

الجمهورية
الديمقراطية
الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة

التعليم
العالي والبحث
العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي
بكر بلقايد -
تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Architecture

Spécialité : Architecture et technologie

Par : Mahdad Lamia / Benchira Abderahmane

Sujet

**L'éclairage intelligent et la perception de l'espace
nocturne par l'intégration des pavés piézoélectriques**

au centre des cultures vivante à Bir-el-Djir Oran

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

Mme KHELIFI ZAKIA	MCA	Université de Tlemcen	Présidente
M KASMI Amine	MCA	Université de Tlemcen	Examineur
M LOBIYED Abdessamad	MAA	Université de Tlemcen	Examineur
Mme BENABDELKADER Nawel	MCB	Université de Tlemcen	Encadrante

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Nous souhaitons tout d'abord remercier **Allah**, Le Très-Puissant pour les bonnes santés, la volonté et la patience dont nous avons besoin pour mener à bien ce mémoire. Sans Sa bénédiction il nous aurait été bien difficile de faire face aux différents obstacles de cette année et de trouver la force nécessaire jusqu'à ces dernières lignes pour venir à bout de ce travail et clore nos années d'études.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadrante, **Mme Benabdelkader Nawel**, qui a bien voulu prendre en charge et suivre avec attention et bienveillance tout au long de ce mémoire. Sans de précieux conseils, un suivi toujours disponible et une exigence de travail la plus rigoureuse, nous n'aurions pu aboutir à la rédaction de ce mémoire. Nous la remercions également pour sa patience, pour la confiance qu'elle nous a accordée et qui nous pousse chaque jour à donner le meilleur.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en évaluant ce travail, ainsi que pour leurs remarques pertinentes et constructives qui ont contribué à son amélioration.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des professeurs du département pour leur enseignement et leur accompagnement.

Nous avons à cœur de remercier toutes celles et ceux qui de près ou de loin ont participé à la réalisation de ce mémoire, que cela soit par leurs conseils leurs encouragements ou en nous fournissant des documents utiles.

Nous ciblons en dernier lieu nos chaleureux remerciements à nos parents pour leur soutien sans faille ainsi qu'à nos frères et sœurs pour le soutien moral

Tout au long de nos années d'études. Nous remercions également nos chers camarades et amis pour ces beaux moments partagés et cette belle cohésion de groupe vécue au sein de notre département d'architecture.

Dédicaces

Mahdad Lamia

Je dédie ce travail à ma très chère mère Nawel, pour son amour infini, sa tendresse, sa patience et tous les sacrifices qu'elle a faits pour moi.

A mon cher père, Fouad, pour son soutien, ses conseils précieux et sa présence constante tout au long de mon parcours.

A ma sœur, Hadjer, pour son encouragement et son affection.

A mon frère Anes, pour son soutien et sa présence à mes côtés.

A mon beau-frère, Yassine, pour sa gentillesse et son soutien.

A mon adorable neveu, Nidal, qui apporte joie et bonheur dans ma vie.

Aux familles Mahdad et Sebaa, pour leur soutien et leurs encouragements.

A mes chères copines Meriem, Amina, Ines, Ilhem, pour leur présence, leur soutien et tous les beaux moments partagés.

A mon binôme, Abderahmane, pour sa collaboration, son sérieux et les efforts partagés tout au long de ce travail.

Benchira Abderahmane

Je dédie ce modeste travail à ma très chère mère, Noura, en témoignage de ma profonde gratitude pour tous les efforts qu'elle a consentis, son soutien indéfectible, son aide précieuse et son amour inconditionnel tout au long de mon parcours.

À mon cher père, Benali, pour son soutien, ses encouragements

À mon frère, Amine, ainsi qu'à son épouse Hadjer, pour leur soutien et leur bienveillance.

À ma chère sœur, Yasmine, pour son affection et ses encouragements.

À la famille Allal Cherif, pour leurs encouragements et leur soutien.

À mes chers collègues et amis de ces cinq années, Walid, Zaki, Alaa et Fares, pour leur présence, leur aide précieuse et tous les moments partagés durant ce parcours.

À Monsieur l'architecte Elghazi Karim, pour son accompagnement, ses conseils et son professionnalisme.

Enfin, à ma binôme, Lamia, pour les efforts fournis, la collaboration et le travail partagé tout au long de cette année.

Résumé

Dans un contexte urbain en constante évolution, la question de la qualité des espaces nocturnes devient un enjeu majeur pour l'aménagement contemporain.

L'éclairage intelligent apparaît aujourd'hui comme un outil stratégique permettant non seulement d'optimiser la **performance énergétique**, mais aussi d'améliorer la **perception** et l'expérience de l'espace urbain durant la nuit.

