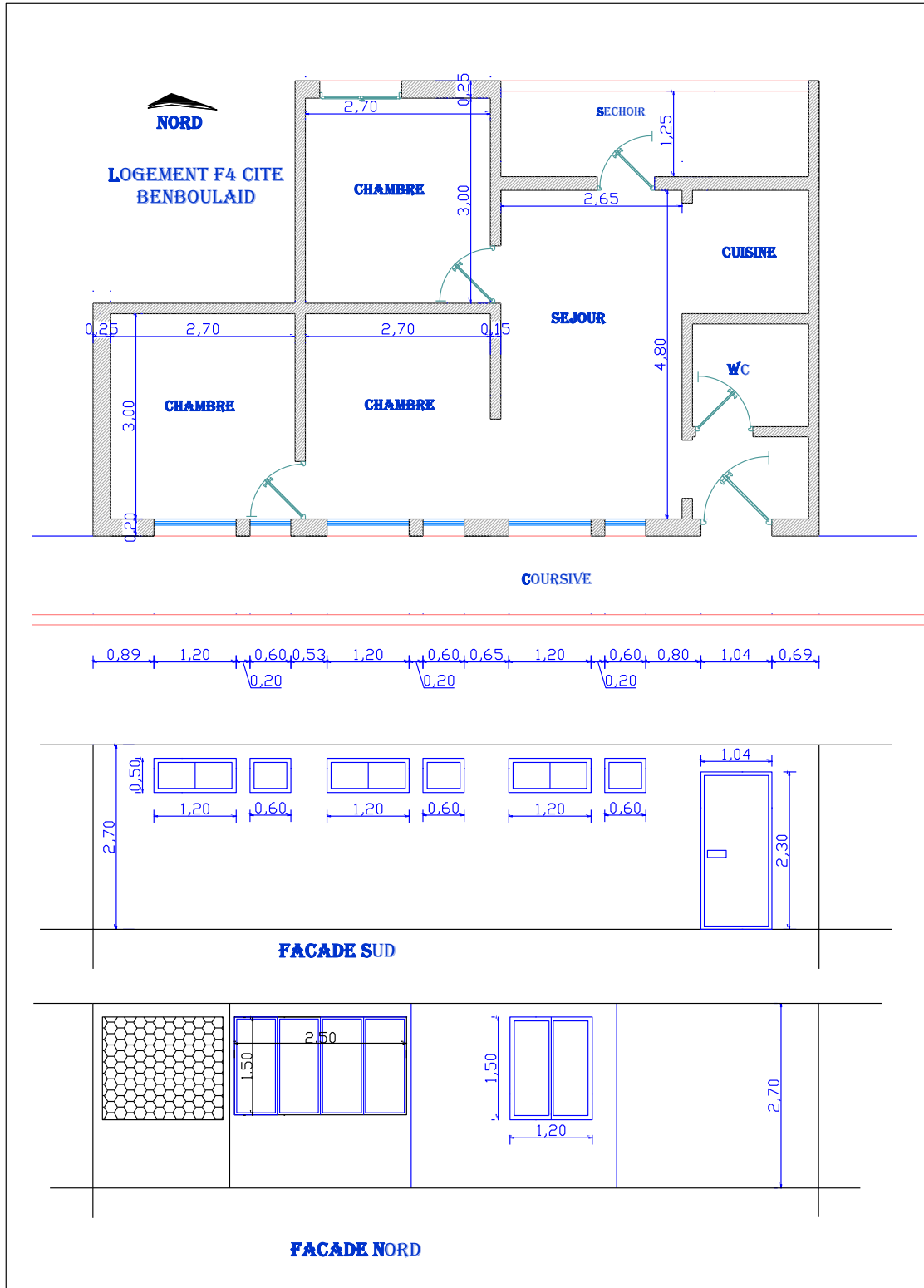


Figure 7.2.a : Représentation architecturale de l'appartement 1  
Source : auteur 2025 + Autocad

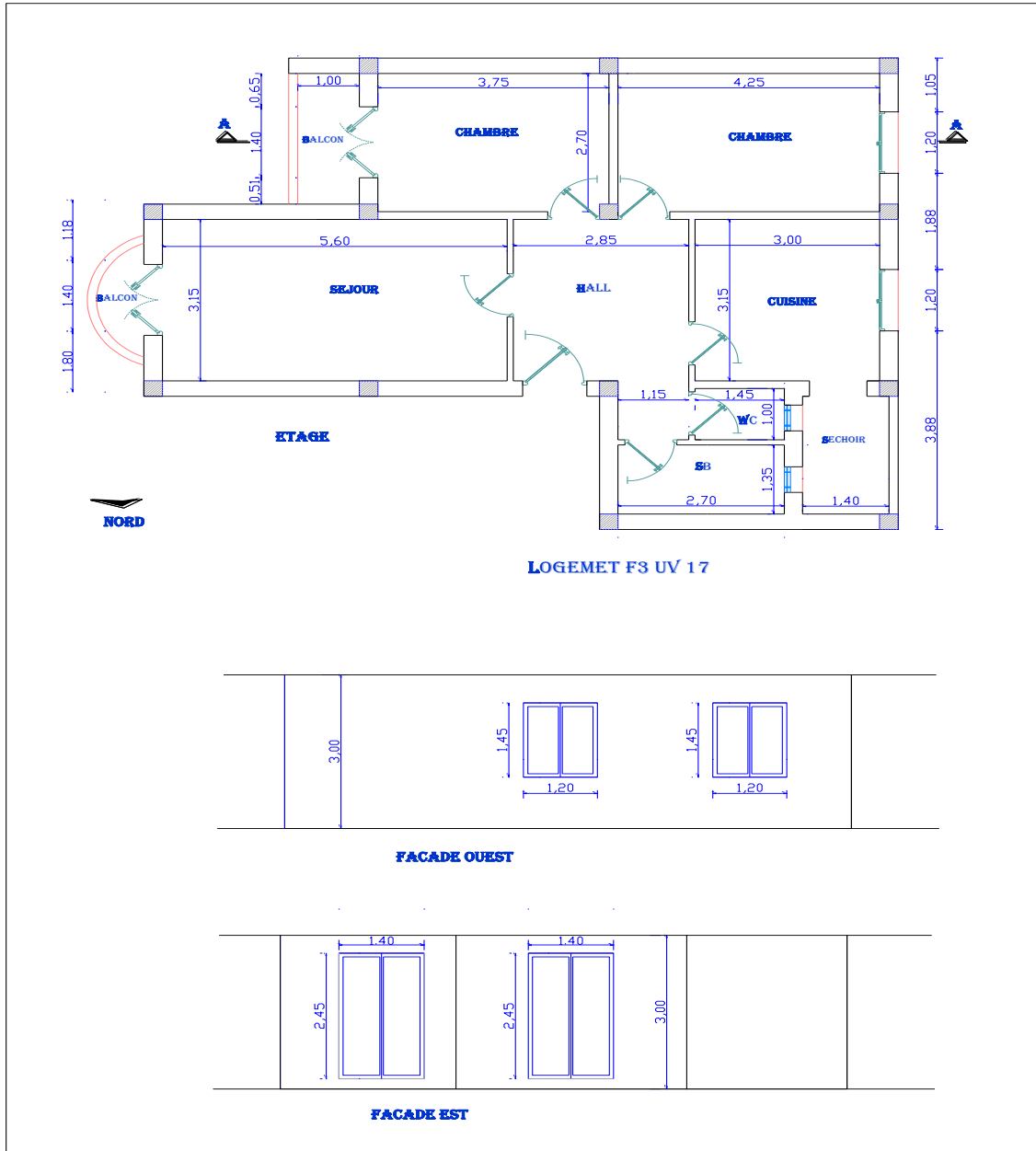


Figure 7.2.b : Représentation architecturale de l'appartement 2  
Source : auteur 2025 + Autocad

Le second appartement (Aprt2), de type F3, est également situé au dernier étage, au 341, ilot 2, bâtiment 13, de l'unité de voisinage 17 de la nouvelle ville Ali Mendjeli. Construit en 2011 et habité depuis 2013, il se compose de deux chambres, d'un séjour avec balcon, d'un hall d'entrée, d'une cuisine avec balcon, d'une salle de bains et de toilettes (figure 7.2.b).

La façade Nord est celle qui comporte la porte d'entrée de l'appartement. Une partie de ce mur est mitoyenne avec un voisin, tandis que l'autre donne sur la cage d'escalier de l'immeuble.

La façade sud est entièrement en contact avec le voisin, donc ce mur mitoyen sera aveugle, c'est dire sans fenêtres ni ouvertures vers l'extérieur.

La façade Est est une façade extérieure et comporte les deux portes fenêtres. Celles-ci desservent le séjour et une autre chambre, et donnent accès aux balcons.

La façade ouest est également extérieure, est comporte deux fenêtres (chambre et cuisine) et le balcon de la cuisine.

### **7.1.3. Données géographiques et climatiques**

Les deux appartements se trouvent dans la wilaya de Constantine, ce qui indique qu'ils partagent certaines caractéristiques climatiques : une latitude similaire et une zone climatique estivale similaire. Les différences résident dans la zone climatique hivernale, Constantine étant classée en zone A et Ali Mendjeli en zone B. Cette différence, combinée à l'altitude légèrement élevée d'Ali Mendjeli, pourrait influencer les besoins en chauffage en hiver (tableau 7.1).

**Tableau 7.1 : Données géographiques et climatiques des zones d'étude**

	<b>Ville de Constantine</b>	<b>NV Ali Mendjeli</b>
<b>Wilaya</b>	Constantine	Constantine
<b>Altitude (m)</b>	694	786
<b>Latitude</b>	36,28 nord	36,24 nord
<b>Zone climatique hiver</b>	A	B
<b>Zone climatique été</b>	B	B
<b>Classe de rugosité du site</b>	IV (zones urbaines, zones industrielles, forêts)	IV (zones urbaines, zones industrielles, forêts)

Source : DTR C3.2/4

La localisation des sites d'implantations des deux logements dans des zones climatiques réglementaires, permet de définir les conditions climatiques de base nécessaires à la réalisation de l'étude thermique (tableau 7.2 et 7.3).

**Tableau 7.2 : Conditions extérieures de base des zones d'étude**

Conditions de base extérieures	Unité	Valeur (Aprt1)	Valeur (Aprt2)
Température extérieure de base extérieure (hiver)	°C	0	-4
Température de base extérieure sèche (été)	°C	37	37
Ecart annuel de température	°C	36	36
Ecart diurne	°C	15	15
Humidité relative extérieure	%	50	50
Humidité spécifique	$g_{vap}/kg_{gas}$	11	11

Source : DTR C3.2/4

**Tableau 7.3 : Conditions intérieures de base des zones d'étude**

Conditions de base extérieures	Unité	Valeur (Aprt1)	Valeur (Aprt2)
Température intérieur hiver	°C	21	21
Température intérieur été	°C	27	27
Ecart diurne	°C	15	15
Humidité relative intérieure	%	50	50
Humidité spécifique intérieure	$g_{vap}/kg_{gas}$	11	11

Source : DTR C3.2/4

#### **7.1.4. Données relatives aux enveloppes des appartements**

Les deux appartements ont des caractéristiques différentes. L'appartement 1 (très ancien), possède une construction plus basique avec des murs simples partout (intérieur et extérieur), des fenêtres à simple vitrage et de menuiserie métallique, tandis que l'appartement 2 bénéficie d'une meilleure isolation thermique grâce à ses murs extérieurs à double cloison et ses menuiseries en bois. Les dimensions des deux appartements sont illustrées dans le tableau 7.4.

**Tableau 7.4 : Données dimensionnelles des appartements (Aprt 1 et Aprt 2)**

<b>Dimension</b>	<b>Unité</b>	<b>Aprt 1</b>	<b>Aprt 2</b>
<b>Côté nord (net)</b>	m	7,15	6,65
<b>Côté sud (net)</b>	m	10,1	8,14
<b>Côté est (net)</b>	m	6,3	6,75
<b>Côté ouest (net)</b>	m	3	8,62
<b>Hauteur (net)</b>	m	2,7	2,65
<b>Surface (net)</b>	m <sup>2</sup>	54,65	75,1
<b>Volume chauffé (net)</b>	m <sup>3</sup>	147,56	199,02
<b>Côté nord</b>	m	7,45	7,63
<b>Côté sud</b>	m	10,6	9,02
<b>Côté est</b>	m	6,8	7,03
<b>Côté ouest</b>	m	3,4	9,5
<b>Hauteur</b>	m	3,3	3,08
<b>Surface brute</b>	m <sup>2</sup>	62,82	86,67
<b>Volume total</b>	m <sup>3</sup>	202,9	266,94

Source : auteur 2025

Le tableau suivant (7.5) synthétise les surfaces des différents éléments de l'enveloppe des appartements, en précisant leur orientation.

**Tableau 7.5 : Surfaces des enveloppes et leurs orientations**

Paroi	Désignation	Apt 1		Apt 2		
		Surface (m <sup>2</sup> )	Orientation	Désignation	Surface (m <sup>2</sup> )	Orientation
<b>Toiture</b>	Toit1	54,65	-	Toit2	75,1	-
<b>Murs</b>	MN1	11,5	Nord	MN2	15,88	Nord
	MS1	22,7	Sud	MS2	17,62	Sud
	-	-	-	ME2	15,98	Est
	-	-	-	MO2	9,5	Ouest
<b>Porte</b>	P1	2,4	Sud	P2	1,74	Nord
<b>Fenêtres</b>	FS1, FS3, FS5	0,6	Sud	FO1, FO2	1,74	Ouest
	FS2, FS4, FS6	0,3	Sud	FO3	1,74	Ouest
	FN1	1,8	Nord	PFE1, PFE2	3,43	Est
	FN2	3,75	Nord	-	-	-
	FN3	2,25	Nord	-	-	-

Source : auteur 2025

Les caractéristiques géométriques des fenêtres sont résumées dans le tableau suivant (tableau 7.6) :

**Tableau 7.6 : paramètres géométriques des fenêtres**

Fenêtre	Apt 1			Apt 2			
	FS1, FS3, FS5	FS2, FS4, FS6	FN1	FN2	FN3	FO1, FO2, FO3	PFE1, PFE2
<b>A (m)</b>	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	1,45	1,45
<b>B (m)</b>	1,2	0,6	1,2	2,5	1,5	1,2	1,4
<b>Surface fenêtre (m<sup>2</sup>)</b>	0,6	0,3	1,8	3,75	2,25	1,74	3,43
<b>Surface vitrage (m<sup>2</sup>)</b>	0,44	0,2	1,54	3,36	1,96	1,485	3,05
<b>Surface menuiserie (m<sup>2</sup>)</b>	0,16	0,1	0,26	0,39	0,29	0,25	0,38
<b>Epaisseur menuiserie(m)</b>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Périmètre vitrage (m)</b>	3	1,8	5	7,6	5,6	3,85	7,7

Source : auteur 2025

## **7.2. Analyse de la consommation énergétique réelle des appartements**

L'analyse de la consommation énergétique réelle des appartements a été effectuée à partir des factures énergétiques fournies par les propriétaires. Celles qui étaient manquantes ont été réclamées auprès de la société distributrice de l'énergie Sonelgaz.

Dans le cadre de cette étude, une analyse de la consommation énergétique a été envisagée pour la période allant de 2018 à 2024. Toutefois, plusieurs contraintes ont limité l'exploitation complète des données disponibles.

En effet, pour l'année 2024, les factures de l'appartement 2 ne permettent pas de connaître la consommation réelle de gaz. Cette lacune est due à une défaillance dans la relève des compteurs, notamment celui du gaz situé au dernier étage, dont la lecture est rarement effectuée par les agents. Ces derniers se contentent généralement de relever uniquement le compteur d'électricité, accessible au rez-de-chaussée. La consommation de gaz a été relevée et facturée séparément sur une période unique d'une année.

Par ailleurs, les données relatives aux années 2018 et 2019 n'ont pas pu être récupérées en raison de la réorganisation administrative survenue durant cette période. La création d'une nouvelle direction de distribution de l'énergie au niveau de la nouvelle ville a entraîné une rupture dans l'archivage des factures, rendant ces années indisponibles pour l'analyse.

### **7.2.1. La consommation d'énergie totale**

La figure 7.3 illustre la répartition de la consommation énergétique des deux appartements par source d'énergie. Cette répartition a été établie sur la base d'une consommation moyenne sur la période 2020 - 2023.

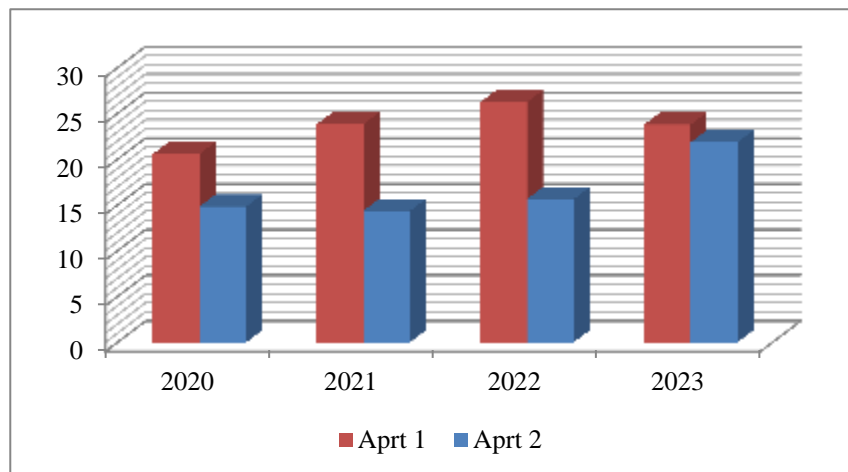


**Figure 7.3 : Répartition de la consommation énergétique par source**

Source : auteur sur la base des factures énergétiques des appartements (SONELGAZ, 2025)

La figure montre clairement que le gaz naturel est la source d'énergie prédominante dans les deux appartements. Cette prédominance est encore plus marquée pour l'appartement 2, qui atteint près de 94% de la consommation totale. Cette situation est principalement due au chauffage, à la cuisson et à la production d'eau chaude sanitaire qui sont alimentés au gaz. L'électricité reste minoritaire, utilisée pour l'éclairage et les appareils électroménagers.

L'évolution de la consommation d'énergie des deux appartements, cas d'étude apt 1 et apt 2, durant la période 2020 – 2023, est illustrée dans la figure 7.4.



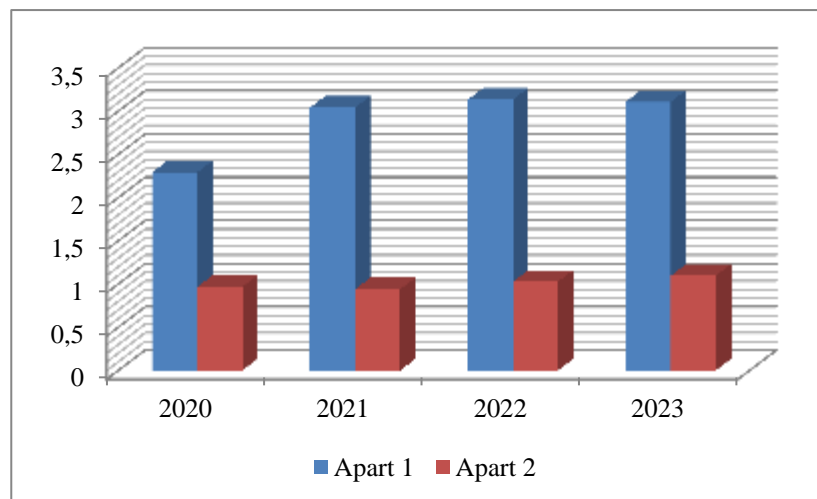
**Figure 7.4 : Evolution de la consommation totale d'énergie (en MWh) des deux appartements (2020-2024)**

Source : auteur sur la base des factures énergétiques des appartements (Sonelgaz, 2025)

On remarque que les profils de consommation sont très différents dans ces deux appartements. L'appartement 1 est le plus énergivore en consommation totale sur presque toute la période, et de manière très significative par m<sup>2</sup> et par personne. Sa croissance est modérée (TCAM de 4,95%), mais son niveau de base est alarmant pour sa taille et son occupation. L'appartement 2 affiche une hausse significative en 2023 après une évolution stable entre 2020 et 2022. Son TCAM est très élevé (13,80%), principalement due à une explosion de sa consommation en 2023. Cette année-là, sa consommation rejoint presque celle de l'aprt1. Cette analyse nous a conduits à investiguer sur l'efficacité énergétique des appartements et le comportement des usagers.

### 7.2.2. La consommation d'électricité

L'évolution de la consommation d'électricité des deux appartements durant la période 2020-2023 est présentée sur la figure 7.5.



**Figure 7.5 : Evolution de la consommation d'électricité (en MWh) des deux appartements (2020-2024)**

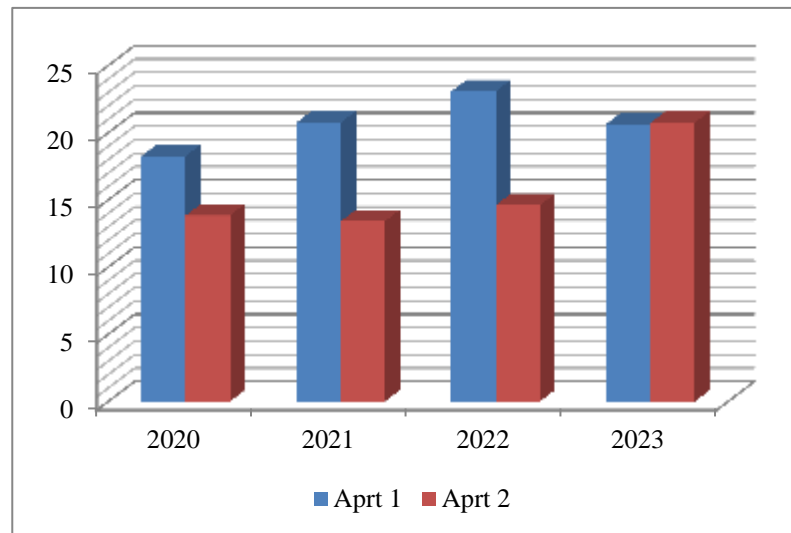
Source : auteur sur la base des factures énergétiques des appartements (Sonelgaz, 2025)

La consommation d'électricité de l'aprt1 a connu un bond significatif en 2021, puis s'est stabilisée à un niveau élevé les deux années suivantes (TCAM de 10,67%). La consommation d'électricité de l'aprt2 est restée très basse et stable en 2020-2021, puis a connu une croissance modérée mais constante en 2022 – 2023. Le TCAM modéré de 4,27% reflète une augmentation progressive sur ces dernières années à partir d'une base faible.

Bien que l'électricité ne représente qu'environ 12% et 6% de l'énergie totale des appartements 1 et 2 respectivement, cette consommation minoritaire par rapport au gaz, contribue notablement à la facture d'énergie et aux émissions de GES.

### 7.2.3. La consommation du gaz

La figure 7.6 présente l'évolution de la consommation de gaz (en MWh) pour les deux appartements sur la période 2020 -2023.