La lumière joue un rôle déterminant dans la structuration de **l'espace nocturne**. Elle influence la lisibilité, la sécurité, l'attractivité et l'identité des lieux. Grâce aux **technologies intelligentes** — capteurs, systèmes de gestion automatisée et scénarios lumineux adaptatifs — il devient possible de concevoir des ambiances dynamiques adaptées aux usages et aux temporalités urbaines.

Les équipements culturels, en tant que pôles d'animation et de rassemblement social, constituent des éléments structurants du tissu urbain. Leur mise en valeur nocturne contribue à renforcer l'attractivité du territoire et à prolonger la vie urbaine au-delà des heures diurnes. Ce travail s'inscrit dans une approche urbanistique appliquée au quartier de Bir El Djir, dans la ville d'**Oran**.

Ce secteur en pleine expansion représente un terrain d'étude pertinent pour analyser l'impact de l'éclairage intelligent sur la perception de l'espace nocturne et sur la dynamique urbaine. L'objectif

est ainsi de proposer une réflexion intégrée où la lumière devient un outil d'aménagement, capable de structurer l'espace, d'améliorer la qualité urbaine et de valoriser l'identité culturelle du territoire.

Mots clés : Éclairage intelligent, espace nocturne, perception, performance énergétique, Oran, technologies intelligentes.

Abstract

In a constantly evolving urban context, the quality of nighttime spaces is becoming a major issue for contemporary planning.

Smart lighting is now emerging as a strategic tool that not only optimizes energy performance but also enhances the perception and experience of urban space at night. Light plays a crucial role in structuring nighttime space. It influences the legibility, safety, attractiveness, and identity of places.

Thanks to smart technologies—sensors, automated management systems, and adaptive lighting scenarios—it is possible to design dynamic atmospheres tailored to urban uses and rhythms.

Cultural facilities, as hubs of activity and social gathering, are structuring elements of the urban fabric. Their nighttime enhancement contributes to strengthening the attractiveness of the area and extending urban life beyond daytime hours.

This work is part of an urban planning approach applied to the Bir El Djir district in the city of Oran. This rapidly expanding sector represents a relevant field of study for analyzing the impact of smart lighting on the perception of nighttime space and on urban dynamics. The objective is to propose an integrated approach where light becomes a planning tool, capable of structuring space, improving urban quality, and enhancing the cultural identity of the territory.

Keywords: Smart lighting, nighttime space, perception, energy performance, Oran, smart technologies.

ملخص

في ظلّ بيئة حضرية دائمة التطور، باتت جودة المساحات الليلية قضية محورية في التخطيط المعاصر. تبرز الإضاءة الذكية اليوم كأداة استراتيجية لا تقتصر فوائدها على تحسين كفاءة استهلاك الطاقة فحسب، بل تُعزز أيضاً إدراك وتجربة الفضاء الحضري ليلاً. يلعب الضوء دوراً حاسماً في تشكيل الفضاء الليلي، إذ يؤثر على وضوح الأماكن وسلامتها وجاذبيتها وهويتها. وبفضل التقنيات الذكية -كأجهزة الاستشعار وأنظمة الإدارة الآلية وسيناريوهات الإضاءة التكيفية -أصبح من الممكن تصميم أجواء ديناميكية تتناسب مع الاستخدامات والإيقاعات الحضرية. تُعدّ المرافق الثقافية، بوصفها مراكز للنشاط والتجمع الاجتماعي، عناصر أساسية في النسيج الحضري. ويساهم تحسينها ليلاً في تعزيز جاذبية المنطقة وإطالة أمد الحياة الحضرية إلى ما بعد ساعات النهار. يندرج هذا العمل ضمن منهجية تخطيط حضري تُطبّق على حيّ بئر الجير في مدينة وهران. ويمثل هذا القطاع سريع النمو مجالاً هاماً لدراسة تأثير الإضاءة الذكية على إدراك الفضاء الليلي وعلى الديناميكيات الحضرية. يهدف هذا البحث إلى اقتراح نهج متكامل يُوظّف الضوء كأداة تخطيطية، قادرة على تنظيم الفضاء، وتحسين جودة الحياة الحضرية، وتعزيز الهوية الثقافية للمنطقة.

الكلمات المفتاحية: الإضاءة الذكية، الفضاء الليلي، الإدراك، أداء الطاقة، وهران، التقنيات الذكية