**Figure 7.6 : Evolution de la consommation de gaz (en MWh) des deux appartements (2020-2024)**

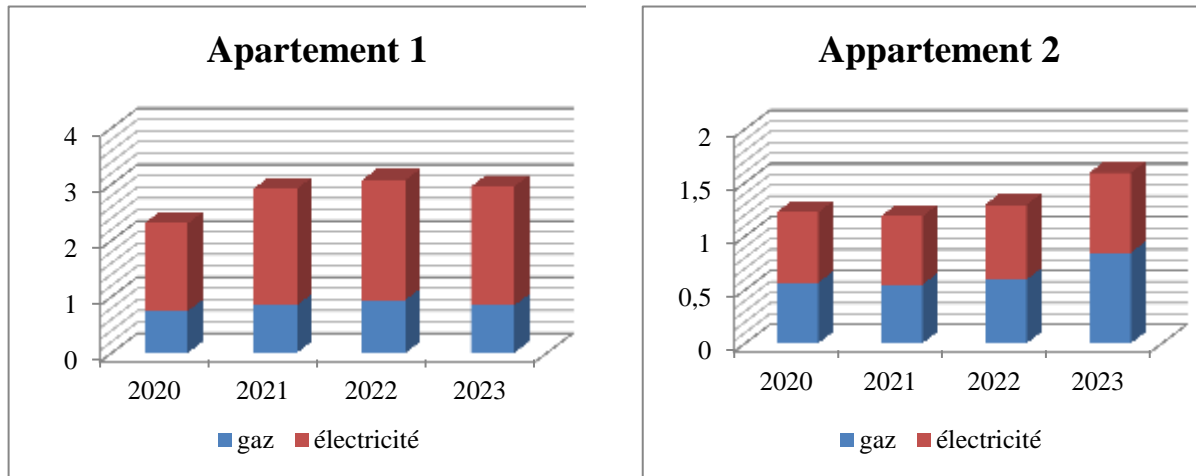
Source : auteur sur la base des factures énergétiques des appartements (Sonelgaz, 2025)

L'analyse spécifique de la consommation de gaz confirme et précise les tendances observées dans la consommation d'énergie totale. La consommation de gaz de l'Aprt 1 a augmenté significativement entre 2020 et 2022, avant de connaître une baisse notable en 2023. Cette baisse pourrait indiquer le comportement des usagers qui tend vers la sobriété. L'appartement 2 a vu son consommation de gaz exploser en 2023, ce qui a entraîné un TCAM gaz très élevé sur la période (14,4%).

Etant donné que le gaz est la principale source d'énergie pour les deux logements (surtout pour le chauffage et l'eau chaude), les efforts d'amélioration de l'efficacité énergétique devront impérativement cibler les deux usages du gaz.

#### 7.2.4. Emissions de gaz à effet de serre dues à la consommation d'énergie dans les deux appartements

L'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation énergétique est illustrée dans la figure 7.7.



**Figure 7.7 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> (en TCO<sub>2</sub>/kWh) des deux appartements (2020-2024)**

Source : auteur 2025

Pour l'appartement 1, l'électricité représente la source la plus émettrice de CO<sub>2</sub>, avec des émissions 2 à 3 fois supérieure à celle du gaz. Les émissions dues aux gaz augmentent modérément, ce qui peut traduire une hausse progressive des besoins en chauffage ou une moindre efficacité énergétique. L'augmentation notable des émissions électriques (+10,67% par an) est préoccupante, suggère une croissance rapide de la consommation électrique.

Concernant l'appartement 2, les émissions de CO<sub>2</sub> dues à l'électricité restent relativement stables entre 2020 et 2022, puis connaissent une augmentation significative en 2023. Le TCAM modéré de 4,27 %, indiquant une quasi-stagnation des émissions de gaz sur la période, avant la hausse de 2023. Le gaz devient la principale source en 2023, avec une hausse très marquée en fin de période, ce qui peut refléter un changement d'usage ou une dégradation de la performance thermique.

Les émissions de CO<sub>2</sub> de l'aprt 2 restent globalement plus faibles que dans l'aprt 1, ce qui pourrait être liée à une meilleure efficacité énergétique.

### **7.3. Estimation de la consommation théorique par usage**

L'estimation de la consommation d'énergie par usage (chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation, appareils électriques, etc) permet d'avoir une vision fine de la répartition énergétique du logement, ce qui est essentiel pour identifier les leviers d'optimisation.

#### **7.3.1. Chauffage**

Le système de chauffage utilisé dans les deux appartements est un chauffage individuel à gaz naturel, de type convectif, dont le fonctionnement est continu (veilleuse permanente) pendant toute la période de chauffe, qui s'étend de la fin du mois de novembre jusqu'à la mi-mars, soit environ 135 jours par an. Toutefois, le radiateur n'atteint sa pleine puissance que pendant 10 heures par jour pour l'aprt 1 et 8 heures par jour pour l'aprt 2, correspondant aux plages horaires d'occupation effective des logements. Le tableau (7.7) présente la puissance consommée pour assurer le chauffage de chaque appartement.

Les déperditions par renouvellement d'air, ont une influence directe sur la consommation en chauffage. Le détail de calcul de ces déperditions est présenté en Annexe F.

**Tableau 7.7 : Estimation de la consommation annuelle du chauffage**

<b>Appartement</b>	<b>Puissance thermique (kW)</b>	<b>Déperdition due à la ventilation (kW)</b>	<b>Consommation journalière (kWh/jour)</b>	<b>Durée d'utilisation</b>	<b>Consommation annuelle du chauffage (kWh/an)</b>
Appt 1	8	1,365	93,65	~ 135 jours	12642
Appt 2	8,5	1,625	81	~ 135 jours	10935

Source : auteur sur la base des étiquettes signalétiques des radiateurs + entretien avec les occupants

#### **7.3.2. Autres usages thermiques**

En plus de la consommation de gaz pour le chauffage, les deux appartements utilisent également le gaz naturel pour la production de l'eau chaude sanitaire et pour la cuisson.

##### **7.3.2.1. Production eau chaude**

Le tableau 7.8 permet d'estimer les besoins d'énergie pour l'eau chaude sanitaire en fonction de nombre d'occupants :

**Tableau 7.8 : Consommation d'eau chaude et besoins utiles d'énergie**

Nombre de personnes	Évier + lavabo + douche		Évier + lavabo + petite baignoire		Évier + lavabo + grande baignoire	
	L/j	kWh/an	L/j	kWh/an	L/j	kWh/an
1	12	650	15	850	20	1100
3	30	1700	30	2200	50	2800
5	50	2800	50	3300	70	4000

Source : (Angioletti & Despretz, 2004)

Les besoins en énergie pour la production de l'eau chaude sanitaire ont été obtenus par interpolation à partir du tableau 7.8. Ainsi, pour l'appartement 1 de deux personnes, les besoins sont estimés à **1075 kWh/an**, tandis que pour 6 personnes (l'appartement 2), ils s'élèvent à **3350 kWh/an**.

### 7.3.2.2. La cuisson

Les hypothèses d'utilisation des équipements de cuisson, établies à partir des entretiens menés avec les propriétaires des appartements sont les suivantes :

- Pour l'appartement 1, deux brûleurs, l'un rapide et l'autre semi-rapide, sont utilisés simultanément pendant une durée moyenne de trois heures par jour, tandis que le four est très peu sollicité, avec une fréquence estimée à une utilisation d'environ une heure par mois.
- Pour l'appartement 2, deux brûleurs fonctionnent simultanément pendant environ 3 heures par jour (un brûleur rapide et un semi-rapide). Par ailleurs, le four est utilisé de manière régulière, à raison de trois fois par semaine pour une durée moyenne d'une heure par utilisation.

Le tableau 7.9 récapitule les hypothèses ainsi que les puissances consommées annuellement pour la cuisson des deux logements :

**Tableau 7.9 : Estimation de la consommation annuelle d'énergie pour la cuisson**

Equipement		Apt 1		Apt 2	
<b>Brûleurs</b>	<b>brûleurs utilisés</b>	<b>Rapide</b>	<b>Semi-rapide</b>	<b>Rapide</b>	<b>Semi-rapide</b>
	<b>Puissance brûleur</b>	2,8 kW	1,75 kW	3 kW	1,75 kW
	<b>Durée d'utilisation</b>	3 h/j		3 h/j	
	<b>Consommation journalière</b>	2,8 + 1,75 = 4,55 kW 4,55 kW × 3 h/j = 13,65 kWh/j		3 + 1,75 = 4,75 kW 4,75 kW × 3 h/j = 14,25 kWh/j	
	<b>Consommation annuelle</b>	13,65 × 365 = 4982,25 kWh/an		14,25 × 365 = 5201,25 kWh/an	
<b>Four</b>	<b>Puissance</b>	2 kW		2 kW	
	<b>Durée d'utilisation</b>	1 h/mois		3 h/semaine	
	<b>Consommation annuelle</b>	2 × 1 × 12 = 24 kWh/an		2 × 3 × 52 semaines = 312 kWh/an	
<b>Consommation annuelle totale</b>		4982 + 24 = 5006 kWh/an		5201 + 312 = 5513 kWh/an	

Source : auteur sur la base des fiches techniques des cuisinières + entretien avec les occupants

### 7.3.3. Climatisation

Les logements sont équipés d'un seul climatiseur d'une puissance de 12000 BTU/h, utilisé pendant une période de 90 jours pour l'apt 1 et de 70 jours pour l'apt 2. Le tableau 7.10 résume la consommation annuelle d'énergie dédiée à la climatisation.

**Tableau 7.10 : Estimation de la consommation annuelle de la climatisation**

	<b>Puissance absorbée en mode froid (kW)</b>	<b>Utilisation journalière (heure)</b>	<b>Consommation journalière (kWh/j)</b>	<b>Durée d'utilisation (jours)</b>	<b>Consommation annuelle (kWh/an)</b>
<b>Apt 1</b>	1,256	16	20,096	~90	1808,64
<b>Apt 2</b>	1,055	10	10,55	~70	738,5

Source : auteur sur la base des étiquettes signalétiques des climatiseurs + entretien avec les occupants

### 7.3.4. Eclairage

La puissance d'une ampoule est calculée selon la formule (1) suivante (Cadiergues, s. d.):

$$\text{Puissance totale (kWh)} = \text{Puissance (kW)} \times \text{Temps d'utilisation (heures)} \quad (1)$$

On applique le facteur de simultan  t  , qui tient compte du fait que toutes les lampes ne sont pas allumées en même temps. Il est estimé à 0,6 pour l'Aprt1 et 0,8 pour l'Aprt2, signifiant que respectivement 60% et 80% des lampes peuvent fonctionner simultanément. Ces valeurs ont été estimées à partir des réponses recueillies lors de discussions avec les propriétaires.

Les deux appartements étudiés sont équipés de lampe à LED. Le tableau 7.11 récapitule le nombre de lampes, leur puissance unitaire, ainsi que la puissance totale pour chaque appartement :

**Tableau 7.11 : Estimation de la consommation annuelle d'énergie liée à l'éclairage**

	<b>Aprt 1</b>	<b>Aprt 2</b>
<b>Nombre de luminaires</b>	9	7
<b>Nombre de lampes</b>	$4 \times 3 + 5 \times 1 = 17$	7
<b>Puissance (W)</b>	$5 \times 12 + 5 \times 7 = 95$	$7 \times 15 = 105$
<b>Utilisation journalière (h/j)</b>	3 h/j en été – 4 h/j en hiver	5 h/j en été – 6 h/j en hiver
<b>Consommation annuelle (kWh)</b>	$0,095 \text{ kW} \times 3,5\text{h/j} \times 365 \text{ jours}$ $= 121,36$	$0,105 \text{ kW} \times 5,5 \text{ h/j} \times 365$ $\text{jours} = 210,79$
<b>Facteur de simultan��t��*</b>	0,6	0,8
<b>Consommation annuelle de l'éclairage (kWh/an)</b>	$121,36 \times 0,6 = 72,816$	$210,79 \times 0,8 = 168,63$

Source : auteur sur la base des informations recueillies lors des entretiens avec les occupants

### 7.3.5. Autres équipements   lectrom  nagers

Outre l'éclairage, les logements étudiés consomment également de l'énergie à travers divers équipements   lectrom  nagers. Le tableau 7.12 présente un récapitulatif de ces équipements, de leur durée de fonctionnement ainsi que de leur consommation énergétique annuelle (tableau 7.12).

**Tableau 7.12 : Estimation de la consommation énergétique des équipements  
électroménagers**

		Machine à laver	Réfrigérateur	TV LCD 17 pouces	Décodeur	Modem ADSL	Fer à repasser
<b>Appt 1</b>	Puissance (W)	1200	150	40	30	9	900
	Durée d'utilisation (heures/an)	182	8760	1825	1825	2920	5
	Facteur d'utilisation moyen (%)*		50				
	Consommation annuelle (kWh/an)	218	657	70	55	26	4,5
	Consommation annuelle totale (kWh/an)			1030			
<b>Appt 2</b>	Puissance (W)	1200	150	40	30	9	900
	Durée d'utilisation (heures/an)	182	8760	1277	1277	2920	8
	Facteur d'utilisation moyen (%)*		50				
	Consommation annuelle (kWh/an)	218	657	51	38	26	7
	Consommation annuelle totale (kWh/an)			997			

Source : auteur sur la base des informations recueillies lors des entretiens avec les occupants

\* Le facteur d'utilisation s'applique aux équipements qui fonctionnent en continu, mais pas à pleine puissance en permanence. Pour un réfrigérateur, ce facteur varie entre 0,3 et 0,8. Dans le cadre de nos calculs, une valeur moyenne de 0,5 a été retenue.

### **7.3.6 Calcul de la consommation théorique des appartements**

La consommation théorique annuelle d'énergie des appartements étudiés est obtenue par la somme des consommations estimées pour chaque usage spécifique. Le tableau 7.13 présente le résultat de cette addition, qui permet de reconstituer une valeur de référence de la consommation énergétique théorique annuelle pour chaque logement.

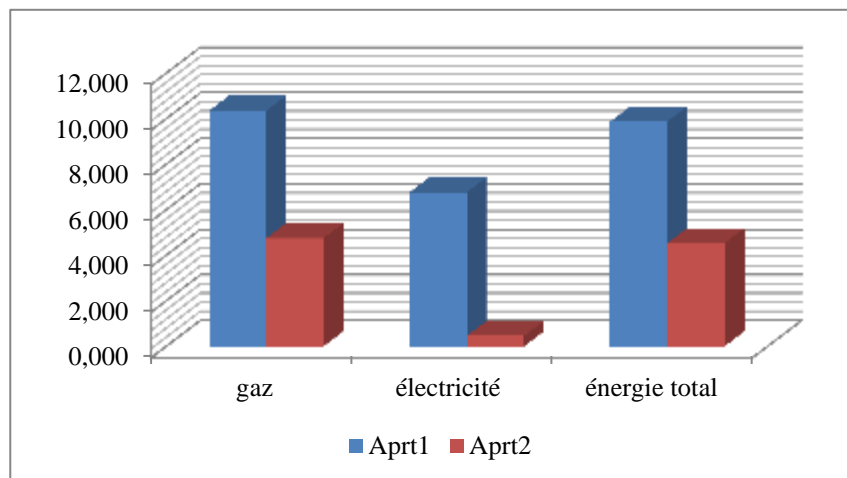
**Tableau 7.13 : Consommation théorique annuelle (MWh/an)**

	Gaz	Electricité	Totale
<b>Aprt 1</b>	18,72	2,9	21,62
<b>Aprt 2</b>	19,8	1,9	21,7

Source : auteur 2025

### 7.3.7. Comparaison des consommations réelles et modélisées

Les écarts entre les consommations réelles et théoriques pour chaque type d'énergie (gaz, électricité, énergie totale) sont illustrés dans la figure 7.8.



**Figure 7.8 : Ecarts relatifs entre consommations réelles et théoriques par type d'énergie (en %)**

Source : auteur 2025

La figure montre que l'écart relatif entre le modèle théorique et la consommation réelle est positif pour les deux appartements et pour tous les types d'énergie. Cela signifie que les deux logements consomment significativement plus que ce que le modèle théorique prévoyait. L'appartement 1 est plus problématique, son écart de consommation d'énergie totale avoisine les 10%, un chiffre principalement influencé par un important décalage de 1% sur la consommation de gaz. La même tendance est observable pour l'appartement 2, bien que

l'écart y soit moins prononcé, s'établissant aux alentours des 5 % alors pour la consommation d'énergie totale et celle de gaz.

Etant donné que le comportement des occupants a été jugé non excessif, ces écarts peuvent être attribués à une faible efficacité énergétique des logements qui engendre une surconsommation pour atteindre un confort thermique minimal, notamment en période de chauffage.

En ce qui concerne l'électricité, les écarts observés sont très faibles pour l'apt 2, ce qui indique une forte cohérence entre les consommations estimées et les usages réels. Cette faible différence valide les hypothèses retenues lors de l'inventaire des équipements et de l'analyse des habitudes d'utilisation, et indique une gestion énergétique stable et prévisible de la part des occupants.

#### **7.4. Calcul global des déperditions et des apports thermiques**

Afin d'identifier les causes des écarts constatés entre la consommation théorique et réelle, une étude thermique des deux logements s'avère nécessaire.

##### **7.4.1. Présentation de l'application CT BAT**

L'application CT BAT a été conçue pour simplifier la vérification de la conformité thermique des bâtiments aux normes algériennes établies dans les DTR C3-2 et C3-4. Son interface intuitive permet aux utilisateurs de saisir facilement les caractéristiques de leur projet de construction. L'application se charge ensuite d'effectuer les calculs thermiques complexes, déchargeant ainsi l'utilisateur de bien renseigner les informations relatives de cette tâche laborieuse. Il suffit à l'utilisateur de bien renseigner correctement les informations relatives à son projet en suivant la structure de données proposée par CT BAT (APRUE & GIZ, 2014) .

Le schéma ci-dessous met en évidence l'organisation simple et fondamentale des données dans l'application CT BAT (figure 7.9).

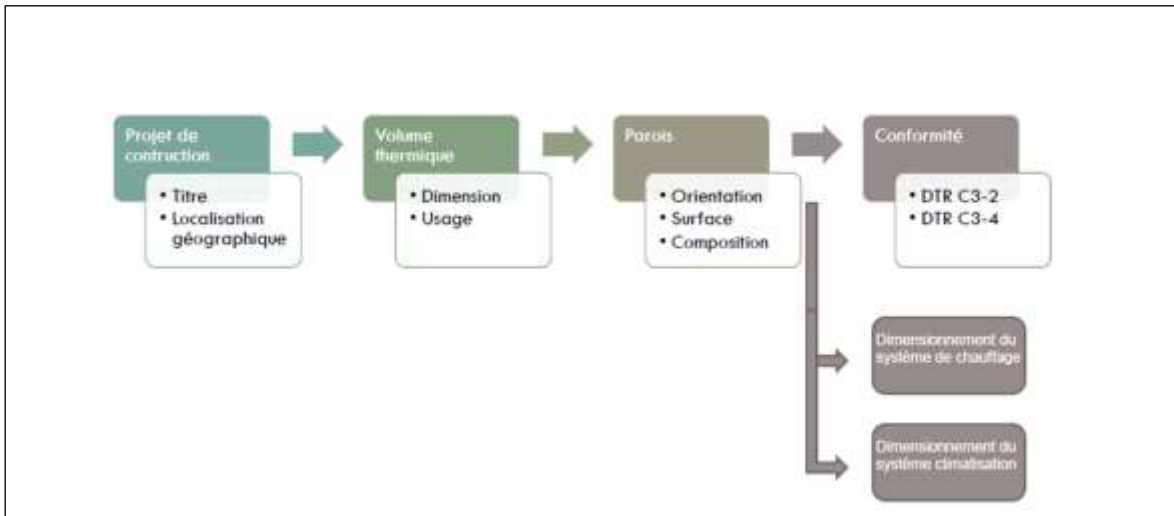
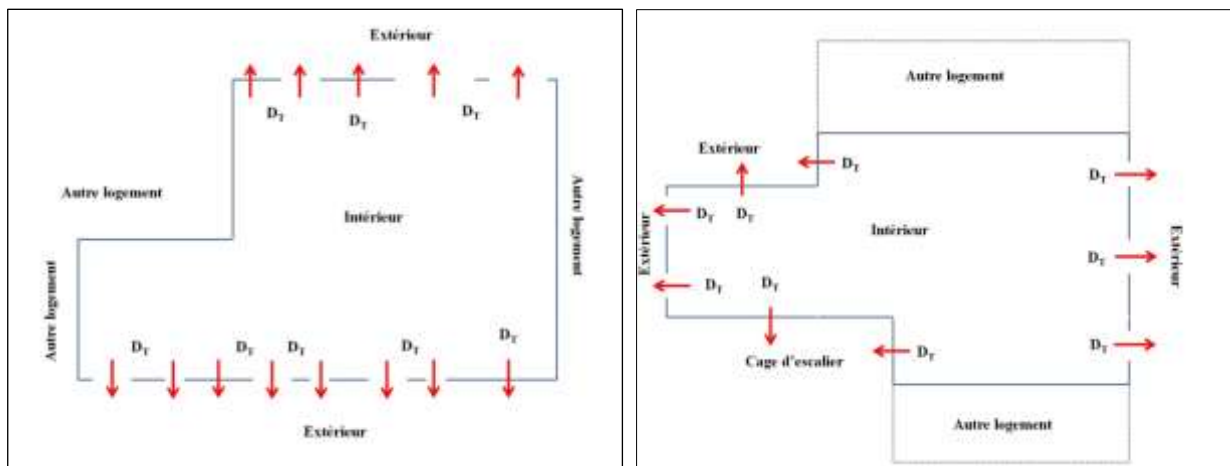


Figure 7.9 : Structuration de CT BAT

Source : APRUE

#### 7.4.2. Surfaces d'échange thermique dans les logements collectifs

Dans les logements situés en immeuble collectif, seules les parois (verticales ou horizontales) en contact direct avec l'extérieur ou avec le sol sont prises en compte comme surfaces de déperdition ou d'apport thermique. Les murs et planchers séparant des logements chauffés entre eux ne sont pas inclus dans le calcul. Les surfaces d'échange thermique des deux appartements, cas d'étude, sont représentées dans les figures 7.10 et 7.11.