Liste des figures

Figure 1 : Pavé piézoélectrique.....	27
Figure 2 : Schéma du Système du pavé piézoélectrique.....	29
Figure 3 : Schéma de fonctionnement du prototype.....	32
Figure 4 : Soudure et câblage des disques piézoélectriques.....	32
Figure 5 : Tester le fonctionnement des disques piézoélectriques par un multimètre.....	33
Figure 6 : Test de pression avec ressorts métalliques.....	33
Figure 7 : Vérification du redressement du courant.....	34
Figure 8: Les Dairas de la wilaya d'oran.....	39
Figure 9: photo d'Oran.....	40
Figure 10: situation de la ville d'Oran.....	41
Figure 11: Evolution mensuelle de températures moyennes à Oran.....	42
Figure 12: Répartition mensuelle de la durée moyenne d'ensoleillement.....	42
Figure 13: Carte du réseau de communications et des phases d'extension urbaine de la ville d'Oran.....	44
Figure 14: Plan de situation de Bir el Djir.....	45
Figure 15: Délimitation de la zone d'étude.....	45
Figure 16: Carte de l'accessibilité du site.....	47
Figure 17: La carte de l'état fonctionnel.....	49
Figure 18 : Carte de typologie d'équipements.....	50
Figure 19 : Les équipements existants.....	50
Figure 20: Carte des types d'équipements/ Gabarits.....	51
Figure 21: Profil démographique /Bir El Djir, Oran.....	53
Figure 22: La carte de la trame structurelle.....	54
Figure 23: Les coupes morphologiques de la zone d'étude.....	54
Figure 24: Analyse perceptive nocturne.....	55
Figure 25 : Façade urbaine.....	58
Figure 26 : Façade urbaine.....	58
Figure 27: Diagnostic sur le plan fonctionnel.....	60
Figure 28: Diagnostic sur le plan social.....	61

Figure 29: Diagnostic sur le plan Architectural.....	61
Figure 30: Diagnostic sur le plan urbain et paysager.....	62
Figure 31: Stratégie sur le plan architectural.....	71
Figure 32: Stratégie sur le plan urbain et paysager.....	73
Figure 33: Diagnostic sur le plan fonctionnel.....	74
Figure 34: Diagnostic sur le plan social.....	75
Figure 35: Plan de masse du quartier.....	80
Figure 36: Vue Aérienne du Master Plan.....	81
Figure 37: Ambiance nocturne et valorisation urbaine.....	81
Figure 38: Perspective nocturne du Master Plan : Connectivité et Lumières.....	81
Figure 39: Toitures végétalisées.....	82
Figure 40 : Piste cyclable, bornes électriques et mini-bus.....	82
Figure 41 : Tri sélectif et arrosage connecté.....	83
Figure 42 : Parc urbain central aménagé.....	83
Figure 43 : Le parking éco-intelligent du quartier.....	83
Figure 44: Éclairage nocturne des façades résidentielles.....	84
Figure 45: Intégration du pavé intelligent dans les cheminements piétons du quartier.....	84
Figure 46: Principales problématiques et besoins du quartier.....	88
Figure 47: Schéma des fonctions principales.....	89
Figure 48: la situation géographique de la zone d'étude.....	97
Figure 49: Choix du terrain.....	98
Figure 50: Carte des limites et architecture environnante.....	99
Figure 51: Les coupes topographiques du site.....	99
Figure 52: Carte d'accessibilité et circulation.....	100
Figure 53: Carte de la source solaire et vents dominants.....	100
Figure 54: Analyse des réseaux divers.....	100
Figure 55: La carte de la perception visuelle.....	101
Figure 56: Carte des nuisances sonores.....	101
Figure 57 : Schéma de principe.....	101
Figure 58 : Zoning de fonctionnement.....	102
Figure 59: Phase 1.....	102

Figure 60: Phase 2.....	102
Figure 61: Phase 3.....	102
Figure 62: Phase 4.....	103
Figure 63: Phase 5.....	103
Figure 64: Phase 6.....	103
Figure 65: Forme finale de la genèse du projet.....	103
Figure 66: La répartition des fonctions.....	104
Figure 67 : la forme et les couleurs.....	106
Figure 68 : Implantation du volume et les patios centraux.....	106
Figure 69: Rendu architectural 3D d'un centre de sport.....	108
Figure 70 : Les éléments métalliques en façade.....	108
Figure 71: Vue intérieure sur le hall d'accueil.....	109
Figure 72 : Vue intérieure sur le café culturel.....	109
Figure 73 : Vue intérieure sur le patio central.....	110
Figure 74: Patio central aménagé comme un espace de détente et de lecture.....	110
Figure 75: Vue intérieure sur le laboratoire botanique.....	110
Figure 76 : Eclairage LED et valorisation de la végétation extérieure.....	111
Figure 77 : Aménagement extérieur intelligent et durable.....	111
Figure 78: Gouttières intégrées aux toitures.....	111
Figure 79: Détails poteau auditorium.....	114
Figure 80: Détails hourdis, Dalle.....	114
Figure 81 : Coupe technique des blocs sanitaires.....	115
Figure 82: LED encastré dans des profilés en Aluminium.....	116
Figure 83: Lampadaire solaire intelligent.....	116
Figure 84: Les spots LED encastrés au sol.....	117
Figure 85: Borne solaire urbaine.....	117
Figure 86: L'intégration du pavé piézoélectrique devant les accès.....	117
Figure 87: Détail acrotère.....	117
Figure 88 : Détail faux plafond.....	118
Figure 89 : Détail toiture végétale.....	118