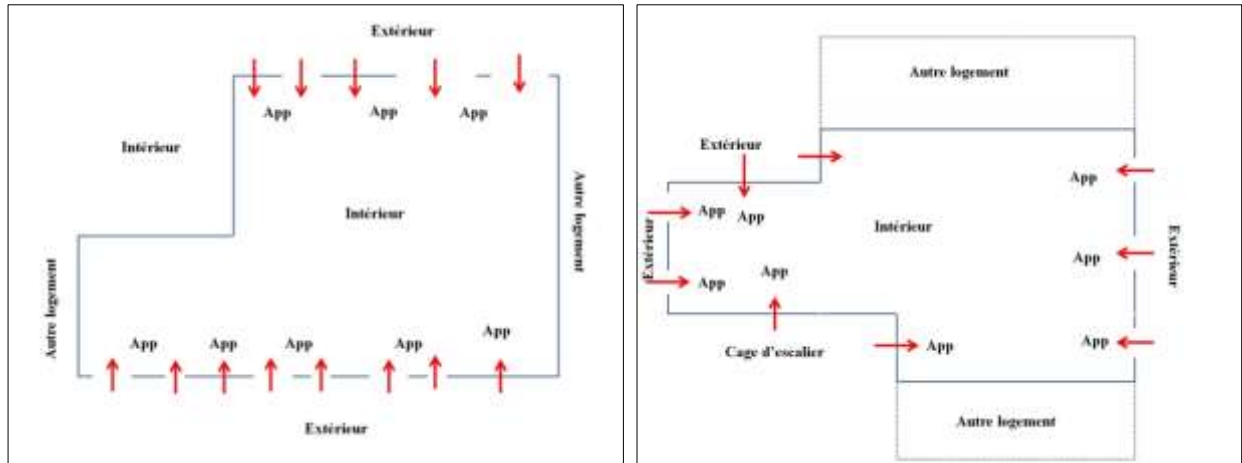


a. Apt 1

b. Apt 2

Figure 7.10 : déperditions par transmission à travers les parois opaques et les vitrages

Source : auteur 2025



a. Aprt 1

b. Aprt 2

Figure 6.11 : Apports par les parois opaques et les vitrages

Source : auteur 2025

### 7.4.3. Etat des enveloppes et calcul de coefficients de transmission thermique

L'évaluation de la performance thermique d'un local passe impérativement par le calcul de coefficient de transmission thermique de chaque paroi qui les compose (K, en W/m<sup>2</sup>.°C). Ce coefficient est calculé à l'aide de la formule (2) (Morini & Calabrese, 2021), qui additionne les résistances thermiques des matériaux composant la paroi (tableau 6.14) et les résistances d'échange thermiques en surface intérieure et extérieure (h<sub>i</sub> et h<sub>e</sub>) (CNERIB, 2017). La méthode reste la même pour les saisons hivernales et estivales, à la différence que les valeurs des résistances d'échange en surface varient selon la saison considérée.

$$\frac{1}{K} = \sum R + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{°C}] \quad (2)$$

Où:

$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$  (en W/m<sup>2</sup>.°C) : est la somme des résistances thermiques superficielles (Annexe D)

$\sum R$  : est la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi plus la somme des résistances des lames d'air.

$$\sum R = \sum \frac{e}{\lambda} + \sum R_a + \sum R_u \quad (3) \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{°C}]$$

Où:

- $\sum \frac{e}{\lambda}$  : représente la somme des résistances des portions de parois constituées de tranches de matériaux homogènes d'épaisseur élémentaire e (en m) et de conductivité thermique  $\lambda$  (en W/m.°C).
- $\Sigma R_a$  : représente la somme des résistances des lames d'air.
- $\Sigma R_u$  : représente la somme des résistances des portions de parois constituées de tranches de matériaux hétérogènes.

#### 7.4.3.1. Les coefficients K de la porte et des parois vitrées

La composition et les résultats des calculs des coefficients de transfert thermique K des différents murs opaques (parois et toitures) des appartements étudiés sont synthétisés dans les tableaux 7.14 et 7.15.

**Tableau 7.14 : Composition et coefficients K des toitures**

	Matériaux (de l'extérieur vers l'intérieur)	Msup (kg/m <sup>2</sup> )	Conductivité $\lambda$ (W/m°C)	Epaisseur (m)	Résistance R (m <sup>2</sup> C/W)
<b>Aprt 1</b>	Etanchéité en feutres bituminés	4	0,23	0,004	0,0174
	Béton plein	440	1,75	0,2	0,1143
	Lame d'air pout toiture de 55 à 300 mm	0	0	0,1	0,14
	Béton plein	440	1,75	0,2	0,1146
	Plâtre courant d'ensuit intérieur	18,75	0,35	0,025	0,0714
	<b>Total</b>	<b>903</b>		<b>0,53</b>	<b>0,4574</b>
<b>Coefficient de transmission thermique : <math>K_{hiver} = 1,67</math> W/m<sup>2</sup>°C      <math>K_{été} = 1,52</math> W/m<sup>2</sup>°C</b>					
<b>Aprt 2</b>	Sable +gravillon	36	1,2	0,02	0,0167
	Mortier de ciment	88	1,4	0,04	0,0286
	Béton plein	440	1,75	0,20	0,1143
	Lame d'air pout toiture de 55 à 300 mm	0	0	0,1	0,14
	Béton plein	440	1,75	0,20	0,1143
	Plâtre courant d'ensuit intérieur	15	0,35	0,02	0,0571
<b>Total</b>	<b>689</b>		<b>0,43</b>	<b>0,3852</b>	
<b>Coefficient de transmission thermique : <math>K_{hiver} = 1,90</math> W/m<sup>2</sup>°C      <math>K_{été} = 1,70</math> W/m<sup>2</sup>°C</b>					

Source : auteur + application CT BAT

**Tableau 7.15 : Composition et coefficients K des murs opaques**

	<b>Matériaux (de l'extérieur vers l'intérieur)</b>	<b>Msup (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Conductivité λ (W/m<sup>2</sup>°C)</b>	<b>Epaisseur (m)</b>	<b>Résistance R (m<sup>2</sup>°C/W)</b>
<b>Aprt 1</b>	Mortier de ciment	55	1,4	0,025	0,0179
	Béton plein	440	1,75	0,20	0,1143
	Plâtre courant d'ensuit	18,75	0,35	0,025	0,0714
	intérieur				
	Total	514		0,25	0,2036
	<b>Coefficient de transmission thermique : <math>K_{\text{hiver}} = 2,68 \text{ W/m}^2\text{°C}</math></b>			<b><math>K_{\text{été}} = 2,91 \text{ W/m}^2\text{°C}</math></b>	
<b>Aprt 2</b>	Mortier de ciment	44	1,4	0,02	0,0143
	Brique creuse	180	0,48	0,2	0,4167
	Lame d'air pour mur de 55 à 300 mm	0	-	0,1	0,16
	Brique creuse	90	0,48	0,1	0,2083
	Plâtre courant d'ensuit	15	0,35	0,02	0,0571
	intérieur				
	Total	329		0,44	0,8564
	<b>Coefficient de transmission thermique : <math>K_{\text{hiver}} = 0,97 \text{ W/m}^2\text{°C}</math></b>			<b><math>K_{\text{été}} = 1 \text{ W/m}^2\text{°C}</math></b>	

Source : auteur + application CT BAT

#### **7.4.3.2. Les coefficients K de la porte et des parois vitrées**

Pour les portes des deux appartements, le coefficient K est fixé à 3,5 W/m<sup>2</sup>°C (valeur hivernale et estivale, issu du tableau 3.10 de p.51 du DTR) (CNERIB, 2017).

Les coefficients K des parois vitrées sont déterminés par l'application CT BAT. Les différents aspects de la vitre sont décrits dans l'onglet « composition », qui fournit des informations détaillées sur plusieurs paramètres, à savoir : la composition, les dispositifs de protection en hiver et en été, ainsi que les surfaces vitrées et ensoleillées (figure 7.10). Le tableau 7.16 résume les coefficients K des parois vitrés des deux logements.



Figure 7.10 : interface CT BAT de description des parois vitrées  
Source : application CT BAT

Tableau 7.16 : Coefficients K des parois vitrées des deux logements

Appartement	Orientation de la fenêtre	$K_{\text{hiver}}$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$K_{\text{été}}$ (W/m <sup>2</sup> °C)
Appt 1	Nord (FN1, FN2)	4,3973	4,38
	Nord (FN3)	3,92	3,90
	Sud	4,44	4,42
Appt 2	Est et Ouest	3,9216	3,9031

Source : application CT B

#### 7.4.4. Calcul hiver :

« Les besoins utiles de chauffage sont égaux aux déperditions thermiques du local : il convient donc de connaître celles-ci pour les réduire le plus possible » (Angioletti & Despretz, 2004).

Le calcul réglementaire en période hivernale se déroule en deux étapes :

1. D'abord, les pertes de chaleur par transmission à travers l'enveloppe du bâtiment sont estimées, puis comparées à des valeurs de référence, conformément à l'équation :

$$D_T \leq 1,05 \times D_{réf} \quad (4)$$

Où :

- $D_T$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions par transmission du logement,
- $D_{réf}$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions de référence

2. Ensuite, la puissance nécessaire pour le chauffage est déterminée, en tenant compte des pertes thermiques par transmission et par ventilation, selon:

$$Q_{ch} = [t_{bi} - t_{be}] \times \{[1 + \text{Max}(c_r, c_{in})] \times D_T + [(1 + c_r) \times D_R]\} \quad (5)$$

Où :

- $T_{bi}$  (en  $°C$ ) représente la température intérieure de base,
- $T_{be}$  (en  $°C$ ) représente la température extérieure de base,
- $D_T$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions par transmission du logement,
- $D_R$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions par renouvellement d'air du logement,
- $C_r$  (sans dimension) est un ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel,
- $C_{in}$  (sans dimension) représente un coefficient de surpuissance.

Le tableau 7.17 fourni une synthèse des échanges thermiques en hiver ainsi que la puissance de chauffage à installer pour les deux logements.

**Tableau 7.17 : Synthèse des échanges thermiques en hiver**

<b>Appartement</b>	<b>Enveloppe</b>	<b><math>\Sigma D_T (W/°C)</math></b>	<b><math>\Sigma D_{réf} (W/°C)</math></b>	<b><math>\Sigma D_T / \Sigma D_{réf}</math></b>	<b>Puissance de chauffage (kW)</b>
<b>Appt 1</b>	Enveloppe de base 1	279,69	137,32	2,04	7,8
<b>Appt 2</b>	Enveloppe de base 2	298,64	166,44	1,79	9,8

Source : application CT BAT

Le tableau met en évidence que les deux appartements étudiés ne sont pas conformes aux exigences de la réglementation thermique algérienne en hiver ( $\Sigma D_T / \Sigma D_{réf} \leq 1,05$ ) ce qui traduit une insuffisance en matière de performance énergétique du bâti

#### 7.4.5. Calcul été :

Le calcul réglementaire pour la période estivale comprend également deux étapes :

- Première phase : vérification de l'exigence d'été. Elle consiste à comparer les apports calorifiques (à travers les parois vitrées et opaques) relevés en de juillet à 15h en Temps Solaire Vrai (TVS), pour une température intérieure sèche de 27°C, avec les apports calorifiques de référence, selon la formule (6) ;

$$APO(15h) + AV(15h) \leq 1,05 \times A_{réf} \quad (6)$$

Où :

- APO (en W) désigne les apports calorifiques à travers les parois opaques aériennes ;
- AV (en W) désigne les apports calorifiques à travers les parois vitrées ;
- Aréf (en W) désigne les apports calorifiques de référence.
- Deuxième phase : calcul de charge de climatisation, c'est-à-dire la puissance nécessaire à la climatisation, correspondant à la somme des apports thermiques sensibles et latents (Morini & Calabrese, 2021).

Le tableau 7.18 présente une synthèse des échanges thermiques en période estivale ainsi que la puissance de climatisation à prévoir pour les deux logements.

**Tableau 7.18 : Synthèse des échanges thermiques en été**

Appartement	Enveloppe	$\Sigma APO$ Aériennes (W)	$\Sigma APO_{réf}$ (W)	$\Sigma AV$ (W)	$\Sigma AV_{réf}$ (W)	$A/A_{réf}$	Puissance de Climatisation (kW)
<b>Aprt 1</b>	Enveloppe de base 1	917,61	790,62	790,11	515,79	1,31	3,26
<b>Aprt 2</b>	Enveloppe de base 2	2 682,51	1 171,24	675,02	657,35	1,84	5,4

Source : application CT BAT

Le tableau 7.18 montre que la vérification de la conformité thermique pour la saison estivale révèle, tout comme pour l'hiver, une non-conformité des deux logements aux exigences de la réglementation thermique algérienne.

## **7.5. Amélioration de la performance énergétique des logements**

### **7.5.1. Hypothèses d'intégration du béton avec compost dans le logement et scénarios de remplacement**

Dans cette partie, nous allons explorer l'intégration du béton avec compost dans les logements cas d'étude et analyser son impact sur la réduction de la consommation d'énergie. Ce matériaux est supposé être intégrer au niveau de *la toiture*. Ce choix s'explique par des considérations à la fois techniques, pratiques et énergétiques. D'un point de vue technique, la toiture représente l'un des principaux postes de déperditions thermique dans le bâtiment, notamment en climat chaud, où le rayonnement solaire direct accentue les besoins en refroidissement.

Par ailleurs, le renforcement de la résistance thermique de la toiture (par un isolant par exemple) est généralement la solution la plus simple et la moins contraignante que sur d'autres éléments de l'enveloppe, notamment les murs ou les planchers, en particulier dans le cas d'une rénovation. Elle permet une intervention sans impacter directement les espaces intérieurs ou la structure porteuse.

De plus, la toiture offre une surface continue, homogène et facilement accessible, ce qui facilite l'application uniforme du nouveau matériau.

Quatre scénarios seront proposés (tableau 7.19) :

- Variante avec le béton CC10 :

- Scénario 1 : ajout d'une couche de 10 cm.
- Scénario 2 : ajout d'une couche de 20 cm.

- Variante avec le béton CC15 :

- Scénario 3 : ajout d'une couche de 10 cm.
- Scénario 4 : ajout d'une couche de 20 cm.

**Tableau 7.19 : Scénarios d'intégration du béton contenant du compost dans les  
logements étudiés**

scénario	Mélange du béton avec compost	Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m <sup>2</sup> .°C)
1	CC10	10	1,148
2	CC10	20	1,148
3	CC15	10	0,971
4	CC15	20	0,971

Source : (Zaidi & Bouadam, 2024)

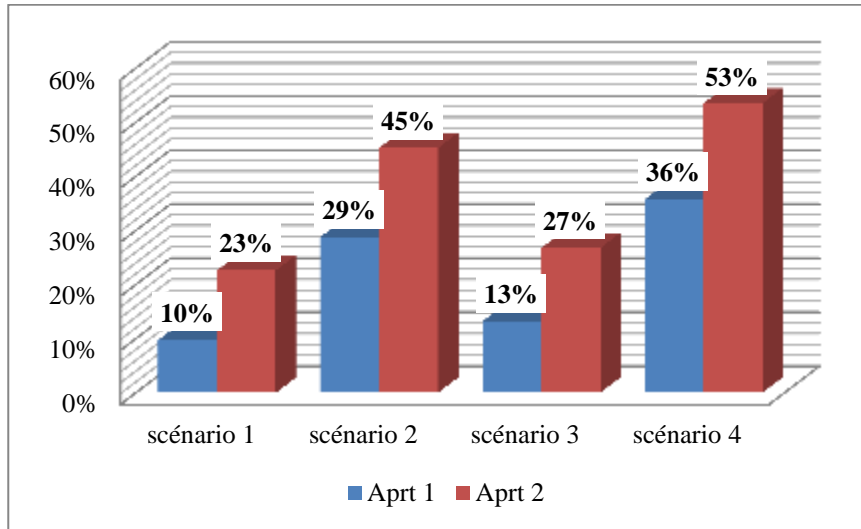
L'épaisseur maximale du béton avec compost a été limitée à 20 cm, et des épaisseurs supérieures n'ont pas été envisagées pour les raisons suivantes :

- Les contraintes architecturales importantes, rendant difficile l'augmentation de l'épaisseur au-delà de ce seuil, pourrait nécessiter le rehaussement de la toiture, ce qui peut compromettre l'intégration avec les éléments existants (étanchéités, lucarnes, pentes, etc) ;
- Le remplacement ou le renforcement de la structure porteuse.

### **7.5.2. Simulation de la performance énergétique des scénarios proposés : Analyses quantitatives des améliorations thermiques :**

#### **7.5.2.1. Evaluation de l'amélioration de la résistance thermique des toitures**

L'ajout d'une couche de béton de compost sur les toitures des deux logements, a montré une amélioration significative de la résistance thermique dans tous les scénarios testés. Les résultats sont proportionnels à la teneur en compost et à l'épaisseur ajoutée (figure 7.11).



**Figure 7.11 : Amélioration de la résistance thermique des toitures dans les quatre scénarios proposés (en %)**

Source : auteur 2025

L'un des constats les plus clairs est que doubler l'épaisseur de la couche de béton de compost améliore considérablement la résistance thermique. Pour le béton CC10, l'amélioration passe de 10 % à 29 % (aprt 1) et de 23 % à 45 % (aprt 2). Pour le béton CC15, elle passe de 13 % à 36 % (aprt 1) et de 27 % à 53 % (aprt 2).

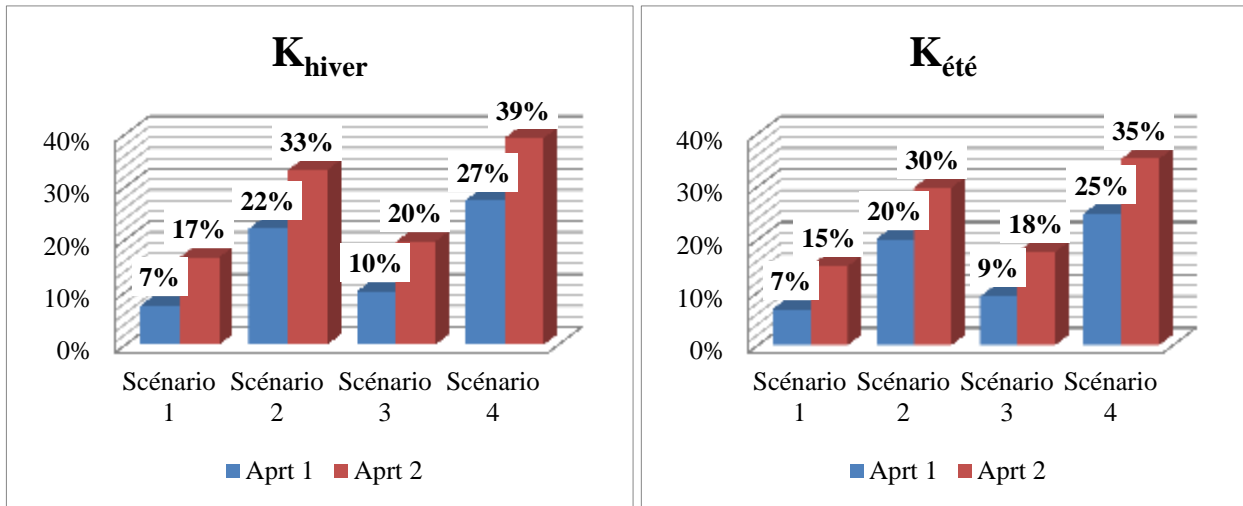
En comparant les scénarios avec la même épaisseur, on remarque que le béton CC15 offre une meilleure résistance thermique que le CC10, confirmant l'effet bénéfique d'une plus grande teneur en compost sur l'isolation thermique.

L'appartement 2 présente systématiquement de meilleures améliorations que l'appartement 1. Cette différence pourrait s'expliquer par des caractéristiques initiales de toiture différentes.

#### **7.5.2.2. Evaluation de la réduction des coefficients d'échange thermique K des toitures**

Le coefficient de transfert thermique K, représente la quantité de chaleur qui traverse une paroi par unité de temps, de surface et de différence de température. Plus le coefficient K est faible, plus la paroi est isolante. Une baisse de K signifie donc une amélioration directe de l'isolation (Green & Maloney, 1997). Ces résultats correspondent parfaitement à l'analyse précédente de la résistance thermique (R), où  $R = 1/K$ . Une augmentation de R entraîne

automatiquement une diminution de K.



**Figure 7.12 : réduction des coefficients d'échange K selon les scénarios proposés (en %)**

Source : auteur 2025

Les tendances générales observées précédemment en matière d'épaisseur, de type de béton, logements ont été confirmées (figure 7.12) :

**Effet de l'épaisseur** : le passage de 10 cm à 20 cm entraîne une diminution du coefficient K de plus du double. Par exemple, pour le logement 2 en hiver, il passe de 17 % (scénario 1) à 33 % (scénario 2), ce qui confirme l'effet non linéaire très bénéfique de l'épaisseur.

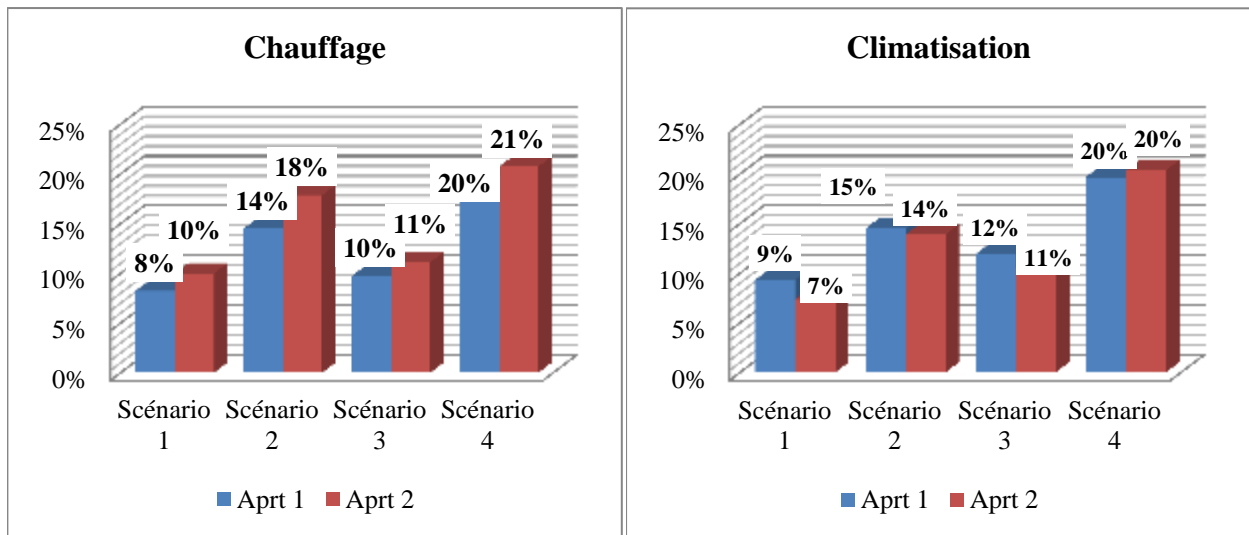
**Effet du type de béton** : le béton CC15 reste supérieur au CC10 dans toutes les configurations. Par exemple, pour le logement 1 en hiver avec 20 cm, le CC15 (27 %) réduit le coefficient K de 5 points de plus que le CC10 (22 %).

**Différence entre les logements** : l'appartement 2 bénéficie d'une réduction K beaucoup plus importante que l'appartement 1. Cela renforce l'hypothèse selon laquelle le toit l'aprt 1 était initialement beaucoup moins efficace (K initial plus élevé).

### 7.5.2.3. Evaluation de la réduction des Puissances de chauffage et de climatisation à installer

Les réductions de puissance suivent logiquement les améliorations de résistance thermique observées précédemment (figure 7.13). Une meilleure isolation réduit les besoins

énergétiques, donc la puissance d'équipements nécessaire.



**Figure 7.13 : Réduction des Puissances de chauffage et de climatisation à installer**

Source : auteur 2025

Les tendances générales se poursuivent : plus l'épaisseur du béton avec du compost est importante, plus la réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation est significative. Le scénario avec CC15 montre des gains légèrement supérieurs à ceux avec CC 10 (pour la même épaisseur). L'appartement 1 bénéficie d'une réduction légèrement supérieure à celle de l'appartement 2, ce qui signifie que l'isolation de base est moins efficace dans l'appartement 1.

Le scénario 4 (CC15, 20 cm) est le plus efficace, avec des réductions allant jusqu'à 20-21 % pour le chauffage et 20 % pour la climatisation.

La réduction des puissances de chauffage et de climatisation à installer, obtenue grâce à l'amélioration de l'enveloppe thermique du bâtiment, se traduit directement par une diminution de la consommation énergétique à l'échelle du logement ; cumulée à l'échelle locale puis nationale, cette optimisation contribue significativement à la maîtrise de la demande énergétique et à la transition vers une consommation plus durable.

#### **7.5.2.4 Conformité réglementaire des scénarios d'amélioration**

Bien que les scénarios d'intégration du béton avec compost permettent une réduction, certes minime mais notable, des besoins énergétiques des deux appartements étudiés, la conformité aux exigences de la réglementation thermique algérienne n'est pas systématiquement atteinte (tableau 7.20). Il convient de rappeler que la réglementation exige que, pour un logement donné, le rapport entre les déperditions par transmission et les déperditions de référence, ainsi que le rapport entre les apports thermiques et les apports de référence, doivent être inférieurs à 1,05.

**Tableau 7.20 : Vérification de la conformité DTR des enveloppes de base et de scénarios d'amélioration**

<b>Conformité</b>	<b>Appartement</b>	<b>enveloppe de base</b>	<b>Scénario 1</b>	<b>Scénario 2</b>	<b>Scénario 3</b>	<b>Scénario 4</b>
<b>hiver</b>	<b>Aprt 1</b>	2,04	1,98	1,89	1,96	1,87
	<b>Aprt 2</b>	1,79	1,65	1,54	1,63	1,5
<b>été</b>	<b>Aprt 1</b>	1,31	1,29	1,26	1,29	1,25
	<b>Aprt 2</b>	1,84	1,68	1,56	1,66	1,53

Source : auteur sur la base de CT-Bat

## Conclusion

Ce chapitre a permis d'évaluer de manière approfondie la performance énergétique de deux logements types, en mettant en évidence les leviers d'amélioration grâce à l'intégration de bétons contenant des déchets, à vocation isolante.

Dans un premier temps, une analyse rigoureuse des factures énergétiques a permis d'identifier la source d'énergie la plus sollicitée, ainsi que celle la plus émettrice de gaz à effet de serre. Le gaz s'est révélé dominante dans les deux logements. L'étude a ensuite comparé la consommation réelle à la consommation théorique estimée, calculée sur la base d'un inventaire des équipements présents et des habitudes d'usages des occupants. Cette démarche a permis de détecter les écarts significatifs, révélateurs d'une surconsommation énergétique.

Les entretiens réalisés avec les propriétaires ont exclu le comportement excessif ou inhabituel, ce qui a permis d'attribuer cette surconsommation principalement à une mauvaise isolation thermique des enveloppes.

Ensuite, une étude thermique a été conduite à l'aide de l'outil CT BAT, logiciel de simulation thermique adapté contexte réglementaire algérien. Cette analyse a confirmé que ces deux logements ne respectaient pas la réglementation thermique nationale, aussi bien en période hivernale qu'estivale.

Enfin, dans une démarche de réhabilitation énergétique durable, différents scénarios ont été simulés en intégrant des variantes de béton incorporant du compost, matériau valorisant des déchets organiques tout en présentant des propriétés isolantes. Les simulations ont démontrées une amélioration notable de la résistance thermique des toitures, et par conséquent, une réduction du coefficient d'échange thermique, accompagnée d'une baisse de puissances de chauffage et de climatisation à installer. Le scénario 4, correspondant à l'ajout de 20 cm de béton CC15, s'est avéré être le plus performant.

Ces résultats confirment que l'intégration de matériaux innovants et biosourcés à base de déchets constitue une voie prometteuse pour améliorer la performance énergétique des bâtiments, tout en s'inscrivant dans une logique de transition écologique et de gestion durable des déchets.

**CHAPITRE VIII :**  
**CONCLUSION GENERALE**

### **Conclusion**

Cette thèse trouve son origine dans un double constat préoccupant pour l'Algérie : d'une part, une surconsommation énergétique croissante dans le secteur du bâtiment, principal secteur de dépense énergétique nationale, et d'autre part, une pression de plus en plus forte sur les systèmes de gestion des déchets, submergés par des volumes en constante augmentation et une gestion inopérante. Pour relever ce défi, notre recherche a postulé qu'une solution intégrée, fondée sur les principes de l'économie circulaire, pouvait transformer ces deux problèmes en une seule même opportunité. La problématique centrale était donc d'explorer comment les déchets, et plus spécifiquement, la fraction organique, pouvaient être valorisés, non pas comme un simple exutoire, mais comme un levier actif pour l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments ? L'ambition était de démontrer la faisabilité et la pertinence d'une filière innovante, allant du déchet à la réhabilitation thermique des bâtiments, en articulant les échelles nationales, locales et expérimentales.

Notre parcours de recherche, structuré en plusieurs étapes complémentaires, a permis de construire une réponse solide à cette problématique.

L'analyse initiale a ancré la recherche dans le contexte stratégique algérien (chapitre 1 et 2). En examinant les politiques nationales (SNGID 2035 et transition énergétique 2030), nous avons confirmé la convergence des volontés politique vers la durabilité, bien que les synergies entre la gestion des déchets et l'efficacité énergétique restent encore largement à construire sur le plan opérationnel.

### **Synthèse des principaux résultats**

L'analyse croisée de la stratégie de transition énergétique et la SNGID, présentée dans le chapitre 2, met en évidence la parfaite cohérence entre l'approche qui associe efficacité énergétique et de valorisation des déchets, et les orientations stratégiques du développement durable en Algérie.

Le diagnostic énergétique et environnemental présenté dans les chapitres 3 et 4 a permis de mettre en évidence l'urgence d'agir. L'analyse des bilans énergétiques nationaux souligne la part prépondérante du secteur résidentiel dans la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, en identifiant une cause majeure : la faible performance thermique de l'enveloppe des bâtiments, qu'ils soient anciens ou récents.

La démonstration expérimentale étayé dans le chapitre 5 a prouvé qu'il est

techniquement possible de remplacer une partie de sable par du compost dans la composition du béton. Les résultats ont été convaincants : tout en préservant des propriétés mécaniques satisfaisantes, l'ajout du compost a réduit de manière significative la conductivité thermique du béton et l'a transformé en matériau à pouvoir isolant. Ce qui concrétise la transition d'un déchet polluant à une ressource à valeur ajoutée. Ainsi, dans le même chapitre, une étude de l'impact de l'intégration de composantes du compost dans les matériaux de construction, a été réalisée dans le cadre des scénarios envisagés par la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée des Déchets (SNGID 2035). Parmi ces scénarios, le scénario 4, qui repose sur un taux de compostage de 50 %, s'est révélé le plus ambitieux. Il permettrait d'éviter jusqu'à 25 % des déchets organiques destinés à l'enfouissement, tout en offrant un gisement conséquent de matière valorisable dans les matériaux de construction. Les résultats ont mis en évidence, en parallèle, une préservation notable des ressources minérales, notamment le sable.

La simulation présentée dans le chapitre 6 a permis de valider l'approche en modélisant les performances thermiques de ces nouveaux matériaux sur des cas d'études réelles à Constantine et Ali Mendjeli. Les simulations ont confirmé que l'intégration de ces bétons-compost, en particulier la variante CC15 en isolation de toiture, entraîneraient une réduction notable des besoins en chauffage et en climatisation, même si les habitations étudiées demeurent en dessous des seuils de conformité imposé par la réglementation thermique algérienne.

### **Contributions, limites et perspectives de la recherche**

En définitive, la présente thèse apporte plusieurs contributions. Sur le plan scientifique, elle propose et caractérise un éco-matériau innovant et fournit une méthodologie intégrée, de l'analyse politique à la simulation thermique. Sur le plan opérationnel, elle fournit aux acteurs du bâtiment des données concrètes sur des formulations de bétons légers et isolants, directement applicables dans des projets de réhabilitation ou de construction neuve. Sur le plan stratégique, elle matérialise le lien entre deux secteurs souvent traités séparément ; la gestion des déchets et l'énergie et ouvre la voie à la création de nouvelles filières de valorisation, essentielle à une transition vers une économie circulaire.

Notre recherche présente toutefois certaines limites. L'étude s'est concentrée sur des cas d'étude spécifiques et sur un type de déchet en particulier. La durabilité à long terme

des bétons-compost (vieillissement, cycles gel-dégel) ainsi que leur analyse de cycle de vie complète n'ont pas été approfondies.

Ces limites ouvrent la voie à de futures perspectives de recherche. Il serait pertinent d'étudier le comportement de ces matériaux sur le long terme, de réaliser une analyse économique complète pour évaluer leur compétitivité, d'élargir l'expérimentation à d'autres types de déchets et d'optimiser les processus de production du compost à une échelle industrielle. Enfin, l'extension de cette méthodologie à d'autres contextes urbains en Algérie permettrait de consolider les conclusions de cette recherche et de les généraliser.

En conclusion, cette recherche a démontré que les déchets qui s'accumulent dans nos villes ne sont pas une fatalité, mais un gisement de solutions. En les intégrant intelligemment dans les matériaux de construction, il est possible d'agir concrètement sur la performance énergétique des bâtiments, et ainsi de contribuer à bâtir un avenir plus sobre, plus durable et plus résilient pour l'Algérie.

CHAPITRE X :  
BIBLIOGRAPHIE

### Bibliographie

- Abbas, M. S., El-Shabrawi, H. M., Soliman, A. S., & Selim, M. A. (2018). Optimization of germination, callus induction, and cell suspension culture of African locust beans *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. *Journal Of Genetic Engineering And Biotechnology*, 16(1), 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.10.012>
- Abutaha, F., Razak, H. A., & Kanadasan, J. (2016). Effect of palm oil clinker (POC) aggregates on fresh and hardened properties of concrete. *Construction And Building Materials*, 112, 416-423. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.172>
- ADEME. (2007). *Guide des facteurs d'émissions -version 5.0*. <https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0059/Temis-0059657/16878.pdf>
- ADEME. (2014). *Économie circulaire : Notions : Fiche technique*. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-oct-2014.pdf>
- Agbakwuru, N. V., Obidi, N. P. O., Salihu, N. O. S., & MaryJane, N. O. C. (2024). The role of renewable energy in achieving sustainable development goals. *International Journal Of Engineering Research Updates*, 7(2), 013-027. <https://doi.org/10.53430/ijeru.2024.7.2.0046>
- Agence européenne pour l'environnement. (1999). *Waste generation and management*. Consulté le 11 mai 2025, à l'adresse [https://www.eea.europa.eu/publications/environmental\\_assessment\\_report\\_2003\\_10/ki-ev\\_chapt\\_07.pdf](https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_assessment_report_2003_10/ki-ev_chapt_07.pdf)
- Agostini, P. (s. d.). *100 fiches pratiques Chauffage : Dimensionnement, production, distribution, eau chaude sanitaire*.
- Ahmmad, R., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Sulong, N. R., Yusuf, M. O., & Rehman, M. A. (2017). Feasibility study on the use of high volume palm oil clinker waste in environmental friendly lightweight concrete. *Construction And Building Materials*, 135, 94- 103. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.098>
- AIE. (2004). *World Energy Outlook 2004*. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2004/10/world-energy-outlook-2004\\_g1gh45ac/weo-2004-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2004/10/world-energy-outlook-2004_g1gh45ac/weo-2004-en.pdf)
- AIE. (2019). *Indicateurs d'efficacité énergétique : principes fondamentaux de statistiques*. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc7b1552-b390-414f-8cad-cb5f3c8919f8/Indicateurs\\_2019\\_Principe\\_Web.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc7b1552-b390-414f-8cad-cb5f3c8919f8/Indicateurs_2019_Principe_Web.pdf)
- AIE. (2023). *Cement*. Consulté le 19 avril 2025, à l'adresse <https://www.iea.org/energy-system/industry/cement>

- AIE. (2024). *CO2 emissions in 2023 : A new record high, but is there light at the end of the tunnel ?* <https://iea.blob.core.windows.net/assets/33e2badc-b839-4c18-84ce-f6387b3c008f/CO2Emissionsin2023.pdf>
- Ainomugisha, S., Kibwami, N., Racheal, W., Adubango, E. N., Moses, M., & Manga, M. (2024). Effect of sugarcane bagasse ash on eco-friendly blended cement production : physicochemical, mechanical, and microstructure properties. *Case Studies In Construction Materials*, e04141. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04141>
- Aitcin, P., & Mindess, S. (2011). Sustainability of concrete. Dans *Routledge eBooks*. <https://doi.org/10.4324/9780203856635>
- Akacem, K. (2004). Economic reforms in Algeria : an overview and assessment. *The Journal Of North African Studies*, 9(2), 115-125. <https://doi.org/10.1080/1362938042000323383>
- Akinyele, J., Igba, U., & Adigun, B. (2020). Effect of waste PET on the structural properties of burnt bricks. *Scientific African*, 7, e00301. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00301>
- Alighiri, D., Yasin, M. N., Rohmawati, B., & Drastisianti, A. (2019). Processing of recycled waste PET (polyethylene terephthalate) plastics bottle into for the lightweight and reinforcement bricks. *Journal Of Physics Conference Series*, 1321(2), 022023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1321/2/022023>
- Allison, L. E. (2016). Organic carbon. Dans *Agronomy* (p. 1367-1378). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c39>
- Alyamaç, K. E., & Aydin, A. B. (2015). Concrete properties containing fine aggregate marble powder. *KSCE Journal Of Civil Engineering*, 19(7), 2208-2216. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0327-y>
- Amini, M. H. M., Hashim, R., Sulaiman, N., Hizirolu, S., Sulaiman, O., Mohamed, M., & Rasat, M. S. M. (2015). Glutardialdehyde Modified corn starch – urea formaldehyde resin as a binder for particleboard making. *Applied Mechanics And Materials*, 754-755, 89-93. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.754-755.89>
- AND. (s. d.). *Stratégie nationale de la gestion des déchets* [Base de données]. <https://and.dz/presentation/strategie-nationale-de-la-gestion-des-dechets/>
- AND. (2014). *Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie 2014*. <https://and.dz/site/wp-content/uploads/2016/04/etude-caracterisation-2014-1.pdf>
- AND. (2016). *Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie 2014*. <https://and.dz/site/wp-content/uploads/2016/04/etude-caracterisation-2014-1.pdf>

- AND. (2019). *Caractérisation des déchets ménagers et assimilés : Campagne nationale 2018 / 2019*. <https://and.dz/site/wp-content/uploads/caract%C3%A9risation2019.pdf>
- AND. (2020). *Rapport sur l'état de la gestion des déchets en Algérie*. <https://and.dz/site/wp-content/uploads/rapport%20DMA2.pdf>
- Angioletti, R., & Despretz, H. (2004). Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments - définitions. usages. consommations. *Techniques de L'ingénieur*. <https://doi.org/10.51257/a-v2-be9020>
- APRUE. (2006). *LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE : Chiffres clés année 2005*. <https://aprue.org.dz>
- APRUE. (2009). *Les programmes nationaux pour la maîtrise de l'énergie*. Consulté le 1 février 2021, à l'adresse <https://www.aprue.org.dz/>
- APRUE. (2013). *LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE : Chiffres clés année 2012*. <https://aprue.org.dz>
- APRUE. (2016). *LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE : Chiffres clés année 2015*. <https://aprue.org.dz>
- APRUE. (2018). *LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE : Chiffres clés année 2017*. <https://aprue.org.dz>
- APRUE. (2019). *recueil de textes législatifs et réglementaires sur la maîtrise de l'énergie*. Consulté le 5 juin 2023, à l'adresse <https://www.aprue.org.dz/>
- APRUE. (2022). *PROGRAMME DE DÉVELOPPEMENT DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE à L'HORIZON 2030* (Programme National de Maîtrise de l'Énergie). <https://www.aprue.org.dz/>
- APRUE & GIZ. (2014). *Guide pour une construction eco-énergétique en Algérie*. GIZ.
- ArikaraVelan, N., Deepak, V., Kumar, N., Muthulingam, G., Vanitha, S., Priya, P., & Sabariraj, S. (2022). Feasibility study of compost as a partial substitute for fine aggregate in concrete. *International Review Of Applied Sciences And Engineering*, 13(2), 239-245. <https://doi.org/10.1556/1848.2021.00357>
- Asadi, I., Shafigh, P., Hassan, Z. F. B. A., & Mahyuddin, N. B. (2018). Thermal conductivity of concrete – A review. *Journal Of Building Engineering*, 20, 81-93. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.07.002>
- Avnimelech, Y., Bruner, M., Ezrony, I., Sela, R., & Kochba, M. (1996). Stability indexes for Municipal Solid Waste compost. *Compost Science & Utilization*, 4(2), 13-20. <https://doi.org/10.1080/1065657x.1996.10701825>
- Aylaj, M., & Lhadi, E. K. (2008). Evaluation de la stabilité et la maturité des composts obtenus par biodégradation aérobie d'un mélange de déchets ménagers et de déchets

- de poulets. *Environnement, IngéNierie & déVeloppement*, N°50-Avril-Mai-Juin 2008. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.1467>
- Bağ, I. (2024). Sustainable Development Goals (SDGs) : Concept and measurement. Dans *Edward Elgar Publishing eBooks* (p. 15-41). <https://doi.org/10.4337/9781035323265.00009>
  - Baker, S. (2006). Sustainable development. Dans *Routledge eBooks*. <https://doi.org/10.4324/9780203495933>
  - Banovac, E., Stojkov, M., & Kozak, D. (2016). Designing a global energy policy model. *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Energy*, 170(1), 2-11. <https://doi.org/10.1680/jener.16.00005>
  - Beddiar, K., & Imbault, F. (2017). *BIM et énergétique du bâtiment*. <https://hal.science/hal-04070641>
  - Beddiar, K., & Lemale, J. (2016). *Bâtiment intelligent et efficacité énergétique - Optimisation, nouvelles technologies et BIM : Optimisation, nouvelles technologies et BIM*. Dunod.
  - Bélaïd, F., & Youssef, M. (2016). Environmental degradation, renewable and non-renewable electricity consumption, and economic growth : Assessing the evidence from Algeria. *Energy Policy*, 102, 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.012>
  - Belgacem, T. (2016). Les ressources de l'Algérie. *Outre-Terre*, N° 47(2), 152-164. <https://doi.org/10.3917/oute1.047.0152>
  - Bertucci, A. (2010). *20 maisons à économie d'énergie*. Ouest-France.
  - Bouadam, R., Zaidi, H., Soukehal, I., Makhloufi, S., & Badreddine, H. (2022). Composting as a sustainable alternative to eliminate household and similar Waste in developing countries. *Humanities & Social Sciences Reviews*, 10(6), 01-14. <https://doi.org/10.18510/hssr.2022.1061>
  - Boughebrine, M. (2020). *Le rôle du fonctionnement spatial dans la gestion urbaine : cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli* [Thèse de doctorat]. Constantine 3.
  - Bremner, J. M. (2016). Total nitrogen. Dans *Agronomy* (p. 1149-1178). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c32>
  - Breton, R. (1991). *Notre Avenir à tous, rapport de la C.M.E.D. (la Commission mondiale sur l'environnement et le développement)*. Persée. [https://www.persee.fr/doc/geo\\_0003-4010\\_1991\\_num\\_100\\_559\\_21049\\_t1\\_0363\\_0000\\_1](https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1991_num_100_559_21049_t1_0363_0000_1)
  - Cadiergues, R. (s. d.). LE CALCUL DES INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE : MémoCad mD10.a. Dans *XPair*. [https://media.xpair.com/auxidev/mD10a\\_InstEclair.pdf](https://media.xpair.com/auxidev/mD10a_InstEclair.pdf)

- Chandrappa, R., & Brown, J. (2012). *Solid waste management : Principles and Practice*. Springer.
- Chen, T., Burnett, J., & Chau, C. (2001). Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong. *Energy*, 26(4), 323-340. [https://doi.org/10.1016/s0360-5442\(01\)00006-8](https://doi.org/10.1016/s0360-5442(01)00006-8)
- Claudius, N. K., Baba, A. S., & Abubakar, A. (2023). Influence of Pulverized Animal Bone and Animal Bone Ash on the Mechanical Properties of Normal Strength Concrete using Response Surface Method. *CONSTRUCTION*, 3(1), 63-74. <https://doi.org/10.15282/construction.v3i1.9097>
- CNERIB. (2017). *Document technique réglementaire C3.2/4 : Réglementation thermique du bâtiment*.
- CNESE. (2020). *Quel modèle de transition énergétique pour l'Algérie ? enjeux et défis*. Consulté le 3 avril 2023, à l'adresse [https://www.cnese.dz/web/content?model=cnese\\_backend.post\\_doc&field=document&id=268](https://www.cnese.dz/web/content?model=cnese_backend.post_doc&field=document&id=268)
- CNESE. (2024). *ACTIVITÉS ORGANISÉES PAR LE CNESE DURANT L'ANNÉE 2024 AU TITRE DE LA SOCIÉTÉ CIVILE : RAPPORT DE SYNTHÈSE CNESE 2024*. <https://www.cnese.dz/cnese-portal/publications/autres/2024>
- CNTPP. (s. d.). *Lecture dans la loi algérienne sur la maîtrise de l'énergie*. <https://cntpp.dz/>
- Comité interministériel chargé du suivi de la mise en œuvre des ODD. (2019). *Algérie : Rapport national volontaire : Progression de la mise en œuvre des ODD*. [https://www.unicef.org/algeria/media/1191/file/Rapport%20National%20Volontaire%202019%20-%20Objectifs%20de%20D%C3%A9veloppement%20Durable%20\(ODD\).pdf](https://www.unicef.org/algeria/media/1191/file/Rapport%20National%20Volontaire%202019%20-%20Objectifs%20de%20D%C3%A9veloppement%20Durable%20(ODD).pdf)
- Crespo-López, L., Martínez-Ramirez, A., Sebastián, E., & Cultrone, G. (2023). Pomace from the wine industry as an additive in the production of traditional sustainable lightweight eco-bricks. *Applied Clay Science*, 243, 107084. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2023.107084>
- CTC. (2023). *Référentiel technique et réglementaire de la construction*. <https://ctc-dz.org/documents/retec.pdf>
- Cuthbertson, D., Berardi, U., Briens, C., & Berruti, F. (2018). Biochar from residual biomass as a concrete filler for improved thermal and acoustic properties. *Biomass And Bioenergy*, 120, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.007>
- Da Silva, E. C. M., Lira, M. A. T., Gonçalves, M. C., De Oliveira Lopes Da Silva, O. A. V., Jean, W., & Júnior, R. B. D. S. (2024). The Role of Renewable Energies in Combating Poverty in Brazil : A Systematic Review. *Sustainability*, 16(13), 5584. <https://doi.org/10.3390/su16135584>