Liste des tableaux

Tableau 1 : Variation de la tension selon la pression appliquée.....	33
Tableau 2: Avantages du pavé intelligent.....	35
Tableau 3: Intégration architecturale du pavé intelligent.....	36
Tableau 4 : Tableau d'évolution du nombre d'habitants par les années.....	51
Tableau 5 : Évolution des taux de natalité et de mortalité de la commune de Bir El Djir.....	51
Tableau 6 : Répartition de la population par tranche d'âge (%) dans la commune de Bir El Djir.....	52
Tableau 7 : Répartition de la population selon le sexe dans la commune de Bir El Djir.....	52
Tableau 8 : Répartition des activités économiques par pourcentage.....	52
Tableau 9 : Répartition de la population active et du chômage dans la commune de Bir El Djir.....	53
Tableau 10 : Style architectural.....	57
Tableau 11 : Choix d'exemple Référentiel.....	63
Tableau 12: Analyse thématique des villes intelligentes.....	70
Tableau 13 : Intégrations technologiques.....	79
Tableau 14: Analyse thématique.....	94
Tableau 15 : Programme surfacique.....	97

Liste des Annexes

Annexe 1 : PDAU de Bir El Djir.....	125
Annexe 2: POS de Bir El Djir.....	126
Annexe 3: Questionnaire.....	127
Annexe 4: <i>Business Model Canvas (BMC)</i>	129
Annexe 5 : Rendus architecturaux.....	137

Table des matières

Remerciements.....	2
Dédicaces.....	3
Résumé.....	5
Abstract.....	6
ملخص.....	7
Liste des figures.....	8
Liste des tableaux.....	11
Liste des Annexes.....	11
Table des matières.....	12
Chapitre Introductif.....	19
1. Introduction Générale.....	1
2. La motivation du choix du thème.....	2
3. La problématique.....	2
4. L'hypothèse.....	3
5. Objectif général.....	4
6. L'intérêt de la recherche.....	4
6.1. Intérêt scientifique et académique.....	4
6.2. Intérêt pratique et urbanistique.....	4
6.3. Intérêt social et environnemental.....	5
7. Méthodologie de la recherche.....	5
7.1. Étape d'investigation.....	5
7.2. Étape analytique.....	5
7.3. Étape de production.....	6

8. Outils et supports utilisés.....	7
9. Structure du mémoire.....	7
Chapitre I : Approche théorique et l'état de l'art.....	9
1. Introduction.....	10
2. Définition des concepts fondamentaux.....	10
2.1. Ville intelligente (Smart City).....	10
2.2. Lumière et perception visuelle.....	12
2.3. Éclairage urbain.....	13
2.4. Éclairage intelligent (Smart Lighting).....	13
2.5. Paysage intelligent.....	14
2.6. Ambiance lumineuse et confort visuel.....	14
2.7. Hiérarchisation lumineuse des parcours.....	15
2.8. Lisibilité nocturne.....	15
2.9. Gestion intelligente de l'énergie.....	16
2.10. Système d'éclairage connecté.....	16
2.11. Éclairage dynamique.....	17
2.12. Éclairage adaptatif.....	17
2.13. Requalification nocturne des espaces publics.....	17
2.14. Parcours lumineux structurant.....	17
2.15. Mobilier urbain intelligent.....	18
3. Les enjeux environnementaux et énergétiques liés à l'éclairage urbain.....	18
3.1. Enjeux énergétiques.....	18
3.2. Enjeux environnementaux.....	19
4. Nouvelles tendances et technologies d'éclairage intelligent.....	20
4.1. L'essor des LED dans l'éclairage urbain.....	20

4.2.	Capteurs et systèmes d'ajustement dynamique.....	20
4.3.	Internet des Objets (IoT) et gestion connectée.....	21
4.4.	Systèmes de contrôle centralisé.....	21
4.5.	Standards et protocoles d'interopérabilité.....	21
4.6.	Tendances émergentes.....	22
5.	Cadre législatif et normatif de l'éclairage public.....	22
5.1.	Références internationales.....	22
5.2.	Références nationales.....	24
6.	Conclusion.....	24
Chapitre II : Etape innovante.....		25
1.	Introduction.....	26
2.	Les fondements théoriques.....	26
3.	Etat de l'art.....	29
4.	Protocole expérimental.....	30
5.	Avantages du pavé intelligent.....	34
6.	Intégration architecturale.....	35
7.	Conclusion.....	36
Chapitre III : Approche Analytique.....		37
1.	Introduction.....	38
2.	Présentation de la ville d'Oran.....	38
2.1.	Aspect Administratif.....	38
2.2.	Rôle administratif.....	39
3.	Motivation du choix de la ville d'Oran.....	39
4.	Situation géographique de la ville d'Oran.....	41
5.	Climat et conditions lumineuses naturelles.....	41