- DALI, K. (2017). *Eco-construction et efficacité énergétique en Algérie*. [https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Praesentationen/2017/170808-iv-algerien-kamel-dali-fra.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Praesentationen/2017/170808-iv-algerien-kamel-dali-fra.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- De Crombrughe, A. (2016). *Introduction aux principes de l'économie : Choix et décisions économiques*. De Boeck Supérieur.
- Direction de l'énergie. (2024). *Raccordement au gaz et l'électricité à Constantine*.
- Direction de l'environnement. (2024). *Etat de la gestion des déchets à Constantine*.
- DJEMACI, B., & AHMED ZAÏD-CHERTOUK, M. (2011). *La gestion intégrée des déchets solides en Algérie. contraintes et limites de sa mise en oeuvre : WORKING PAPER*. CIRIEC. <https://www.ciriec.uliege.be/wp-content/uploads/2015/08/WP11-04.pdf>
- DPSB. (2020). *Monographie de Constantine 2019*.
- DPSB. (2021). *Monographie de Constantine 2020*.
- DPSB. (2023). *Monographie de Constantine 2022*.
- DPSB. (2024). *Monographie de Constantine 2023*.
- Éco-matériaux et isolation. (2012). *Techniques de L'ingénieur*. <https://doi.org/10.51257/a-v1-tba2125>
- EnerData. (2024). *World Energy Statistics*. Consulté le 5 septembre 2024, à l'adresse <https://yearbook.enerdata.net/>
- EPWG-CET de Constantine. (2024). *Présentation de EPWG-CET de Constantine*.
- Etxeberria, M., Marí, A., & Vázquez, E. G. (2007). Recycled aggregate concrete as structural material. *Materials And Structures*, 40(5), 529-541. <https://doi.org/10.1617/s11527-006-9161-5>
- EVANAM. (2023). *La ville de Ali Mendjeli*.
- Fapohunda, C., Akinbile, B., & Oyelade, A. (2018). A Review of the Properties, Structural Characteristics and Application Potentials of Concrete Containing Wood Waste as Partial Replacement of one of its Constituent Material. *YBL Journal Of Built Environment*, 6(1), 63-85. <https://doi.org/10.2478/jbe-2018-0005>
- Feidt, M. (2014). *Génie énergétique : Du dimensionnement des composants au pilotage des systèmes*. Dunod.
- Fernandez, D. B., Petit, I., & Lancini, A. (2014). L'économie circulaire : quelles mesures de la performance économique, environnementale et sociale ? *Revue Française de Gestion Industrielle*, 33(4), 23-43. <https://doi.org/10.53102/2014.33.04.791>

- Fowler, D. (1999). Polymers in concrete : a vision for the 21st century. *Cement & Concrete Composites*, 21(5-6), 449-452. [https://doi.org/10.1016/s0958-9465\(99\)00032-3](https://doi.org/10.1016/s0958-9465(99)00032-3)
- Gardner, W. A. (2015). Water content. Dans *Agronomy* (p. 82-127). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c7>
- Gaulier, M. F. & G. (2006). The Champions of GDP per Head and Those of Standard of Living. *ideas.repec.org*. <https://ideas.repec.org/a/cii/cepill/2006-260.html>
- Gaustad, G., Olivetti, E., & Kirchain, R. (2010). Design for recycling. *Journal Of Industrial Ecology*, 14(2), 286-308. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00229.x>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2016). The Circular Economy – A new sustainability paradigm ? *Journal Of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gentil, E. C., Gallo, D., & Christensen, T. H. (2011). Environmental evaluation of municipal waste prevention. *Waste Management*, 31(12), 2371-2379. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.030>
- Ghernouti, Y., Rabehi, B., Bouziani, T., Ghezraoui, H., & Makhloufi, A. (2015). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing plastic bag waste fibers (WFSCC). *Construction And Building Materials*, 82, 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.059>
- GIEC. (2006a). *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (Volume 2 énergie, chapitre 2 : combustion stationnaire)*. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf)
- GIEC. (2006b). *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (Volume 2 énergie)*. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20880391>
- Giroux, M., & Audesse, P. (2004). Comparison of two methods for the determination of organic carbon, total nitrogen and C/N ratio of different organic amendments and manures. *AGROSOL*, 15(2), 107-110. [https://irda.blob.core.windows.net/media/2174/giroux-audesse-2004\\_article\\_methodes\\_dosage\\_c\\_n\\_amend\\_org.pdf](https://irda.blob.core.windows.net/media/2174/giroux-audesse-2004_article_methodes_dosage_c_n_amend_org.pdf)
- Godwins, N. O. P., David-Olusa, N. A., Ijiga, N. A. C., Olola, N. T. M., & Abdallah, N. S. (2024). The role of renewable and cleaner energy in achieving sustainable development goals and enhancing nutritional outcomes : Addressing malnutrition, food security, and dietary quality. *World Journal Of Biology Pharmacy And Health Sciences*, 19(1), 118-141. <https://doi.org/10.30574/wjbphs.2024.19.1.0408>

- Green, D. W., & Maloney, J. O. (1997). *Perry's Chemical Engineers' handbook*. McGraw-Hill Professional Publishing.
- Habert, G., Miller, S. A., John, V. M., Provis, J. L., Favier, A., Horvath, A., & Scrivener, K. L. (2020). Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(11), 559-573. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3>
- Haddoum, S., Bennour, H., & Zaïd, T. A. (2018). Algerian Energy Policy : Perspectives, Barriers, and Missed Opportunities. *Global Challenges*, 2(8). <https://doi.org/10.1002/gch2.201700134>
- Hamada, H., Alattar, A., Yahaya, F., Muthusamy, K., & Tayeh, B. A. (2021). Mechanical properties of semi-lightweight concrete containing nano-palm oil clinker powder. *Physics And Chemistry Of The Earth Parts A/B/C*, 121, 102977. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2021.102977>
- Hansen, T. C. (1986). Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945–1985. *Matériaux et Constructions*, 19(3), 201-246. <https://doi.org/10.1007/bf02472036>
- Hendriks, C., Worrell, E., Price, L., Martin, N., Meida, L. O., De Jager, D., & Riemer, P. (1999). Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry. Dans *Elsevier eBooks* (p. 939-944). <https://doi.org/10.1016/b978-008043018-8/50150-8>
- Hoornweg, D. (2000). Composting and its applicability in developing countries. *URBAN WASTE MANAGEMENT*, 1. [https://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/HOORNWEG%20et%20al%202000%20Composting%20and%20its%20Applicability%20in%20Developing%20Countries.pdf](https://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HOORNWEG%20et%20al%202000%20Composting%20and%20its%20Applicability%20in%20Developing%20Countries.pdf)
- Hossain, K. M. A. (2003). Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. *Cement And Concrete Research*, 34(2), 283-291. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.08.004>
- Hover, K. C. (2011). The influence of water on the performance of concrete. *Construction And Building Materials*, 25(7), 3003-3013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.01.010>
- Huang, B., Li, G., Pang, S., & Eggers, J. (2004). Investigation into Waste Tire Rubber-Filled Concrete. *Journal Of Materials In Civil Engineering*, 16(3), 187-194. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2004\)16:3\(187](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2004)16:3(187)
- Ibrahim, H. A., Razak, H. A., & Abutaha, F. (2017). Strength and abrasion resistance of palm oil clinker pervious concrete under different curing method. *Construction And Building Materials*, 147, 576-587. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.072>
- Ibrahim, M. H. W., Mangi, S. A., Zuki, S. S. M., Jaya, R. P., & Supriyatno, D. (2020). INFLUENCE OF PALM OIL BIOMASS CLINKER AND EMPTY FRUIT BUNCH

FIBERS ON CONCRETE PROPERTIES. *IJUM Engineering Journal*, 21(2), 100-110. <https://doi.org/10.31436/iiumej.v21i2.1285>

- Ikechukwu, A. F., & Naghizadeh, A. (2022). Utilization of plastic waste material in masonry bricks production towards strength, durability and environmental sustainability. *Journal Of Sustainable Architecture And Civil Engineering*, 30(1), 121-141. <https://doi.org/10.5755/j01.sace.30.1.29495>
- Inckel, M., De Smet, P., Tersmette, T., & Veldkamp, T. (2005). Fabrication et utilisation du compost. *Agromisa*. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/73154>
- Ismail, Z., & Al-Hashmi, E. A. (2009). Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 29(2), 655-659. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.012>
- Jamaludin, N. F. A., Muthusamy, K., Jaafar, M. F. M., & Yahaya, F. M. (2021). Use of palm oil clinker in Concrete Research : A review. *CONSTRUCTION*, 1(1), 35-43. <https://doi.org/10.15282/construction.v1i1.6436>
- Jamshaid, H., Shah, A., Shoaib, M., & Mishra, R. K. (2024). Recycled-Textile-Waste-Based Sustainable Bricks : A mechanical, thermal, and qualitative life cycle overview. *Sustainability*, 16(10), 4036. <https://doi.org/10.3390/su16104036>
- Jani, Y., & Hogland, W. (2014). Waste glass in the production of cement and concrete – A review. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1767-1775. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.03.016>
- Jarlsby, E. (2015). The global energy challenge : still fuel for progress ? *International Journal Of Energy Production And Management*, 1(1), 33-49. <https://doi.org/10.2495/eq-v1-n1-33-49>
- Jedidi, M., & Benjeddou, O. (2016). *La thermique du bâtiment : Du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de clim*. Dunod.
- JORADP. (2025). *Loi n° 25-02 du 20 février 2025 modifiant et complétant la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets*. <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2025/F2025012.pdf>
- Kabir, S. A., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Yusoff, S., Sharmin, A., & Bashar, I. I. (2017). Performance evaluation and some durability characteristics of environmental friendly palm oil clinker based geopolymer concrete. *Journal Of Cleaner Production*, 161, 477-492. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.002>
- Kaddour, H. (2024). *L'Algérie au cœur de la transition énergétique mondiale. Portail algérien des énergies renouvelables*. <https://portail.cder.dz/2024/12/24/lalgerie-au-coeur-de-la-transition-energetique-mondiale/>
- Kadhim, Y. N., Hussain, W. A. M., & Abdulrasool, A. T. (2021). The effect of animal bone ash on the mechanical properties of asphalt concrete. *Civil Engineering Journal*, 7(10), 1741-1752. <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091757>

- Kanadasan, J., Fauzi, A., Razak, H., Selliah, P., Subramaniam, V., & Yusoff, S. (2015). Feasibility studies of palm oil mill waste aggregates for the construction industry. *Materials*, 8(9), 6508-6530. <https://doi.org/10.3390/ma8095319>
- Kanadasan, J., & Razak, H. A. (2013). Mix design for self-compacting palm oil clinker concrete based on particle packing. *Materials & Design (1980-2015)*, 56, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.10.086>
- Khan, M. (2002). Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models. *Building And Environment*, 37(6), 607-614. [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(01\)00061-0](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(01)00061-0)
- Kikuchi, R. (2001). Recycling of municipal solid waste for cement production : pilot-scale test for transforming incineration ash of solid waste into cement clinker. *Resources Conservation And Recycling*, 31(2), 137-147. [https://doi.org/10.1016/s0921-3449\(00\)00077-x](https://doi.org/10.1016/s0921-3449(00)00077-x)
- Kou, S., Lee, G., Poon, C., & Lai, W. (2008). Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. *Waste Management*, 29(2), 621-628. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.014>
- Krueger, K., Stoker, A., & Gaustad, G. (2019). “Alternative” materials in the green building and construction sector. *Smart And Sustainable Built Environment*, 8(4), 270-291. <https://doi.org/10.1108/sasbe-09-2018-0045>
- Lagacé, É. (2017). *Évaluation de l'utilisation des matières organiques résiduelles comme source d'énergie pour le secteur des transports* [Mémoire de Maîtrise en génie de l'environnement, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC]. [https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/1946/1/LAGAC%C3%89\\_%C3%89dith.pdf](https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/1946/1/LAGAC%C3%89_%C3%89dith.pdf)
- Lakehal, A. (2017). The New Town of Ali Mendjeli. A space shaped by the practices and representations of ordinary townspeople. *Les Cahiers D'EMAM*, 29. <https://doi.org/10.4000/emam.1365>
- Li, Z. (2011). *Advanced concrete technology*. <https://doi.org/10.1002/9780470950067>
- Lobovikov, M., Schoene, D., & Yping, L. (2011). Bamboo in climate change and rural livelihoods. *Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change*, 17(3), 261-276. <https://doi.org/10.1007/s11027-011-9324-8>
- Mangenda, H. H., Alexis, V. S., Dervie, N. N., Parfait, M., Lubilanji, M. M., Lunda, M., & Boniface, L. L. (2022, 25 juillet). *ANALYSE DU SYSTEME DE GESTION DES DECHARGES PIRATES ET L'IMPACT SANITAIRE ET ENVIRONNEMENTALE DANS LA COMMUNE DE KASA VUBU, VILLE DE KINSHASA EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO*. <https://hal.science/hal-03722732/>
- Maresca, B., & Dujin, A. (2014). La transition énergétique à l'épreuve du mode de vie. *Flux*, N° 96(2), 10-23. <https://doi.org/10.3917/flux.096.0010>

## CHAPITRE X : BIBLIOGRAPHIE

---

- Marzouk, O. Y., Dheilly, R., & Queneudec, M. (2007). Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste Management*, 27(2), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.012>
- MATE. (2001). *GUIDE PROGRAMME NATIONAL DE GESTION INTÉGRÉE DES DÉCHETS MÉNAGERS ET ASSIMILÉS : PROGDEM*. <https://and.dz/4708-2/>
- MATE. (2003). *PLAN NATIONAL DE GESTION DES DECHETS SPECIAUX : PNAGDES*. <https://and.dz/4708-2/>
- Mathis, P. (2014). *L'énergie, moteur du progrès ? : 120 clés pour comprendre les énergies*. Editions Quae.
- Mbuligwe, S. E., Kassenga, G., Kaseva, M., & Chaggu, E. (2002). Potential and constraints of composting domestic solid waste in developing countries : findings from a pilot study in Dar es Salaam, Tanzania. *Resources, Conservation And Recycling*, 36(1), 45-59. [https://doi.org/10.1016/s0921-3449\(02\)00009-5](https://doi.org/10.1016/s0921-3449(02)00009-5)
- ME. (s. d.-a). *Bilan énergétique national du secteur* [Base de données]. <https://www.energy.gov.dz/?article=bilan-energetique-national-du-secteur>
- ME. (s. d.-b). *Energies nouvelles, renouvelables et maitrise de l'Energie*. Consulté le 2 mars 2022, à l'adresse <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>
- ME. (2011). *Bilan Energétique national : Année 2010*. [https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan\\_energetique\\_2023\\_6763e8ed2d76d.pdf](https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan_energetique_2023_6763e8ed2d76d.pdf)
- ME. (2019). *BILAN DES REALISATIONS DU SECTEUR DE L'ENERGIE : ANNEE 2018*. [https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan-des-realisation\\_2018\\_5e11d13a6420a.pdf](https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan-des-realisation_2018_5e11d13a6420a.pdf)
- ME. (2025). *Bilan Energétique national : Année 2023*. [https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan\\_energetique\\_2023\\_6763e8ed2d76d.pdf](https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan_energetique_2023_6763e8ed2d76d.pdf)
- MEER. (2017). *Etude de la Stratégie Nationale et Plan d'action de la Gestion Intégrée et de la Valorisation des déchets à l'Horizon 2035*.
- MEER. (2019). *Plan National Climat*. <https://www.me.gov.dz/telechargement/plan-national-climat/>
- MEER. (2023). *Troisième Communication Nationale (TCN) de l'Algérie*. <https://unfccc.int/documents/636692>
- MEER. (2024). *Premier Rapport Biennal de Transparence (BTR1)*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BTR1-Alge%CC%81rie-DZ.pdf>

- Mehta, A., & Siddique, R. (2016). An overview of geopolymers derived from industrial by-products. *Construction And Building Materials*, 127, 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.136>
- Mercedes, L., Gil, L., & Bernat-Maso, E. (2018). Mechanical performance of vegetal fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) composites. *Construction And Building Materials*, 175, 161-173. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.171>
- Meukam, P., Jannot, Y., Noumowe, A., & Kofane, T. (2004). Thermo physical characteristics of economical building materials. *Construction And Building Materials*, 18(6), 437-443. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.010>
- Montgomery, D. C. (2000). *Design and analysis of experiments*. Wiley.
- Morini, M., & Calabrese, N. (2021). *Guide RTB+ : PRESENTATION A TRAVERS UN ETUDE DE CAS*. Programme Taka nadifa. [https://iris.enea.it/retrieve/handle/20.500.12079/59463/14667/20211123\\_GuideRTB\\_web.pdf](https://iris.enea.it/retrieve/handle/20.500.12079/59463/14667/20211123_GuideRTB_web.pdf)
- MREE. (2016). *Plan d'Action MCPD ALGERIE 2016 - 2030 : [Rapport SwitchMed]*. <https://switchmed.eu/wp-content/uploads/2020/03/01-SCP-Action-Plan-Algerie-fr-1.pdf>
- Munch, L. (2016). *Démarche d'efficacité énergétique*. Dunod.
- Muthulakshmi, S., Uma, S., & Hemalatha, G. (2021). Feasibility study on compost as partial replacement for fine aggregate in concrete. *Materials Today : Proceedings*, 46, 3775-3778. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.020>
- Nazari, A., & Riahi, S. (2010). Improvement compressive strength of concrete in different curing media by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. *Materials Science And Engineering A*, 528(3), 1183-1191. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.098>
- Niang, A., Bourdin, S., & Torre, A. (2020). L'économie circulaire, quels enjeux de développement pour les territoires ? *Développement Durable et Territoires*, Vol. 11, n°1. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.16902>
- NU. (2010). *Objectifs du millénaire pour le développement : Rapport 2010*. <https://www.un.org/fr/millenniumgoals/pdf/report2010.pdf>
- ONS. (2024a). *DEMOGRAPHIE ALGERIENNE 2020 à 2023*. [https://www.ons.dz/IMG/pdf/Demographie\\_Algerienne2020\\_2023.pdf](https://www.ons.dz/IMG/pdf/Demographie_Algerienne2020_2023.pdf)
- ONS. (2024b). *LES COMPTES NATIONAUX TRIMESTRIELS -4ème trimestre 2023-*. <https://www.ons.dz/IMG/pdf/CNT4T2023.pdf>
- Park, K., & Kim, M. (2017). Energy Demand Reduction in the Residential Building Sector : A Case Study of Korea. *Energies*, 10(10), 1506. <https://doi.org/10.3390/en10101506>

- Park, S. W., Lee, B. E., & Kim, J. H. (2004). Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate. *Cement And Concrete Research*, 34(12), 2181-2189. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.006>
- Pellegrino, C., Faleschini, F., & Meyer, C. (2019). Recycled materials in concrete. Dans *Elsevier eBooks* (p. 19-54). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102616-8.00002-2>
- Pellegris, A. (2020). Comment mesurer la contribution de l'énergie à la croissance économique ? *Mondes En Développement*, n° 192(4), 103-118. <https://doi.org/10.3917/med.192.0103>
- *Perspective Monde*. (s. d.-a). <https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?codeTheme=1&codeStat=SP.URB.TOTL.IN.ZS&codePays=DZA&optionsPeriodes=Aucune&codeTheme2=1&codeStat2=x&codePays2=DZA&optionsDetPeriodes=avecNomP>
- *Perspective Monde*. (s. d.-b). <https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/>
- Pongsopha, P., Sukontasukkul, P., Phoo-Ngernkham, T., Imjai, T., Jamsawang, P., & Chindaprasirt, P. (2019). Use of burnt clay aggregate as phase change material carrier to improve thermal properties of concrete panel. *Case Studies In Construction Materials*, 11, e00242. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00242>
- Priyadharshini, B., & Kavisri, M. (2018). Utilization of textile sludge in manufacturing e-bricks. *International Journal Of Civil Engineering And Technology*, 9(11).
- Quintino, F. M., Nascimento, N., & Fernandes, E. C. (2021). Aspects of Hydrogen and Biomethane Introduction in Natural Gas Infrastructure and Equipment. *Hydrogen*, 2(3), 301-318. <https://doi.org/10.3390/hydrogen2030016>
- Rada, E., Ragazzi, M., Stefani, P., Schiavon, M., & Torretta, V. (2015). Modelling the Potential Biogas Productivity Range from a MSW Landfill for Its Sustainable Exploitation. *Sustainability*, 7(1), 482-495. <https://doi.org/10.3390/su7010482>
- RADP. (1985). *Création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'énergie*. [https://oneday-web.com/aprue/wp-content/uploads/2024/09/decret\\_85\\_235\\_ar.pdf](https://oneday-web.com/aprue/wp-content/uploads/2024/09/decret_85_235_ar.pdf)
- RADP. (1999). *Loi n°99-09 : du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie*. [https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/loi\\_99-09\\_5b68630e15102.pdf](https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/loi_99-09_5b68630e15102.pdf)
- RADP. (2001). *Loi n° 2001-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets*. <https://and.dz/site/wp-content/uploads/Loi-n%C2%B001-19.pdf>
- RADP. (2016). *Décret présidentiel n° 16-262 portant ratification sur l'Accord de Paris sur les changements climatiques*. <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2016/F2016060.pdf>

- RADP. (2020). *Décret exécutif n° 20-285 du 10 octobre 2020 modifiant et complétant le décret exécutif n° 15-319 du 13 décembre 2015*. <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2020/F2020061.pdf>
- Raghatate Atul, M. (2012). Use of plastic in a concrete to improve its properties. *International Journal Of Advanced Engineering Research And Studies*, 1(3), 109-111.
- Rashad, A. M., & Sadek, D. M. (2016). An investigation on Portland cement replaced by high-volume GGBS pastes modified with micro-sized metakaolin subjected to elevated temperatures. *International Journal Of Sustainable Built Environment*, 6(1), 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.10.002>
- Rathoure, A. K. (2024). Revolutionizing Waste Management With Advancements in Sorting and Processing Technologies. Dans *Practice, progress, and proficiency in sustainability* (p. 387-406). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4054-7.ch015>
- Rogers, P. P., Jalal, K. F., & Boyd, J. A. (2012). *An Introduction to Sustainable Development*. Earthscan.
- Roques, P. (2016). Consommation d'énergie dans le logement social locatif : comment faciliter et soutenir les pratiques favorables à la réduction ? *La Revue des Sciences de Gestion*, N° 281-282(5), 55-63. <https://doi.org/10.3917/rsg.281.0055>
- Ruiz-Herrero, J. L., Nieto, D. V., López-Gil, A., Arranz, A., Fernández, A., Lorenzana, A., Merino, S., De Saja, J. A., & Rodríguez-Pérez, M. Á. (2015). Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste. *Construction And Building Materials*, 104, 298-310. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.005>
- Ruiz-Herrero, J., Nieto, D., Lopez-Gil, A., Arranz, A. Z., Fernández, A. D., Lorenzana, A., Merino, S., De Saja, J. A., & Rodriguez-Perez, M. A. (2016). Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste. *Construction And Building Materials*, 104, 298-310. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.005>
- Rynk, R. (1992). *On-farm composting handbook*.
- Sachs, J. D. (2015). *The Age of Sustainable Development*. Columbia University Press.
- Saikia, N., & De Brito, J. (2012). Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation : A review. *Construction And Building Materials*, 34, 385-401. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066>
- Scheer, S. (2018). Réglementation thermique, ponts thermiques structuraux et solutions technologiques. *Techniques de L'Ingénieur*. <https://doi.org/10.51257/a-v1-c8119>
- SDE. (2024). *Données énergétiques de Constantine*.

- Sénit, C.-A. (2008). *L'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel : Une analyse des politiques des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée*. Iddri.
- Services du Premier Ministre. (2021). *PLAN D'ACTION DU GOUVERNEMENT POUR LA MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME DU PRESIDENT DE LA REPUBLIQUE*. <https://amb-algerie.fr/wp-content/uploads/2022/04/Pland-action-du-gouvernement-pour-la-mise-en-oeuvre-du-programme-du-president-de-la-republique-2021-fr.pdf>
- Shaheen, M., Anjum, M. J., Ahmad, F., & Anum, A. (2023). Computational Data Analysis on Global Energy and COVID-19 Pandemic. *International Journal Of Information Engineering And Electronic Business*, 15(6), 1-17. <https://doi.org/10.5815/ijieeb.2023.06.01>
- Sharma, R., Goel, S., Lenka, S. R., & Satpathy, P. R. (2024). Energy efficiency retrofitting measures of an institutional building : A case study in eastern India. *Cleaner Energy Systems*, 7, 100111. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2024.100111>
- Shu, X., & Huang, B. (2014). Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete : An overview. *Construction And Building Materials*, 67, 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.027>
- Siddique, R., Khatib, J., & Kaur, I. (2008). Use of recycled plastic in concrete : A review. *Waste Management*, 28(10), 1835-1852. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.011>
- Silveira, V. A. L., De Resende, D. S., & Da Silva Bezerra, A. C. (2024). Sanitary ware waste in eco-friendly Portland blended cement : Potential use as supplementary cementitious material. *Cement*, 19, 100126. <https://doi.org/10.1016/j.cement.2024.100126>
- Singh, J., Laurenti, R., Sinha, R., & Frostell, B. (2014). Progress and challenges to the global waste management system. *Waste Management & Research The Journal For A Sustainable Circular Economy*, 32(9), 800-812. <https://doi.org/10.1177/0734242x14537868>
- Sobolev, K., Türker, P., Soboleva, S., & Iscioglu, G. (2007). Utilization of waste glass in ECO-cement : Strength properties and microstructural observations. *Waste Management*, 27(7), 971-976. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.014>
- Sonelgaz. (s. d.). *Sonelgaz-distribution*. Consulté le 7 octobre 2024, à l'adresse <https://www.sonelgaz-distribution.dz/>
- Sonelgaz. (2025). *Facture de consommation de l'Électricité et de Gaz*.
- Song, Q., Li, J., & Zeng, X. (2014). Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy. *Journal Of Cleaner Production*, 104, 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.027>
- SOPTE. (s. d.). *Activités de SOPTE*. <https://divindus-sopte.dz/site/>

- Soukehal, I., & Bouadam, R. (2022). THE IMPACT OF LANDFILL DIVERSION ON LAND USE AND LIFESPAN : A CASE STUDY OF THE BOUGHAREB TECHNICAL LANDFILL CENTRE IN CONSTANTINE, ALGERIA. *Analele Universităţii Din Oradea Seria Geografie*, 32(2), 74-84. <https://doi.org/10.30892/auog.322101-884>
- Stoecklin, A. (2025, 6 mai). *Performance énergétique des bâtiments : définition, enjeux et aides*. Opéra Energie. <https://opera-energie.com/performance-energetique-batiments/>
- Sun, S. (2023). Comment l'industrie du gaz naturel peut-elle faire progresser les objectifs de double carbone ? Une étude de cas de la Chine selon la perspective de la chaîne industrielle. *Revue Organisations & Territoires*, 31(3), 137-150. <https://doi.org/10.1522/revueot.v31n3.1525>
- Tabassum, K. N. (2024). Environmental impact of solid waste landfilling in Balochistan-A risk assessment for SDG 3 (good health and well-being), SDG 6 (clean water and sanitation), SDG 11 (sustainable cities and communities), SDG 12 (responsible consumption and production), SDG 13 (climate action), SDG 14 (life below water) and SDG 15 (life on land). *Green Buildings And Materials*, 2(2). <https://doi.org/10.58396/gbm020201>
- Teklehaimanot, M., Hailay, H., & Tesfaye, T. (2021). Manufacturing of ecofriendly bricks using microdust cotton waste. *Journal Of Engineering*, 2021, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2021/8815965>
- Teo, D. C. L., Mannan, M. A., & Kurian, J. V. (2006). Flexural Behaviour of Reinforced Lightweight Concrete Beams Made with Oil Palm Shell (OPS). *Journal Of Advanced Concrete Technology*, 4(3), 459-468. <https://doi.org/10.3151/jact.4.459>
- Tiquia, S., Richard, T. L., & Honeyman, M. S. (2002). Carbon, nutrient, and mass loss during composting. *Nutrient Cycling In Agroecosystems*, 62(1), 15-24. <https://doi.org/10.1023/a:1015137922816>
- UE. (2023). *DIRECTIVE (UE) 2023/1791 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 13 septembre 2023 relative à l'efficacité énergétique et modifiant le règlement (UE) 2023/955*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791>
- UE. (2024). *DIRECTIVE (UE) 2024/1275 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 24 avril 2024 sur la performance énergétique des bâtiments*. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202401275](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275)
- United Nations Environment Programme. (2024). *Global Waste Management Outlook 2024 - Beyond an age of waste : Turning rubbish into a resource*. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44939>

- Upshaw, M., & Cai, C. (2020). Critical Review of Recycled Aggregate Concrete Properties, Improvements, and Numerical Models. *Journal Of Materials In Civil Engineering*, 32(11). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003394](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003394)
- URBACO. (2021). *Révision du PDAU intercommunal de : Constantine, El Khroub, Hamma Bouziane, Didouche Mourad, Ain Smara : Evolution de la population entre et perspective de développement.*
- Uysal, M., & Akyuncu, V. (2012). Durability performance of concrete incorporating Class F and Class C fly ashes. *Construction And Building Materials*, 34, 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.075>
- Vanitha, S. (2022). Feasibility study on utilization of compost as a partial replacement of fine aggregate in conventional concrete. *Materials Research Proceedings*. <https://doi.org/10.21741/9781644901953-8>
- Velay-Lizancos, M., Martínez-Lage, I., Lourenço, P. B., Granja, J. L. D., & Velay-Lizancos, M. (2018). Concrete with fine and coarse recycled aggregates : E-modulus evolution, compressive strength and non-destructive testing at early ages. *Construction And Building Materials*, 193, 323-331. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.209>
- Vijayalakshmi, M., Sekar, A., & Prabhu, G. G. (2013). Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste. *Construction And Building Materials*, 46, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.018>
- Volodzkiene, L., & Streimikiene, D. (2024). Integrating Energy Justice with Economic Realities : Survey Results on Renewable Energy Support and Household Expenditure Disparities. *Research Square (Research Square)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5116938/v1>
- Warman, P. R. (1999). Evaluation of seed germination and growth tests for assessing compost maturity. *Compost Science & Utilization*, 7(3), 33-37. <https://doi.org/10.1080/1065657x.1999.10701972>
- *World Bank Open Data*. (s. d.). World Bank Open Data. <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.POP.TOTL?locations=DZ>
- Xu, N. (2023). *Energy Consumption Forecasting : A trend analysis based on global data from 2000-2020* (p. 146-151). ICMML23. <https://doi.org/10.1145/3653724.3653750>
- Yazid, N. A., Barrena, R., Komilis, D., & Sánchez, A. (2017). Solid-State Fermentation as a Novel Paradigm for Organic Waste Valorization : A Review. *Sustainability*, 9(2), 224. <https://doi.org/10.3390/su9020224>
- Yudiantono, Y., Santosa, J., Fitriana, I., Wijaya, P. T., Rahardjo, I., Wahid, L. O. M. A., Siregar, E., Hesty, N. W., Fithri, S. R., & Sugiyono, A. (2024). Renewable energy in sustainable cities : Challenges and opportunities by the case study of Nusantara

## CHAPITRE X : BIBLIOGRAPHIE

---

Capital City (IKN). *International Journal Of Renewable Energy Development*, 13(6), 1136-1148. <https://doi.org/10.61435/ijred.2024.60390>

- Zaidi, H., & Bouadam, R. (2024). Impact of partial substitution of sand by compost on the mechanical and thermal parameters of concrete. *Budownictwo I Architektura*, 23(3), 099-113. <https://doi.org/10.35784/bud-arch.5942>

# ANNEXES

## ANNEXES

**Annexe A : textes d'application des lois cadres relatives à la maîtrise de l'énergie et à la gestion des déchets**

**Tableau A.1 : textes d'application de la loi n°99-09**

Désignation	Objet
Décret exécutif n° 2000-90 du 24 avril 2000	portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs
Décret exécutif n° 04-149 du 19 mai 2004	fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME)
Décret exécutif n° 05-16 du 11 janvier 2005	fixant les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers
Décret exécutif n° 05-495 du 26 décembre 2005	relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie
Décret exécutif n° 13-424 du 18 décembre 2013	modifiant et complétant le décret exécutif n° 2005-495 du 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie ;
Arrêté interministériel du 3 novembre 2008	fixant les appareils et les catégories d'appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique
Arrêté interministériel du 29 novembre 2008	définissant la classification d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique;
Arrêté interministériel du 29 novembre 2008	définissant les dispositions générales relatives aux modalités d'organisation et d'exercice du contrôle d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique
Arrêté du 21 février 2009	relatif à l'étiquetage énergétique des réfrigérateurs, des congélateurs et des appareils combinés à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique
Arrêté du 21 février 2009	relatif à l'étiquetage énergétique des climatiseurs à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique ;
Arrêté du 21 février 2009	relatif à l'étiquetage énergétique des lampes domestiques soumises aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique
Arrêté interministériel du 29 septembre 2010	portant sur les cahiers des charges définissant la méthodologie, le rapport d'audit et sa synthèse, le guide méthodologique, les valeurs des pouvoirs calorifiques, les facteurs de conversion pour le calcul de la consommation, ainsi que les modalités d'agrément des auditeurs ;
Arrêté interministériel du 19 juin 2014	modifiant et complétant l'arrêté interministériel du 29 septembre 2010 portant sur les cahiers des charges définissant la méthodologie, le rapport d'audit et sa synthèse, le guide méthodologique, les valeurs des pouvoirs calorifiques, les facteurs de conversion pour le calcul de la consommation ainsi que les modalités

	d'agrément des auditeurs.
Arrêté du 26 juin 2016	portant nomination des membres du comité intersectoriel de la maîtrise de l'énergie.
Arrêté du 30 juillet 2016	portant approbation du document technique réglementaire DTR.C3.2/4 intitulé «réglementation thermique du bâtiment»

**Tableaux A.2 : les textes juridiques relatifs au FNME**

<b>Désignation</b>	<b>Objet</b>
Décret n° 2000-116 du 29 mai 2000	fixe les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n°302-101 intitulé « fonds national pour la maîtrise de l'énergie (abrogé par le décret exécutif n° 15-319 du 13 décembre 2015)
Décret n°04-149 du 19 mai 2004	Fixe les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME)
Arrêté interministériel du 6 juillet 2005	Fixe les modalités du suivi et de l'évaluation du compte d'affectation spéciale n°302-101 intitulé « fonds national pour la maîtrise de l'énergie »
Arrêté interministériel du 7 octobre 2012	Modifiant l'arrêté interministériel du 17 septembre 2000 qui fixe la nomenclature des recettes et dépenses imputables sur le compte d'affectation spéciale n°302-101 intitulé « fonds national pour la maîtrise de l'énergie »
Décret exécutif n° 15-319 du 13 décembre 2015	Fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-131 intitulé « Fonds National pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération »
Arrêté interministériel du 22 décembre 2016	Déterminant la nomenclature des recettes et des dépenses imputables sur le compte d'affectation spéciale n° 302-131 intitulé « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération »
Décret exécutif n°20-285 du 10 octobre 2020	Modifiant et complétant le décret exécutif n°15-319 du 13 décembre 2015, fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-131 intitulé « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération »
Arrêté interministériel du 23 février 2022	Déterminant la nomenclature des recettes et des dépenses imputables sur le compte d'affectation spéciale n° 302-131 intitulé « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération »

**Tableau A.3 : Textes d'application de la loi 01-19**

<b>Désignation</b>	<b>Objet</b>
Décret exécutif n° 2002-372 du 11 novembre 2002	relatif aux déchets d'emballages
Décret exécutif n° 2003-477 du 9 décembre 2003	fixant les modalités et les procédures d'élaboration, de publication et de révision du plan national de gestion des déchets spéciaux

ANNEXES

Décret exécutif n° 2003-478 du 9 décembre 2003	définissant les modalités de gestion des déchets d'activités de soins
Décret exécutif n° 2004-199 du 19 juillet 2004	fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement du système public de traitement des déchets d'emballages
Décret exécutif n° 2004-210 du 28 juillet 2004	définissant les modalités de détermination des caractéristiques techniques des emballages destinés à contenir directement des produits alimentaires ou des objets destinés à être manipulés par les enfants
Décret exécutif n° 04-409 du 14 décembre 2004	fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux
Décret exécutif n° 04-410 du 14 décembre	2004 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations
Décret exécutif n° 2005-314 du 10 septembre 2005	fixant les modalités d'agrément des groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux
Décret exécutif n° 2005-315 du 10 septembre 2005	fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux
Décret exécutif n° 2006-104 du 28 février 2006	fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux
Décret exécutif n° 07-205 du 30 juin 2007	fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés.
Arrêté du 15 mars 2008	portant désignation des membres de la commission chargée de l'élaboration du plan national de gestion des déchets spéciaux
Arrêté interministériel du 2 septembre 2013	fixant le contenu du dossier de demande d'autorisation de transport des déchets spéciaux dangereux, les modalités d'octroi de l'autorisation ainsi que ses caractéristiques techniques
Arrêté interministériel du 2 septembre 2013	fixant les caractéristiques techniques des étiquettes des déchets spéciaux dangereux

**Annexe B : Correspondance des unités d'énergie****Calorie (cal)**

L'unité historique de mesure de l'énergie définie comme étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré Celsius la température d'un kg d'eau.

Conversion en Joule :  $1 \text{ cal} = 4,1855 \text{ J}$

**La thermie (th)**

C'est une unité ancienne d'énergie :  $1 \text{ th} = 10^6 \text{ cal} = 4\,185,5 \cdot 10^3 \text{ J}$

**British Thermal Unit (Btu ou BTU)**

L'unité d'énergie anglo-saxonne définie comme étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré Fahrenheit une livre anglaise d'eau dans une atmosphère d'un bar.

Conversion en Joule :  $1 \text{ BTU} = 1\,055 \text{ J}$ , ou  $1044 \text{ J}$  selon d'autres sources.

**Kilowattheure (kW.h ou kWh)**

L'énergie consommée par un appareil de 1 000 watts pendant une durée d'une heure. Cette unité est particulièrement utilisée dans les industries électriques. Il est fait usage également du wattheure (Wh) et des multiples par milliers du kWh que sont le mégawattheure (MWh) et le gigawattheure (GWh).

Conversion en Joule :  $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

Le kWh est défini en référence à une unité de puissance, le watt qui fait partie du Système international d'unités (SI). Il arrive fréquemment qu'il y ait confusion dans le langage courant entre énergie et puissance. Or, la puissance d'une machine est l'énergie qu'elle fournit pendant une unité de temps : un watt est la puissance d'une machine qui fournit un joule toutes les secondes. À l'inverse, un Wh est l'énergie fournie en une heure par une machine d'un watt.

**Tonne d'équivalent pétrole (tep)**

L'énergie calorifique d'une tonne de pétrole « moyen ». Cette unité est particulièrement utilisée par les économistes de l'énergie qui font fréquemment référence à certains de ses multiples par milliers : ktep ( $10^3 \text{ tep}$ ), Mtep ( $10^6 \text{ tep}$ ).

Conversion en Joule :  $1 \text{ tep} = 4,186 \cdot 10^{10} \text{ J}$

## Annexe C : Classification thermique des communes d'Algérie

### 1. Période d'hiver

#### 1.1.Zone Climatique A

- **Localisation** : Cette zone est délimitée par la mer au nord et les hautes plaines de l'intérieur au sud.
- **Caractéristiques** : La température extérieure de base est de 3 °C.

#### 1.2.Zone Climatique A1

**Localisation** : elle comprend les régions de Bejaia, Skikda, Dellys, EL kala, Tenes et Beni saf

**Caractéristiques** : La température extérieure de base est de 7 °C.

#### 1.3.Zone Climatique B

- **Localisation** : Elle regroupe les différentes régions du nord Tellien et les hautes plaines de l'intérieur.
- **Caractéristique** : La température extérieure de base est de - 2 °C.

#### 1.4.Zone Climatique C

- **Localisation** : elle comprend les différentes régions du nord Sahara et reliant la saoura jusqu'à in
- amenas, illizi et Bord Badji Mokhtar
- **Caractéristiques** : la température extérieure de base est de 1°C,

#### 1.5.Zone Climatique D

- **Localisation** : Elle englobe les régions de Tanezrouft et une partie du nord Sahara et le Hoggar
- **Caractéristiques**: La température extérieure de base est de 4 °C.

### 2. Période d'été

Les zones climatiques considérées dans le présent DTR sont les suivantes :

2.1.**La zone climatique A** : comprend le rivage de la mer au nord et les plaines côtières au sud.

2.2.**La zone climatique B** : comprend la partie nord des hautes plaines de l'intérieur, on distingue deux sous zones, la première B1 qui comprend la vallée du chellif, la deuxième B2 qui comprend la vallée du Guelma.

2.3.**La zone climatique C** : comprend les hautes plaines de l'intérieur.

2.4. **La zone climatique D** : comprend les différentes régions du nord Saoura chott el Hodna.

2.5. **La zone climatique E** : Comprend le nord, l'est et le sud-ouest ainsi l'extrême sud du Sahara, on distingue une sous zones E1 qui comprend le Hoggar et le Tassili.

2.6. **La zone climatique F** : comprend la région de Tanezrouft.

## Annexe D : Coefficients d'échange convectif selon la DTR C3-2




$\frac{1}{h}$ en m <sup>2</sup> .°C/W	Paroi en contact avec : - l'extérieur, - un passage ouvert, - un local ouvert.			Paroi en contact avec : - un autre local, chauffé ou non chauffé, - un comble, - un vide sanitaire.		
	1/hi	1/he	1/hi + 1/he	1/hi	1/he	1/hi + 1/he
 Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
 Ascendant (toiture) $\alpha \leq 60^\circ$	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
 Descendant (plancher) $\alpha \leq 60^\circ$	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Tableau D.1 : Résistances thermiques d'échange superficiel en hiver





$\frac{1}{h}$ en m <sup>2</sup> .°C/W	Paroi en contact avec : - l'extérieur, - un passage ouvert, - un local ouvert.			Paroi en contact avec : - un autre local, chauffé ou non chauffé, - un comble, - un vide sanitaire.		
	1/hi	1/he	1/hi + 1/he	1/hi	1/he	1/hi + 1/he
 Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$	0,10	0,04	0,14	0,10	0,11	0,21
 (toiture) $\alpha \leq 60^\circ$	0,16	0,04	0,20	0,17	0,17	0,33
 (plancher)	0,08	0,04	0,12	0,08	0,09	0,17

Tableau D.1 : Résistances thermiques d'échange superficiel en été


Annexe E : Photos des factures d'électricité des deux logements



**الشركة الجزائرية للكهرباء والغاز - التوزيع**  
Société algérienne de l'électricité et du gaz - Distribution

Société par action au capital social de : 64 000 000 000,00 DA  
Direction de distribution: CONSTANTINE  
RC N°: 25/42-0805455006  
NIS : 000625010536164018  
NIF : 000609080545593  
RIB N°: 00100844030030042203  
RIP N°: 00799999000030066981  
AI  
Agence commerciale : BELLE VUE  
CITE FILALI

Assistance  
Dépannage  
Réclamation  
Pour Plus d'informations



3303

Assistance  
Dépannage  
Réclamation  
Pour Plus d'informations

**Facture de consommation de l'Electricité et du Gaz**

Facture n°: 216210107696  
Etablie le : 21/05/2025  
Référence /PDL : 25501 15 28880 1 42  
Lieu de consommation : CT - BENBOUCLAID BT 1  
Prochaine relève vers le : 15/04/2021  
Client n° : 2182P021523

NIF :  
RC N°:

**فاتورة إستهلاك الكهرباء والغاز**

فاتورة رقم :  
جرت في :  
المرجع :  
مكان الإستهلاك :  
العدد القديم حوالي :

الفترة : الثلاثي الأول 2021

**Vos consommations**

الإستهلاك	المبلغ بالدينار	الإستهلاك
Consumation	Montant en DA HT	
Electricité	400,00 kWh	1 466,50
Gaz	8 581,30 Th	3 145,21
Redevances fixes HT (Abonnement) (DA)	164,16	الإشتراك الثابتة (بشرك) (ج)
Frais & Prestation HT (DA)	0,00	رسوم وخدمات (ج)
<b>Montant HT (DA)</b>	<b>4 775,87</b>	<b>المبلغ بدون رسوم (ج)</b>
TVA à 9% (DA)	138,99	ر.م. 9 % (ج)
TVA à 19% (DA)	614,00	ر.م. 19 % (ج)
<b>Total TVA (DA)</b>	<b>752,99</b>	<b>رسوم (ج)</b>
Droit Fixe sur consommation (DA)	100,00	المستطقات الثابتة على الإستهلاك (ج)
Taxe d'habitation (DA)	150,00	رسوم على المسكن (ج)
Contributions (DA)	0,00	مساهمة (ج)
Montant REPE (DA)	0,00	مبلغ ر.م. د.ت (ج)
Montant RGPE (DA)	0,00	مبلغ ر.م. ع.ت (ج)
<b>Net à payer TTC (DA)</b>	<b>5 778,86</b>	<b>مبلغ الدفع مقابل جميع الرسوم (ج)</b>

Cinq mille sept cent soixante-dix-huit Dinar(s) et quatre-vingt-six centimes(s)

Timbre (paiement en espèces) (DA) 58,00

**Total à payer (en espèces) (DA) 5 836,86**

Date limite du paiement 08/06/2025

Important: Nous vous informons qu'en application des dispositions de l'article 85 du Décret Exécutif 10-95 du 17.03.2010, vous êtes redevable d'un montant de DA, faute de quoi la fourniture d'énergie sera suspendue.

**Vos contrats**

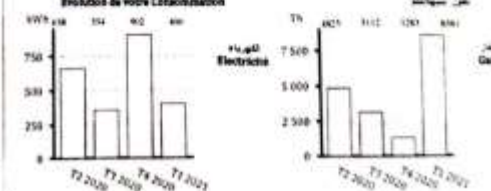
الكهرباء	الغاز
N° Compteur: 008906	N° Compteur: 007283
Tarif: 54M	Tarif: 23M
PMO: 6kw	PMO: 9.1
Coef: 1.0	PCS: 0.1
A index: 94 189.8	A index: 31 833.8
N index: 91 509.8	N index: 32 776.8
Tranche 1: 125,00	Tranche 1: 1 325,00
Tranche 2: 125,00	Tranche 2: 1 325,00
Tranche 3: 150,00	Tranche 3: 5 000,00
Tranche 4: 0,00	Tranche 4: 1 000,00
Quantité / كمية: 1,7787	Quantité / كمية: 0,1682
Pro. unitaire / وحدة: 1,7787	Pro. unitaire / وحدة: 0,8025
Montant HT (9%): 744,70	Montant HT (9%): 635,42
Montant HT (19%): 721,80	Montant HT (19%): 2 509,79

**Espace information**

Montant de votre consommation moyenne par jour: 61.48 DA/jour

Contribution au coût permanent du système: 9.01 DA

Evolution de votre consommation:




معلومات:

متوسط استهلاككم اليومي: 61.48 DA/jour

المساهمة الدائمة في تكاليف عملية نظام الشبكة على استهلاككم: 9.01 DA

مطروحة الهامك: يمكنكم التنبؤ بقرائنه، في أي وكالة تجارية، في مكاتب بريد الجزائر - عبر هاتف بنكي أو بريدي - عبر


Clé EBP 108



Clé EBB 238

**Information Importante:** Vous pouvez régler votre facture au niveau de n'importe quelle agence commerciale, au niveau des bureaux d'Algérie poste.