6.	Aperçu et évolution historique de la ville d'Oran.....	42
6.1.	Origines et période antique.....	42
6.2.	Période islamique et médiévale.....	42
6.3.	Période espagnole et ottomane.....	42
6.4.	Période coloniale française.....	43
6.5.	Oran au XXe siècle.....	43
6.6.	Oran contemporaine.....	43
7.	Situation géographique de la zone d'étude.....	44
8.	Délimitation de la zone d'étude.....	45
9.	Motivation du choix du site d'étude.....	46
10.	Accessibilité et connectivité urbaine.....	46
11.	Analyse urbaine de la zone d'étude.....	47
11.1.	Approche historique.....	47
11.2.	Approche fonctionnelle.....	48
└	Etat fonctionnel.....	48
└	Type d'équipements.....	49
11.3.	Sur le plan architectural et patrimonial.....	50
11.4.	Approche Socio-économique.....	51
11.5.	Approche Morphologique et paysagère.....	53
11.6.	Approche perceptive nocturne.....	55
11.7.	Approche Séquentielle.....	55
12.	Diagnostic de la zone d'étude.....	59
└	Sur le plan fonctionnel.....	59
└	Sur le plan Social.....	60
└	Sur le plan Architectural.....	61

└ Sur le plan urbain et paysager.....	62
13. Analyse Thématique des villes intelligentes.....	63
└ Critères de choix des exemples.....	63
└ Analyse des exemples.....	63
14. Stratégies d'interventions.....	71
└ Sur le plan architectural.....	71
└ Sur le plan paysager.....	71
└ Sur le plan fonctionnel.....	73
└ Sur le plan social.....	74
15. Tableau des intégrations technologiques.....	76
16. Master Plan.....	80
17. Conclusion.....	85
Chapitre IV : Programmation architecturale et idéation.....	86
1. Introduction.....	87
2. Présentation du concept global du projet.....	87
3. Analyse thématique des exemples des centres cultureux.....	89
4. Définition du projet.....	95
5. Programme surfacique.....	96
6. Programme spécifique quantitatif de projet.....	97
7. Echelle d'appartenance et capacité d'accueil.....	97
1. La situation géographique du site.....	97
2. Choix du terrain.....	97
3. Critères de choix du terrain.....	98
4. Architecture environnante.....	98
5. Analyse morphologique et Topographie.....	99

6.	Accessibilité et circulation.....	99
7.	Orientation.....	100
8.	Analyse de VRD.....	100
9.	Analyse de perception visuelle.....	100
10.	Analyse des nuisances sonores.....	101
8.	La genèse du projet.....	101
6.1.	Schéma de principe.....	101
6.2.	Zoning.....	101
6.3.	Concept du projet.....	102
6.4.	L'évolution de la forme.....	102
6.5.	La forme finale et la répartition fonctionnelle.....	103
7.	Conclusion.....	104
Chapitre V : Réponse Architecturale.....		105
I.	Introduction.....	106
1.	Volumétrie et forme.....	106
2.	Plan de masse.....	106
3.	Plan RDC.....	106
4.	Plan 1 ^{er} étage.....	107
5.	Plan du 2 ^{ème} étage.....	107
II.	Recherche stylistique.....	108
1.	Sources d'inspirations des façades.....	108
2.	Analyse des façades.....	108
3.	Choix des matériaux et des couleurs.....	109
4.	Les ambiances intérieures.....	109
4.1.	Hall d'accueil :.....	109

4.2. Café culturel :.....	109
4.3. Patio central :.....	109
4.5. Eclairage LED et valorisation de la végétation extérieure.....	110
4.6. Tri intelligent et mobilier intelligent.....	111
4.7. Récupération des eaux pluviales pour l'arrosage.....	111
4.8. L'utilisation des panneaux solaires.....	111
5. Conclusion.....	111
Chapitre VI : Approche technique.....	113
1. Introduction.....	114
2. Système constructif.....	114
3. Type de fondation.....	114
4. Alimentation en eau potable.....	115
5. Plan de climatisation.....	115
6. Plan d'électricité.....	115
7. Plan de toiture.....	115
8. Protection Anti incendie.....	116
9. Techniques d'éclairage utilisées dans le projet.....	116
10. Détails techniques.....	117
11. Conclusion.....	118
Conclusion générale.....	119
Références bibliographiques.....	121
Annexes.....	124

Chapitre Introductif

1. Introduction Générale

La ville ne se limite plus à son fonctionnement diurne. Dès à présent, la nuit est un enjeu majeur de la ville, en termes de sécurité, de mobilité, ou encore de loisirs et de détente. C'est ainsi qu'à Oran, cité de l'ouest algérien en pleine dynamique, tandis que la ville s'étend à grand pas avec de nouveaux quartiers tels que Bir El Djir, la question de la nuit s'impose :

Comment transformer et investir la ville la nuit et comment aménager la ville la nuit ?