Figure E.1 : facture énergétique de l'aprt 1



**الشركة الجزائرية للكهرباء والغاز - التوزيع**  
Société algérienne de l'électricité et du gaz - Distribution

Société par action au capital social de: 64 000 000 000,00 DA  
Direction de distribution: ALJ MENDJELI  
RC N°: 25/10-0805455806  
NIS: 000609010536556  
NIF: 000609080545593  
RIB N°: 00100834030000041864  
RIP N°: 00799999000038168154  
AI: 25068301123  
Agence commerciale: ALJ MENDJELI 1  
Bd de L'ALN UV07 A.M

Assistance  
Dépannage  
Réclamation  
Pour Plus d'informations

3303

صيانة  
اصلاح الأعطال  
شكوي  
المزيد من المطرفات

**Facture de consommation de l'Electricité et du Gaz**

Facture n°: 284240306290  
Etablie le: 05/04/2025  
Référence /PDL: 25820 65 58080 1 28  
Lieu de consommation: 341 ILOT 2 BT 13 UV17  
Prochaine relève vers le: 12/06/2024  
Client n°: 2113P000933

فاتورة رقم:  
محررت في:  
المراجع:  
مكان الاستهلاك:  
الرصدة القادم حوالي:

**فاتورة استهلاك الكهرباء والغاز**

الفترة: الثلاثي الأول 2024

**Vos consommations** إستهلاككم

الإستهلاك	المبلغ بالدينار	الكمية
Consommation	Montant en DA HT	
Electricité	165,00 kWh	389,50
Redevances fixes HT(Abonnement)(DA)	78,66	الاشتراك الثابتة (بشتراف) (دج)
Frais & Prestation HT(DA)	0,00	رسوم وخدمات (دج)
<b>Montant HT (DA)</b>	<b>468,16</b>	<b>المبلغ دون رسوم (دج)</b>
TVA à 9% (DA)	42,14	رقم 9 % (دج)
TVA à 19% (DA)	0,00	رقم 19 % (دج)
<b>Total TVA (DA)</b>	<b>42,14</b>	<b>رقم (دج)</b>
Droit Fixe sur consommation (DA)	25,00	المستحقات الثابتة على الإستهلاك (دج)
Taxe d'habitation (DA)	150,00	رسوم على السكن (دج)
Contribution (DA)	0,00	مساهمة (دج)
Montant REPE (DA)	0,00	مبلغ رعمدت (دج)
Montant RGPE (DA)	0,00	مبلغ رعمدت (دج)
<b>Net à payer TTC (DA)</b>	<b>685,30</b>	<b>مبلغ الدفع متضمن جميع الرسوم (دج)</b>

مشتاة وخمسة وثمانون ديناراً جزائرياً وثلثون سنتيماً  
Six cent quatre-vingt-cinq Dinar(s) et trente centime(s)

Timbre (paiement en espèce)(DA) 7,00 الطابع (دفع نقداً)

**Total à payer (en espèces)(DA) 692,30** المستحق الإجمالي (نقداً)

Sauf erreur ou omission

Date limite du paiement 23/04/2025 آخر أجل الدفع

Façon ce délai, nous nous réservons le droit de procéder à la suspension de la fourniture d'énergie

بدون مرور هذا الأجل يمكننا فصل تزويدكم بالمشاة

Nous vous informons qu'en application des dispositions de l'article 85 du Décret Eclairé 10-95 du 17.03.2010, vous êtes redevable d'un montant de 3 651,18 DA, faute de quoi la fourniture d'énergie sera suspendue.

نشكرم أنه تطبيقاً لأحكام المادة 85 من المرسوم التنفيذي 95-10 بتاريخ 17.03.2010، أنكم متدينون بمبلغ 3 651,18 دج، وإلا سيتم فصل تزويدكم بالمشاة.

**Vos contrats** عقدكم

نوع الخدمة	نوع الخدمة	المتن	المتن	المتن	المتن
N° Compteur	Tarif	PMH	Coef	A. index	N. index
Electricité	02135027294 54M	akw	1.0	9 637 K	9 802 B

نوع الخدمة	نوع الخدمة	المتن	المتن	المتن	المتن
N° Compteur	Tarif	PMH	Coef	A. index	N. index
Electricité	02135027294 54M	akw	1.0	9 637 K	9 802 B

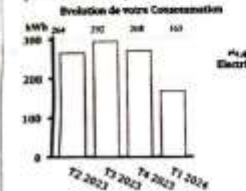
Quantité / كمية 125,00  
Prix unitaire / ثمن الوحدة 1,7787  
Montant HT (9%) 389,50  
Montant HT (19%) 0,00

**Espace information** معلومات

Montant de votre consommation moyenne par jour 7.53 DA/Jour متوسط إستهلاككم اليومي


Contribution au coût permanent du système 1.24 DA الكلفة صيانة نظام الشبكة

Evolution de votre Consommation



معلومة لكم:  
يمكنكم تسديد فاتورتكم، في أي وكالة تجارية، في مكاتب بريد الجزائر، عبر حرك بنكي أو بردي، عبر التحويل المصرفي عبر المواقع الإلكترونية.

المسؤول على تفاصيل أكثر حول فاتورتكم ناصموا موقع الشركة أو اadresser-vous à n'importe quelle agence commerciale.

Clé EBP 355  Clé EBB 253

Information importante: Vous pouvez régler votre facture au niveau de n'importe quelle agence commerciale, au niveau des bureaux d'Algérie poste, par virement, Par chèque bancaire ou postal, par paiement en ligne

أو تقربوا من أي وكالة تجارية.  
Pour plus de détails sur votre facture, veuillez consulter le [www.sonelegas-distribution.dz](http://www.sonelegas-distribution.dz)

Figure E.2 : facture énergétique de l'aprt 2

**Annexe F : Calcul des déperditions par renouvellement d'air**

Les déperditions par renouvellement d'air  $D_R$  d'un logement on pour expression

$$D_R = 0,34 \times (Q_v + Q_s) [W/^\circ C]$$

Où :

- 0,34 (en Wh/m<sup>3</sup>.°C) est la chaleur volumique de l'air ;
- $Q_v$  (en m<sup>3</sup>/h) est le débit minimal d'air neuf, correspondant à la valeur la plus grande entre 0,6 fois le volume habitable par heure et le débit extrait de référence  $Q_{v\text{réf}}$  qui dépend du nombre de pièces principales et de service
- Dans le cas de l'aprt 1 :  $Q_{\text{van}} = \max(0,6 \times 147,56, [5 \times 100 + (120 + 30)]/6) = 108,33 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dans le cas de l'aprt 2 :  $Q_{\text{van}} = \max(0,6 \times 199,02, [5 \times 75 + (105 + 30)]/6) = 119,412 \text{ m}^3/\text{h}$
- $Q_s$  (en m<sup>3</sup>/h) est le débit supplémentaire par infiltration dues au vent.

$$Q_s = \sum (P_{pi} \times e_{vi}) = \sum (P_{oi} \times A_i) \times e_{vi}$$

**Tableau F.1 : calcul des débits supplémentaires par infiltration des différents ouvrants**

		A (m <sup>2</sup> )	P <sub>O</sub> (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> sous ΔP = 1 Pa)	e <sub>v</sub>	$Q_s = \sum (P_{oi} \times A_i) \times e_{vi}$
Aprt 1	P1	2,4	6	1,47	21,168
	FS1, FS3, FS5	0,6	4	1,47	3,528
	FS2, FS4, FS6	0,3	4	1,47	1,764
	FN1	1,8	4	1,47	10,584
	FN2	3,75	4	1,47	22,05
	FN3	2,25	4	1,47	13,23
	Total				82,908
Aprt 2	P2	1,74	1,2	1,47	2,593
	FO1, FO2	1,74	4	1,47	10,231
	FO3	1,74	4	1,47	10,231
	PFE1, PFE2	3,43	4	1,47	20,168
	total				71,029

Le débit minimal d'air neuf se calcul en fonction de débit extrait de référence  $Q_{vréf}$ , qui dépend lui-même du nombre de pièces principales, le tableau F.2 récapitule les formules et les résultats de calcul.

**Tableau F.2 : calcul des déperditions par renouvellement d'air**

Grandeur	$Q_{vréf} = \frac{5Q_{vmin} + Q_{vmax}}{6}$	$Q_v = \text{Max}[0,6 \times V_h; Q_{vréf}]$	$D_R = 0,34(Q_v + Q_s)$
Unité	$m^3/h$	$m^3/h$	$W/°C$
<b>Aprt 1</b>	$Q_{vréf} = \frac{5 \times 100 + (120 + 30)}{6} = 108,33$	$Q_v = \text{Max}[88,5 ; 108,33] = 108,33$	$D_R = 0,34 \times (108,33 + 82,91) = 65,02$
<b>Aprt 2</b>	$Q_{vréf} = \frac{5 \times 75 + (105 + 30)}{6} = 85$	$Q_v = \text{Max}[119,412 ; 85] = 119,412$	$D_R = 0,34 \times (71,03 + 119,412) = 64,75$

Original Article

© 2024 Budownictwo i Architektura

This is an open-access article distributed under the terms of the CC-BY 4.0

## Impact of partial substitution of sand by compost on the mechanical and thermal parameters of concrete

Halima Zaidi<sup>1</sup>, Roukia Bouadam<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Urban Techniques Management; University of Salah Bounider-Constantine 3; P.O.Box 'B'72, Ali Mendjeli Nouvelle Ville 25000, Constantine, Algeria; halima.zaidi@univ-constantine3.dz ; ORCID: 0000-0003-0373-1901*

<sup>2</sup> *Institute of Urban Techniques Management; University of Salah Bounider-Constantine 3; P.O.Box 'B'72, Ali Mendjeli Nouvelle Ville 25000, Constantine, Algeria; roukia.bouadam@univ-constantine3.dz ; ORCID: 0000-0002-1067-4848*

**Abstract:** The study investigates recycling organic waste in Algeria due to the rising use of natural resources and energy in concrete production and the large amount of organic waste discarded. The aim is to use compost as a partial replacement for sand, reducing the use of natural aggregates in the concrete industry while also reusing previously discarded waste as part of a circular economy. An experimental study was carried out on concrete's thermal and mechanical properties to determine the effect of partial compost replacement on these properties. Five mixtures were created by replacing sand with compost in different proportions: 0, 5, 10, 15, and 20%. Slump and density were assessed in the formulations' original state. Mechanical tests were performed on the hardened concrete to determine porosity, compressive strength, and flexural strength. Thermal tests were also conducted on various types of concrete to determine thermal conductivity. The findings show that the texture of the compost reduced the slump, highlighting the importance of incorporating an admixture to achieve the desired workability. While meeting normal-weight concrete standards, concrete density was reduced. The mechanical properties of concrete with small amounts of compost were similar to regular concrete; instead, waste porosity improved insulation.

**Keywords:** ordinary concrete; organic waste; compost; mechanical parameters; thermal parameters

### 1. Introduction

Population growth and the development of socioeconomic activities in Algeria, as in other countries around the world, are driving energy consumption and waste production. Household and similar waste (HSW), i.e., waste flows from households, as well as similar waste from industrial, commercial, craft, and other activities that, by nature and

composition, can be assimilated to household waste, are included in Algeria’s solid waste [1]. In 2018, HSW production totaled 13.1 million tons, a 4.46% increase over 2014 [2]. 7 MT of the 13.1 MT of HSW produced is organic waste, accounting for 53.61% [1], the predominant fraction accounting for more than half of the waste generated (Fig. 1). Despite this significant potential for organic recovery, only a small fraction (1%) of composting treatment is recorded annually, and this is limited to a few pilot projects and experiments conducted by citizens and environmental organizations.

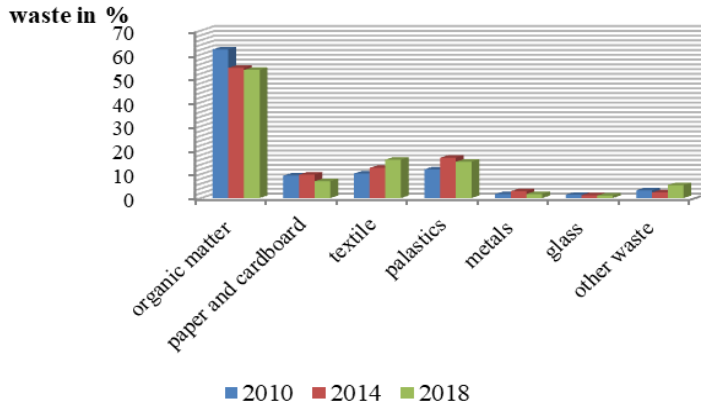


Fig. 1. Evolution in waste composition in Algeria (2010 - 2018), source: [2]

Unfortunately, the majority of this organic waste ends up in engineered landfills (Fig. 2), where microorganisms decompose it into leachates that can pollute groundwater. Furthermore, organic matter degradation under these conditions produces methane, a greenhouse gas 25 times more harmful than carbon dioxide. Although the Algerian government has implemented a number of initiatives to promote recycling and composting, there are currently no specific laws or regulations governing the use of this environmentally friendly practice. The development of new building materials from waste represents an ecological alternative to its disposal, as it reduces the consumption of natural resources while also minimizing the dual environmental impact caused by the energy consumption required to produce these materials as well as the problems associated with landfill, not to mention the scarcity of space available for this purpose.

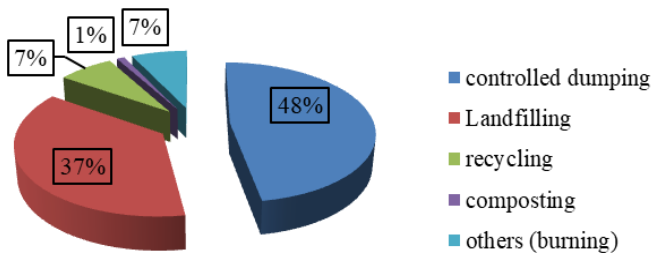


Fig. 2. Type of waste treatment in Algeria, source: [1]

In Algeria, the industrial sector is expected to consume 24% of the final energy in 2021 (Fig. 3), with building materials accounting for 41% (Fig. 4) [3]. The rise in energy

consumption in the building materials sector is primarily due to increased demand for housing and infrastructure, which has increased the production of building materials, particularly concrete and cement, the production of which necessitates a significant amount of energy to extract raw materials, transform them into finished products, and transport them to market.

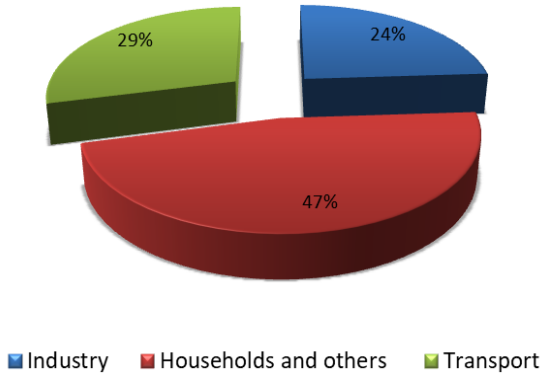


Fig. 3. Final energy consumption by sector of activity, *source*: [3]

Concrete is one of the most popular building materials and the second most used after water, with an estimated annual production of over 14 billion tons [4]. Concrete, despite its ease of use and low cost, possesses numerous properties, particularly in the mechanical realm. However, its manufacturing and utilization have a substantial environmental impact, which is primarily attributed to its principal constituent, cement, which contributes to roughly 7% of worldwide carbon dioxide emissions. Additionally, the extensive consumption of raw materials necessary for the production of billions of tons of concrete, coupled with the energy and water requirements, further deplete natural resources [5]. The combined effect of excessive natural resource consumption and the negative environmental impact of concrete manufacturing has led to a search for alternative products, employing a variety of methods, including the use of recycled materials and other industrial wastes as aggregate sources [6]. Over the last few years, much research has been conducted on the substitution of conventional concrete components for solid waste of various origins, such as aggregate or cement, or as an introductory phrase. This entails incorporating or partially substituting fly ash and blast furnace slag into cement and using it as aggregates, such as glass, plastic tires, and recycled aggregates from construction and demolition waste, the use of which is already regulated in almost all developed countries [7].

All conventional concrete components, including cement fine and coarse aggregates, have been partially replaced with wood waste. According to studies, incorporating sawdust can produce structural concrete that meets the criteria as long as the replacement is no more than 20% [8]. Recycled plastic has also been used to make more sustainable and resource-efficient concrete, which has gotten much attention since the 1970s [9]. In addition, studies on the feasibility of incorporating plastic waste into concrete have been conducted [10]. According to the findings, incorporating polymers into concrete as fibers or aggregates resulted in lighter concrete with improved thermal and acoustic properties. However, negative effects on mechanical properties, particularly compressive strength, were observed [11]. The increasing production of scrap tires is an unavoidable result of the global automotive industry's ongoing development. Tire dismantling to recover the materials from

which they are made aligns perfectly with the circular economy approach, which aims to reduce waste and improve resource efficiency. Among the studies on the recycling of used tires in civil engineering practices has been its use as an additive to Portland cement-based concrete [12]. This experiment failed due to incompatibility issues caused by chemical composition and rigidity. More research is needed to maximize the benefits of rubber while minimizing its negative impact on concrete mixes. More research is needed to better understand and improve the properties of rubber-modified concrete, as well as to increase its use in structural engineering [13].

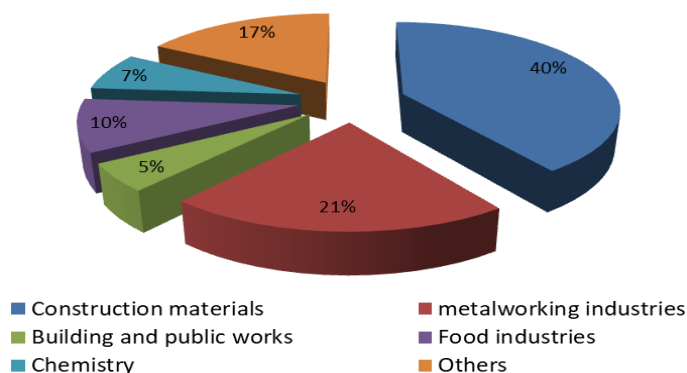


Fig. 4. Breakdown of industrial sector consumption by branch in 2021, *source*: [3]

Glass waste can be recycled indefinitely to create new glass products, but this process is very energy-intensive, so landfilling is considered an environmentally inappropriate solution due to its non-biodegradable nature [14]. Recycling building materials, particularly concrete, is the most efficient method of reducing glass waste and conserving resources. Several studies have been conducted on this effect, with some suggesting the use of recycled glass in the form of fine aggregates due to the physical properties of glass being similar to those of sand. Others propose using it as cement because its chemical properties are similar to cement [14]. Some concrete properties can be improved by using waste glass, according to studies. It is important to note, however, that excessive use can reduce the mechanical and physical properties of concrete [15]. Aggregates made from recycled concrete waste are increasingly being used in the production of concrete. They are materials that can be reused to replace traditional raw materials, reducing costs and environmental impact significantly.

Numerous studies have shown that reusing aggregates produced by crushing and sorting demolition waste has numerous economic and environmental benefits [16]. It is an effective method of lowering the costs and environmental impact of concrete production while also providing a better solution to the problem of excess waste, provided the required final product quality is met [17]. Despite the fact that this significantly reduces the properties of concrete, research in this field remains important due to the growing awareness of environmental issues in civil engineering applications. Compost is a material formed by the biological decomposition of organic matter that is used as a fertilizer or organic amendment for crops in agricultural settings [18]. However, there appears to be little data in the literature on construction materials containing compost as a constituent. This research aims to investigate the impact of the partial substitution of sand by stabilized organic waste (compost) on the mechanical and thermal properties of concrete.

## 2. Experimental details

### 2.1. Materials

#### a) Cement and aggregates

In this study, five concrete mixes were tested: one without compost, CC0 and four with compost replacing 5, 10, 15, and 20% of the total fine aggregate (mix names are generated based on the percentage of compost, preceded by the two letters CC referring to Compost Concrete). All mixes contained the following materials: The chemical composition of CPJ-CEM II/A 42.5 Portland cement from the Hamma Bouziane cement plant in Constantine is described in the Table. 1. This cement contains at least 80% clinker, 15% standardized additives, and no more than 5% gypsum. It has compressive strengths of 14.32, 26.64, and 43.31 MPa after 2, 7, and 28 days. Crushing massive limestone rock yielded natural sand ranging from 0 to 4 mm from the massive ENG quarry (National Aggregates Company, El Khroub unit). Two gravel classes were also used, the first between (4-8) mm and the second between (8-16), both obtained by crushing from the same ENG quarry. Figure 5 depicts the particle size distribution of the aggregates used in accordance with standard NF P 18-540.

Table 1. Chemical composition of clinker

Si <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Chlorides	CaO free	Insoluble residues	LOI*
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)
27.83	6.21	3.12	57.22	0.94	2.02	/	/	0.00	0.88	2.28	2.41

\*LOI: Loss of ignition

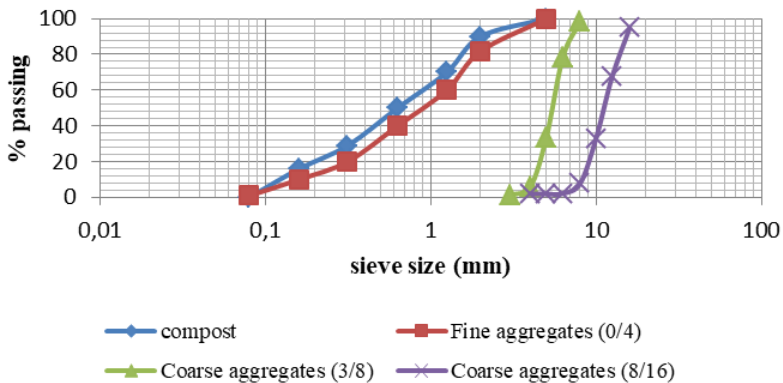


Fig. 5. Particle size distribution of aggregates

#### b) Compost

Compost is a material formed through the biological decomposition of organic matter in the presence of oxygen and the action of a diverse microbial community. It has been used as an organic soil improver in agriculture [18]. The compost used to replace fine aggregates is the result of an experiment at the Urban Techniques Management Institute [19]. It composted a mixture of 50% green waste and 50% kitchen waste from the Constantine 3 University campus (Fig. 6).



Fig. 6. Compost used in concrete production

Kitchen waste refers to food waste generated by campus restaurants, including meal leftovers, peelings, tray returns, eggshells, coffee grounds, and food preparation waste. Green waste, on the other hand, is composed of leaves, prunings, and grasses collected from the university campus's green spaces and then inspected to ensure the absence of elements that could harm the composting process (glass, metals, plastics) by adding high levels of organic carbon and heavy metals. Prior to composting, composted waste was collected, sorted, and crushed in a heap surrounded by a metal hoop to prevent dispersal and covered with a porous tarpaulin to keep it from drying out or becoming damp.

During composting, the pH, temperature (Fig. 7), moisture content and mass loss, particularly aeration and humidification, were regularly monitored and corrected as needed. The handle test allowed us to determine the moisture level of the compost and adjust it by adding absorbent materials. A thermometer was used to take daily temperature readings. Its evolution reflects microbial activity and proper composting methods. The pH was checked weekly. Its initial acidification and then gradual neutralization are similar to the composting process. Water evaporation, CO<sub>2</sub> release, and nutrient volatilization all contribute to mass loss, which is measured weekly. It decreases as compost matures.

These parameters evolved within the recommended range, indicating good composting. Granulometry, fertilizing elements, and the germination test were used to determine the maturity of the compost. The fine elements accounted for approximately 63% of the compost mass, which contained acceptable levels of carbon, organic matter, and nitrogen, as well as a C/N ratio that was relatively close to international standards (Table 2). The phytotoxicity test on radish confirms the compost's maturity and stability, allowing germination of more than 89% of the seeds sown.

Table 2. Physical and chemical characteristics of compost. *Source:* [19]

Parameters	Total organic matter	Total organic carbon	Total nitrogen	C/N ratio	pH	Lost mass	Germination rate
	(%MS)		(% MS)			(% of initial mass)	(%)
	9.11	4.5	0.44	10.22	7.8	63	89
Standards	> 5		> 0.25	< 20			

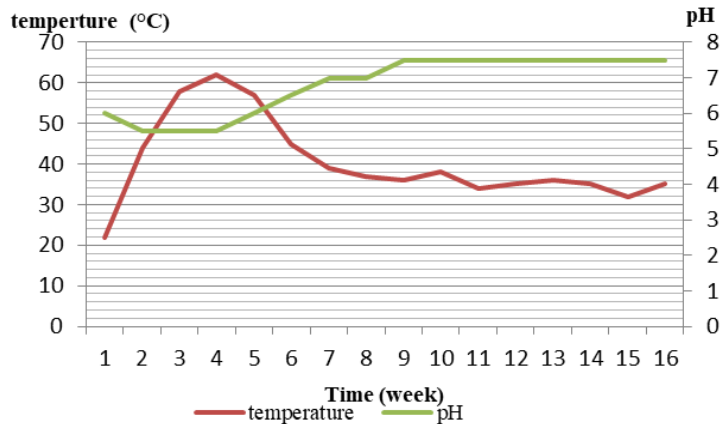


Fig. 7. Weekly trends in compost temperature and pH, source: [19]

### c) Mixing water

The water used in the experiments came from the Fesguia spring water supply network, which also supplies Constantine's Mentouri University's civil engineering laboratory. Table 3 summarizes the results of the chemical analysis performed on this water in accordance with NF P18 404 standards.

Table 3. Chemical composition of water

Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	T° (C)	PH
116	36	80	3	140	170	305	5	19	7.9

### d) Concrete production

The Dreux-Gorisse method was used to prepare concrete samples (Fig. 8). At 28 days, the desired strength for the reference mix (without compost) is 20 MPa with a slump of 12 cm, which corresponds to medium-strength concrete. The Dreux-Gorisse method was used to determine the concrete composition, which included 45% sand, 10% 3/8 gravel, and 45% 8/16 gravel for a compactness coefficient of 0.795. A laboratory mixer was used to prepare the five concrete mixes. The dry materials (cement, sand, compost, and gravel) were first introduced and homogenized before gradually adding water, and the specimen molds were filled by simple pouring without vibration. Table 4 shows the proportions of the mixtures.



Fig. 8. Examples of samples from the mixtures studied

Table 4. Composition of concretes tested

Sample	Fine aggregates (0/4) (kg/ m <sup>3</sup> )	Coarse aggregates (3/8) (kg/ m <sup>3</sup> )	Coarse aggregates (8/16) (kg/ m <sup>3</sup> )	Compost (kg/m <sup>3</sup> )	Slump (cm)	Cement (kg/ m <sup>3</sup> )	Water (kg/ m <sup>3</sup> )
CC0	804.35	178.74	804.35	-	12	300	226.45
CC5	764.13	178.74	804.35	40.21	12	300	226.45
CC10	723.91	178.74	804.35	80.43	12	300	226.45
CC15	683.69	178.74	804.35	120.65	12	300	226.45
CC20	643.48	178.74	804.35	160.87	12	300	226.45

## 2.2. Method

### a) Mechanical properties

The densities of concrete mixes were determined on fresh concrete using the NF EN 12350-6 standard. This entails filling a known volume container with fresh concrete and then calculating the density using the formula:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (1)$$

Where,  $\rho$  is the density of the concrete in kg/m<sup>3</sup>,  $m_1$  is the mass of the container in kg, and  $m_2$  is the mass of the container plus the mass of the concrete in the container in kg.

For each type of concrete, the workability of the mixes was tested using a slump cone in accordance with standard NF EN 12350-2 (Fig. 9a). The fresh concrete was then poured into molds with the following characteristics:

- cylindrical with dimensions (16 × 32) cm<sup>3</sup>,
- prismatic dimensions (7 × 7 × 28) cm<sup>3</sup>,
- prismatic dimensions (4 × 8 × 16) cm<sup>3</sup>.

The samples were cured in the molds for 1 day before being removed. Open porosity (or porosity accessible to water) was determined in accordance with NF P18-459 on samples measuring (10 × 10 × 10) cm<sup>3</sup>. Then, the samples were vacuum-saturated and submerged in water for 48 hours before being oven-dried at 105°C. The following formula was used to calculate water-accessible porosity:

$$P_0 (\%) = \frac{M_{air} - M_{dry}}{M_{air} - M_{water}} \times 100 \quad (2)$$

Or  $M_{air}$  is the open-air mass of the soaked sample,  $M_{dry}$  is the mass of the dry sample and  $M_{water}$  is the mass of the immersed sample

Crushing samples measuring 16 × 32 cm<sup>3</sup> for each mix after 28 days were used to determine compressive strength in accordance with standard NF P 18-406 (Fig. 9b). Standardized prismatic specimens with dimensions of 7 × 7 × 28 cm<sup>3</sup> (Fig. 9c) in accordance with EN 12390-1 were used to test flexural tensile strength. A three-point bending press with a capacity of 100 kN was used for the test. For each formulation, resistances were measured on three different specimens.

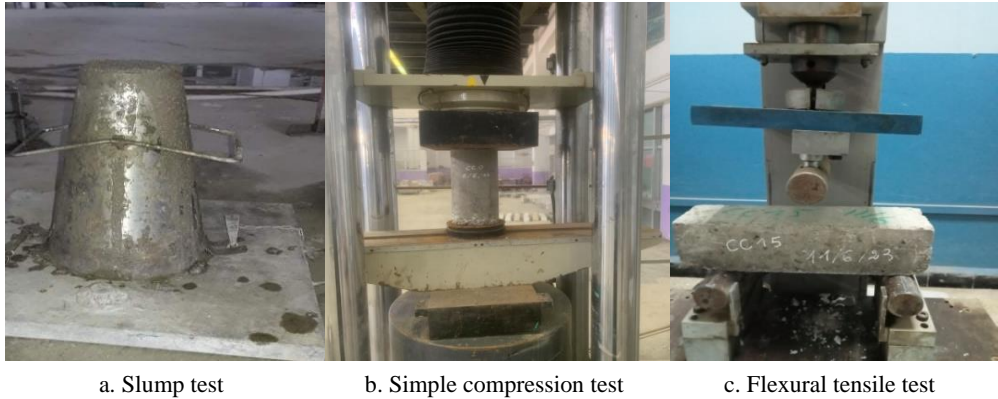


Fig. 9. Mechanical tests performed

### b) Thermal properties

After 90 days, thermal properties were measured on  $(4 \times 8 \times 16)$  cm<sup>3</sup> prismatic specimens of rectangular cross-section (wooden molds were made for concrete casting) using a CT METRE and the guarded hot plate method (Fig. 10). The probe is of the ring type, consisting of a flexible printed circuit, 0.2 mm thick and  $60 \times 90$  in size, designed to be inserted between two flat pieces of the sample to be measured. For each concrete mix, measurements were taken on three different specimens, and the results presented are the averages of the three measurements.



Fig. 10. CT meter

## 3. Results and discussion

### 3.1. Study of fresh concrete

#### a) Density

Table 5 displays the density of the five mixes that were examined. It can be noted that the density of the concrete decreases in direct correlation with the increase in the proportion of compost, tending to decrease by 1.24%, 1.56%, 2.99% and 4.82% for mixtures CC5,

CC10, CC15 and CC20, respectively. The variation in density can be ascribed to the substitution of sand with less dense materials, resulting in a decrease [20]. The achieved density of  $2281.25 \text{ kg/m}^3$  is promising, as it indicates that this particular waste can be utilized in the production of concrete that falls within the normal weight classification ( $\sim 2400 \text{ kg/m}^3$ ).

Table 5. Density of samples studied

Concrete	CC0	CC5	CC10	CC15	CC20
Density ( $\text{kg/m}^3$ )	2396.87	2367.19	2359.37	2325	2281.25
Standard deviation $\sigma$	0.325	0.853	0.912	1.323	1.635
Standard error $\sigma_{\bar{x}}$	0.188	0.492	0.527	0.764	0.944

### b) Slump

Figure 11 and Figure 12 show the results of the Abrams cone slump test (NF EN 12350-2). The W/C ratio of the concretes studied remains constant: 0.75 ( $A = 12 \text{ cm}$ ). Slump height is a concrete workability indicator; the higher the slump height, the more fluid and easier to handle the concrete, indicating good workability [21]. It has been discovered that increasing the amount of compost added reduces the workability of concrete by 48%, 68%, 76% and 84% for mixtures CC5, CC10, CC15 and CC20, respectively.



a. CC0



b. CC05



c. CC10



d. CC15



e. CC20

Fig. 11. Slump test results for the mixes studied

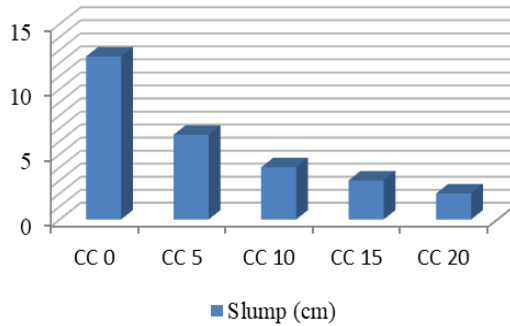


Fig. 12. Slump test results for the mixes studied

This observation is due to the added compost, which has angular and rough geometry grains that interconnect more closely than rounded grains, resulting in a reduction in slump [22]. This decrease can also be attributed to the fact that the fertilizer increased the porosity of the concrete, increasing water retention and, as a result, a decrease in workability. The addition of waste materials, on the other hand, reduced workability, resulting in a high demand for water. Hence, it is crucial to achieve an equilibrium between the workability and stability of concrete through the manipulation of water content and compost addition in the mixture while considering the influence of water on the mechanical characteristics of concrete.

### 3.2. Hardened concrete

#### a) Porosity

Table 6 depicts the effect of adding compost to concrete. Porosity has a direct effect on concrete compressive strength, with an increase in porosity resulting in a decrease in strength [23]. The results show that adding compost to concrete in small amounts (CC0 and CC10) results in a slight increase in porosity (1.67% and 3.25%), compared to the reference concrete, with no significant impact. However, after 15% substitution, i.e., for mixtures CC15 and CC20, compost has a significant impact on concrete porosity, with an increase of 6.51% and 8.40%. The structure of compost has a greater impact on concrete properties as the proportion of compost increases, and this effect is amplified as the incorporation rate increases.

Table 6. Porosity of studied mixtures

Sample	CC0	CC5	CC10	CC15	CC20
Porosity (%)	13.21	13.43	13.64	14.07	14.32
Standard deviation $\sigma$	1.507	0.947	1.396	1.210	1.101
Standard error $\sigma_{\bar{x}}$	0.870	0.547	0.806	0.699	0.635

#### b) Compressive strength

Compressive strength tests on the investigated mixes were performed on  $16 \times 32$  cm<sup>3</sup> cylindrical samples in accordance with NF P 18-406. Table 7 shows the results obtained after 28 days for the five formulations. The tests revealed that incorporating compost into the concrete resulted in a slight increase in compressive strength of 0.78% and 0.69% for

the CC5 and CC10 mixes when compared to the CC0 control concrete. For the 15% and 20% mixes, the compressive strength gradually decreases by 12.52% and 14.68%. Even though compressive strengths drop slightly above 10%, they remain close to those of the waste-free control concrete. These findings are explained by the fact that low-proportion mixes retain the same properties as reference concrete.

Furthermore, their porous structure may contribute to improved mix compactness and, thus, slightly improved strength. Above 10%, the increased proportion of light compost to dense sand has a negative impact on concrete compactness, resulting in a gradual loss of strength. This finding is consistent with previous research, which found that using less dense aggregates reduces concrete density, resulting in a decrease in compressive strength [20]. It should be noted that the addition of compost in small amounts has no effect on compressive strength.

Table 7. Compressive strengths of the studied concretes

Concrete	CC0	CC05	CC10	CC15	CC20
Compressive strength (MPa)	21.80	21.97	21.95	19.07	18.60
Standard deviation $\sigma$	0.476	0.855	0.891	0.971	0.920
Standard error $\sigma_{\bar{x}}$	0.275	0.494	0.514	0.561	0.531

### c) Flexural tensile strength

Table 8 lists the tensile test results obtained after 28 days. Because of their similarities, compressive and tensile strengths are highly correlated [24]. Concrete mixes with high compressive strengths, on the other hand, also have high tensile strengths. The obtained results show that flexural tensile strength varies as a function of the fraction of organic waste added. It rises in samples CC5, CC10, and CC15 by 13.53%, 14.41% and 1.88%, respectively, and then decreases by 13.67% in sample CC20. It is also observed that both strengths, compressive and flexural tensile, exhibit a similar trend, with an increase for low substitution rates and a decrease for higher rates. However, flexural tensile strength appears to be more sensitive to the addition of compost than compressive strength. Thus, it can be noted that partial replacement of composted organic waste improves the mechanical properties of concrete, with 10% being the optimum rate, yielding a value of 7.29 KN.

Table 8. Tensile bending test results for the mixes studied

Concrete	CC0	CC5	CC10	CC15	CC20
Flexural tensile strength (MPa)	6.37	7.23	7.29	6.49	5.49
Standard deviation $\sigma$	0.693	0.197	0.585	0.325	0.584
Standard error $\sigma_{\bar{x}}$	0.400	0.114	0.338	0.188	0.337

### d) Thermal conductivity

The effect of partial sand replacement with compost on the thermal conductivity of concrete was investigated (Fig. 13). The thermal conductivity of concrete decreases as the proportion of compost incorporated increases. It decreases by 4.88% for CC5, then by 11.08%, 24.77% and 28.73% for CC10, CC15 and CC20, respectively. Several studies have shown that this thermal characteristic varies with physical parameters such as density, porosity, aggregate type, and water content [25]. Despite the fact that the water content

remained constant, the use of lightweight aggregates resulted in a decrease in concrete density combined with an increase in porosity, resulting in a significant reduction in thermal conductivity in the different concrete formulations when compared to the control concrete. Table 9 shows the statistical error associated with the thermal conductivity measurement.

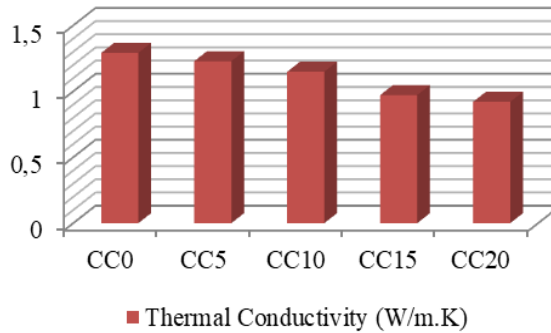


Fig. 13. Thermal conductivity of different concrete mixes

Table 9. Statistical error in the measurement of thermal conductivity

	CC0	CC5	CC10	CC15	CC20
Standard deviation $\sigma$	0.005	0.003	0.006	0.006	0.013
Standard error $\sigma_{\bar{x}}$	0.003	0.001	0.003	0.003	0.008

### 3. Conclusion

This study aimed to increase the value of waste materials while conserving natural resources by developing novel waste-derived concrete blends. The viability of substituting 5, 10, 15, and 20% of natural sand with composted organic waste based on mechanical and thermal properties was assessed. The mechanical test results were considered satisfactory. The partial replacement of sand in concrete with lighter compost had no effect on compressive and tensile strengths. The porosity was increased while the workability and density were decreased. Gradually adding compost to the concrete significantly reduced the thermal conductivity, resulting in improved insulation properties. Based on the results, it appears that replacing a small amount of sand with compost had no negative effect on the mechanical properties of the concrete. It resulted in improved thermal insulation properties while also reducing the weight of the composition. However, it is critical to emphasize that more tests are required to determine an optimal composition that fully utilizes the potential of waste materials. Concrete maintains its desirable mechanical properties while improving its thermal properties.

### References

- [1] National Waste Agency, "Report on the State of Waste Management in Algeria", 2020.
- [2] National Waste Agency, "Household and similar waste characterization national campaign 2018 / 2019", 2019.

- [3] Energy and Mining Ministry, “National energy balance 2021”, 2022.
- [4] Li Z., *Advanced Concrete Technology*, 1<sup>st</sup> ed. Wiley, 2011. <https://doi.org/10.1002/9780470950067>
- [5] Bur N., *Etude des caractéristiques physico-chimiques de nouveaux bétons éco-respectueux pour leur résistance à l’environnement dans le cadre du développement durable*. PhD dissertation, Université de Strasbourg, 2012.
- [6] Mindess S., “Sustainability of concrete”, in *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*, Elsevier, 2019, pp. 3–17. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00001-0>
- [7] Pellegrino C. et al., “Recycled materials in concrete”, in *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*, Elsevier, 2019, pp. 19–54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00002-2>
- [8] Fapohunda C. et al., “A Review of the Properties, Structural Characteristics and Application Potentials of Concrete Containing Wood Waste as Partial Replacement of one of its Constituent Material”, *YBL Journal of Built Environment*, vol. 6, no. 1, (Jun. 2018), pp. 63–85. <https://doi.org/10.2478/jbe-2018-0005>
- [9] Fowler D. W., “Polymers in concrete: a vision for the 21st century”, *Cement and Concrete Composites*, vol. 21, no. 5–6, (Dec. 1999), pp. 449–452. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(99\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(99)00032-3)
- [10] Saikia N. and De Brito J., “Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review”, *Construction and Building Materials*, vol. 34, (Sep. 2012), pp. 385–401. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066>
- [11] Ruiz-Herrero J. L. et al., “Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste”, *Construction and Building Materials*, vol. 104, (2016), pp. 298–310. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.005>
- [12] Huang B. et al., “Investigation into Waste Tire Rubber-Filled Concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 16, no. 3, (Jun. 2004), pp. 187–194. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:3\(187\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:3(187))
- [13] Shu X. and Huang B., “Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview”, *Construction and Building Materials*, vol. 67, (Sep. 2014), pp. 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.027>
- [14] Jani Y. and Hogland W., “Waste glass in the production of cement and concrete – A review”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 2, no. 3, (Sep. 2014), pp. 1767–1775. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.03.016>
- [15] Park S. B. et al., “Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate”, *Cement and Concrete Research*, vol. 34, no. 12, (Dec. 2004), pp. 2181–2189. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.006>
- [16] Velay-Lizancos M. et al., “Concrete with fine and coarse recycled aggregates: E-modulus evolution, compressive strength and non-destructive testing at early ages”, *Construction and Building Materials*, vol. 193, (Dec. 2018), pp. 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.209>
- [17] Etxeberria M. et al., “Recycled aggregate concrete as structural material”, *Materials and Structures*, vol. 40, no. 5, (Feb. 2007), pp. 529–541. <https://doi.org/10.1617/s11527-006-9161-5>
- [18] Rynk R., *On-farm composting handbook*. Ithaca, NY: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, 1992.
- [19] Bouadam R. et al., “Composting as a sustainable alternative to eliminate household and similar Waste in developing countries”, *Humanities & Social Sciences Reviews*, vol. 10, no. 6, (Nov. 2022), pp. 01–14. <https://doi.org/10.18510/hssr.2022.1061>

- [20] Cuthbertson D. et al., “Biochar from residual biomass as a concrete filler for improved thermal and acoustic properties”, *Biomass and Bioenergy*, vol. 120, (Jan. 2019), pp. 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.007>
- [21] Nazari A. and Riahi S., “Improvement compressive strength of concrete in different curing media by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles”, *Materials Science and Engineering: A*, vol. 528, no. 3, (Jan. 2011), pp. 1183–1191. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.098>
- [22] Vijayalakshmi M. et al., “Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste”, *Construction and Building Materials*, vol. 46, (Sep. 2013), pp. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.018>
- [23] Vodák F. et al., “The effect of temperature on strength – porosity relationship for concrete”, *Construction and Building Materials*, vol. 18, no. 7, (Sep. 2004), pp. 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.009>
- [24] Alyamaç K. E. and Aydın A. B., “Concrete properties containing fine aggregate marble powder”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 19, no. 7, (Nov. 2015), pp. 2208–2216. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0327-y>
- [25] Asadi I. et al., “Thermal conductivity of concrete – A review”, *Journal of Building Engineering*, vol. 20, (Nov. 2018), pp. 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.002>



Nom et Prénom : Halima ZAIDI

Titre : LES DECHETS DANS L'AMELIORATION DES PERFORMANCES  
ENERGETIQUES DES BATIMENTS DANS LA VILLE DE  
CONSTANTINE ET LA VILLE NOUVELLE ALI MENDJELI

Thèse en vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en science  
En gestion des techniques urbaines

### Résumé

Face au double défi que représentent la surconsommation énergétique dans le secteur du bâtiment et la gestion de plus en plus problématique des déchets en Algérie, cette thèse explore comment la valorisation des déchets peut devenir un levier d'optimisation de la performance énergétique. L'objectif principal est de contribuer à cette amélioration par le développement et l'application de matériaux de construction intégrant des déchets organiques, spécifiquement le compost, dans une logique d'économie circulaire. Cette étude vise non seulement à réduire la consommation énergétique des habitations, mais aussi de créer des filières de valorisation durables, réduisant ainsi l'impact environnemental lié à l'enfouissement des déchets et à l'extraction de matières premières. Pour atteindre cet objectif, la recherche s'est basée sur une méthode combinant la recherche documentaire, l'investigation du terrain, l'expérimentale et la simulation. Cette dernière a permis de tester l'impact de ce matériau en conditions réelles, sur les performances énergétiques de logements situés à Constantine et Ali Mendjeli. Les résultats ont démontré une baisse significative de la conductivité thermique, proportionnelle à l'ajout du compost, tout en maintenant des résistances mécaniques suffisantes. Le mélange de béton contenant 10 % de compost, s'est révélé être le meilleur compromis. Cette approche permettrait ainsi de détourner jusqu'à 25 % des déchets organiques de l'enfouissement, tout en préservant des ressources naturelles comme le sable. Les simulations ont confirmé ces bénéfices, montrant une réduction notable des besoins énergétiques pour le chauffage et la climatisation lorsqu'on utilise ce matériau en toiture. Enfin, plusieurs perspectives sont envisagées concernant la durabilité de ce matériau, leur compétitivité économique, l'expérimentation d'autres types de déchets, et l'extension de cette méthodologie à d'autres villes algériennes.

**Mots clés** : performance énergétique, déchet organique, compost, matériau de construction, béton, bâtiment, ville de Constantine, nouvelle ville Ali Mendjeli.

Directeur de Thèse : Roukia BOUADAM – Université Constantine 3

Année Universitaire : 2025-2026