Si autrefois l'éclairage naturel se définissait comme une simple prestation de service permettant de voir et de sécuriser les usagers, il est aujourd'hui un véritable outil stratégique de l'aménagement urbain. Partant sur l'exploitation des avancées technologiques et numériques tels que les lampes LED, l'éclairage connecté et intelligent, les objets connectés, la gestion ou l'automatisation, il a permis d'émerger. Ainsi, on peut désormais illuminer différemment un même lieu en participant à la valorisation du lieu et en ne consommant que le minimum d'énergie nécessaire.

Ensuite la lumière est également, et avant tout, un sens fondamental de la perception de l'espace nocturne. C'est d'elle que viendra l'ambiance, l'attractivité, la découverte mais surtout la sécurité pour le citoyen. Un bel espace bien mis en lumière ne sera-t-il pas le théâtre d'avenir de rendez-vous quotidiens, mais un espace peu ou mal éclairé ne risque-t-il pas d'engendrer conflit et Aussi dans cette dynamique, on doit parler des équipements ou des espaces culturels. Ceux-ci ont souvent un rôle d'attractivité fort dans et pour la ville. En s'intéressant notamment au cas d'Oran afin de comprendre leur contribution à la mise en valeur de la ville, ainsi qu'à la manière dont leur éclairage participe à la construction de leur identité et à leur présence dans l'espace nocturne.

A cette attraction de la ville, peuvent s'opposer, dans des quartiers en plein développement comme Bir El Djir, ces nouveaux ensembles résidentiels majeurs, une autre forme d'attraction, plus lisible par la nuit, grâce à des outils nouveaux, tels que l'éclairage intelligent et connecté. Celui-ci, appliqué à des espaces culturels puis traitée sur des espaces publics, pourrait permettre de transformer le regard sur un quartier, de l'attirer et de le relier à d'autres pôles par une continuité urbaine de qualité.

C'est donc dans ce phénomène de transformation des villes que nous situerons notre sujet, nous interrogeant sur l'apport de l'éclairage intelligent comme levier d'innovation pour mieux voir et sentir la nuit, la ville et ses espaces, en traitant plus particulièrement des lieux culturels à Oran.

2. La motivation du choix du thème

On a choisi de traiter du thème de l'éclairage et de la perception de l'espace nocturne, car c'est un fait que l'architecture ne s'arrête pas avec le coucher de soleil ; si la nuit n'est pas une sombre chape, elle change complètement la manière de lire les volumes, elle transforme les déambulations perçues et les rapports de force et le sentiment de sécurité et c'est alors que la lumière devient, l'une des formes les plus abouties de construction de l'architecture en tant qu'espace. Elle va au-delà du fait de permettre de voir, elle oriente, rassure, révèle, fait ressentir, parfois, elle magnifie, elle sublime...

Aujourd'hui, les technologies smart-Lightning capteurs, gradation de l'intensité de la lumière, scénarios d'éclairage, gestion intelligente de l'énergie transforment l'éclairage qui était historiquement un système peu modifiable et figé en dispositif tourné vers l'utilisateur, interactif, intelligent et qui modifie des perceptions en temps réel. Ce thème me permet donc de parler d'innovations technologiques, de projet architectural et même de projet urbain en m'interrogeant sur la relation entre la lumière, le comportement de l'individu et la qualité perçue de l'ensemble des sens qui composent le ressenti de l'espace nocturne.

Bir El Djir est le territoire idéal de cette expérimentation : c'est un espace en plein développement où la vie nocturne change, s'étend, réinterprète, reconfigure, où de nouveaux usages s'installent et où on va montrer comment l'éclairage intelligent peut structurer l'espace, orienter, renforcer la visibilité et la sécurité et enfin construire une identité nocturne plus actuelle, sans qu'il soit à l'origine du thème mais plutôt son support de travail.

3. La problématique

La ville contemporaine ne s'arrête plus au coucher du soleil ; elle prolonge ses activités, ses déplacements et ses interactions dans un temps nocturne devenu essentiel au dynamisme urbain. Pourtant, si l'espace urbain est largement étudié et conçu dans sa dimension diurne, sa lecture nocturne demeure souvent limitée à une approche purement fonctionnelle de l'éclairage.

Or, la nuit transforme profondément la perception de la ville : les formes, les parcours, les limites spatiales et les ambiances deviennent dépendants de la qualité de la lumière. L'éclairage influence ainsi le sentiment de sécurité, l'orientation, le confort visuel, l'attractivité et l'appropriation des espaces publics. Avec l'émergence des technologies intelligentes systèmes adaptatifs, capteurs de présence, gestion automatisée et scénarios lumineux interactifs la lumière dépasse aujourd'hui sa fonction utilitaire pour devenir un véritable outil de structuration urbaine et d'expérience sensorielle.

Dans une ville en mutation comme Oran, marquée par l'extension urbaine, la diversification des usages nocturnes et les enjeux de durabilité énergétique, la question de l'éclairage intelligent prend une importance particulière. L'enjeu n'est plus uniquement d'éclairer l'espace public, mais de concevoir un environnement nocturne capable d'améliorer la qualité urbaine tout en intégrant des solutions énergétiques innovantes et durables.

C'est dans cette perspective que s'inscrit l'intégration du pavé piézoélectrique comme technologie innovante. En transformant l'énergie mécanique produite par les déplacements des usagers en énergie électrique réutilisable pour l'éclairage urbain, ce dispositif propose une nouvelle approche où mobilité, production énergétique et ambiance lumineuse deviennent interconnectées. Cette innovation permet non seulement de réduire la consommation énergétique, mais aussi de rendre l'espace urbain plus interactif, intelligent et participatif.

C'est dans cette perspective que s'inscrit la problématique suivante :

Comment l'éclairage intelligent, associé à l'intégration des pavés piézoélectriques, peut-il influencer la perception, l'usage et la qualité de l'espace urbain nocturne à Oran, tout en contribuant à une gestion énergétique durable et interactive ?

4. L'hypothèse

Nous émettons l'hypothèse que l'intégration d'un système d'éclairage intelligent, adaptatif et technologiquement avancé dans l'espace urbain nocturne peut transformer de manière significative la perception, l'usage et la qualité spatiale de la ville. Contrairement à l'éclairage traditionnel, souvent uniforme et purement fonctionnel, l'éclairage intelligent grâce aux capteurs, aux systèmes de régulation automatique, aux scénarios lumineux programmables et à la gestion énergétique optimisée serait capable de s'adapter aux flux, aux temporalités et aux

comportements des usagers. Cette capacité d'adaptation permettrait non seulement d'améliorer la visibilité, mais également de renforcer la lisibilité des parcours, de réduire les zones d'ombre perçues comme insécurisantes et de créer des ambiances différenciées selon les fonctions urbaines. Ainsi, nous supposons que la lumière intelligente agit comme un outil de structuration spatiale et sensorielle, influençant directement le sentiment de sécurité, le confort psychologique, l'appropriation des lieux et l'intensité des usages nocturnes. Elle contribuerait également à valoriser l'image urbaine et à construire une identité nocturne cohérente, participant à l'amélioration globale de la qualité de l'espace urbain à Oran.

5. Objectif général

L'objectif de cette recherche est de présenter que l'éclairage intelligent est non seulement un outil de conception urbaine mais qu'il peut aussi permettre, à terme, d'améliorer la perception, de favoriser l'usage, d'augmenter la qualité des espaces urbains nocturnes ou encore de participer à l'identité nocturne d'une ville comme Oran. L'idée est de ne plus concevoir l'éclairage comme une simple source de lumière mais bien comme un véritable élément d'aménagement, capable de redessiner un espace, de le rendre lisible, d'y apporter un sentiment de sécurité, voire de le valoriser en mettant en lumière une architecture, un monument ou un quartier.

6. L'intérêt de la recherche

1.1. Intérêt scientifique et académique

Participer à la réflexion sur la ville nocturne et sur l'importance qu'ont la technologie, la lumière et ce que l'on pourrait nommer la « spectralité » de la ville, nous nous positionnons sur un champ de recherche qui est loin d'être saturé.

Offrir des bases pour des recherches ultérieures associant technologies connectées (IOT), mise en lumière de la ville et urbanisme.

Faire appel à une diversité de disciplines aussi différentes que l'architecture, la psychologie de la perception et l'ingénierie lumineuse.

1.2. Intérêt pratique et urbanistique

Apporter des pistes et des solutions pour une meilleure intégration de l'éclairage public des collectivités territoriales.

Aider à penser des espaces publics nocturnes plus agréables, plus sécurisants, et aussi plus économes en énergie.

Démontrer que la lumière peut constituer un élément important de la smart city (ville intelligente).

Offrir des pistes et des conseils aux élus et décideurs publics pour que l'éclairage de leur commune corresponde aux besoins des usagers.

1.3. Intérêt social et environnemental

Contribuer à une meilleure qualité de vie nocturne en améliorant l'éclairage des espaces publics sur le plan sécuritaire, visuel et de l'agrément.

Contribuer à ce que les usagers puissent fréquenter et se réapproprier les espaces publics nuits, qu'ils puissent y socialiser et participer à la vie commerciale, sociale et culturelle.

Contribuer à des mesures visant la réduction de la pollution lumineuse et la diminution de l'empreinte énergétique de la ville.

2. Méthodologie de la recherche

1.1. Étape d'investigation

La première démarche est une phase documentaire et contextuelle.

- recueillir et étudier les références théoriques sur la lumière, la perception nocturne, l'éclairage urbain, l'éclairage intelligent (Smart Lighting) et la ville intelligente (Smart City)
- analyser le cadre législatif et normatif (national et international) de l'éclairage public, ainsi que les enjeux environnementaux et énergétiques liés à la consommation d'énergie et à la pollution lumineuse.

Cette première étape a pour but d'élaborer un socle conceptuel qui servira de grille de lecture du terrain et de fil conducteur pour les choix de projet.

1.2. Étape analytique

La seconde étape correspond à la phase analytique, centrée sur le cas d'étude. Elle porte sur :

- l'analyse du contexte urbain de la zone d'étude (situation, accès, fonctions, urbanisme, qualité des espaces nocturnes);
- des observations de terrain (contrôle des luminances, identification des zones non éclairées et des zones sur éclairées, étude des usages et des déplacements nocturnes);
- le ressenti des usagers (questionnaires, entretiens) qui peut permettre de comprendre la perception de la sécurité, du confort visuel et de l'attractivité des lieux la nuit.

Ces investigations conduisent à un diagnostic des éclairages sur le territoire en mettant en lumière ce qui fonctionne, ne fonctionne pas et ce qui manque.

1.3. Étape de production

La troisième étape est l'étape de production, dédiée à la traduction des résultats d'analyse en projet. Elle consiste à :

- définir un programme fonctionnel, spatial et lumineux (besoins, objectifs, zone à traiter en priorité, taux d'éclairement souhaité);
- élaborer un plan lumière et des scénarios d'éclairage (hiérarchisation des voies, mise en lumière des espaces publics, cheminements piétons, ...);
- proposer un concept d'éclairage intelligent adapté au site, en choisissant les types de luminaires, les modes de gestion (détection, variation d'intensité) et l'articulation entre jour et nuit.
- l'intégration d'outils de simulation lumineuse et de modélisation (logiciels comme Dialux, AutoCAD, rendus 3D) pour tester différents scénarios d'éclairage avant leur mise en œuvre ;
- une approche pluridisciplinaire, qui croise architecture, urbanisme, psychologie de la perception et ingénierie lumineuse ;
- la volonté de considérer la lumière non seulement comme un paramètre technique, mais comme un vecteur d'identité et d'expérience sensorielle de l'espace public nocturne.

3. Outils et supports utilisés

Outils graphiques : Cartes, plans, croquis, photographies, simulations lumineuses (logiciels de rendu 3D).

Outils d'analyse : Fiches d'observation, statistiques de consommation énergétique.

Logiciels : Archicad, Dialux (pour la modélisation lumineuse), Photoshop, Lumion.

4. Structure du mémoire

Ce mémoire est structuré en six chapitres principaux, précédés d'une introduction générale et suivis d'une conclusion générale, dans le but de répondre à la problématique centrale de la recherche. Chaque chapitre est accompagné d'une introduction et d'une conclusion partielle afin d'assurer la continuité et la cohérence de l'étude.

Introduction Générale

Cette partie introductive présente le contexte général de la recherche, la problématique étudiée, les hypothèses, les objectifs ainsi que la méthodologie adoptée. Elle met également en évidence l'intérêt scientifique et académique du sujet portant sur l'éclairage intelligent, la perception nocturne et les technologies innovantes appliquées à l'espace urbain.

Chapitre I : « Approche Théorique »

Ce chapitre aborde les fondements conceptuels et scientifiques liés à la lumière, à la perception nocturne et à l'intelligence urbaine. Il s'attache à définir les notions clés telles que le « Smart Lighting » et la « Smart City », tout en exposant le cadre législatif et normatif. Il analyse également les enjeux environnementaux et énergétiques, ainsi que les nouvelles technologies (LED, capteurs, IoT) indispensables à la compréhension du sujet.

Chapitre II : « Approche Innovante »

Ce chapitre est consacré à l'étude des solutions technologiques innovantes intégrées au projet. Il met l'accent sur le concept du pavé piézoélectrique, son fonctionnement, ses composantes techniques et son rôle dans la production d'énergie renouvelable à partir des déplacements piétons. Il présente également des références et études de cas de projets innovants utilisant des technologies interactives et énergétiques dans l'espace urbain.

Chapitre III : « Approche Analytique »

Consacré au cas d'étude pratique, ce chapitre présente l'analyse du contexte urbain de la ville d'Oran et plus spécifiquement du site d'intervention. Il dresse un diagnostic multidimensionnel (fonctionnel, social, architectural et paysager) pour comprendre la perception nocturne actuelle des usagers. Cette analyse permet d'identifier les dysfonctionnements et de dégager des stratégies d'intervention globales et spécifiques pour améliorer la qualité de l'espace nocturne.

Chapitre IV : « Programmation et Idéation »

Ce chapitre expose la phase conceptuelle du projet à travers la définition des orientations programmatiques, des intentions urbaines et des concepts de conception. Il présente les scénarios d'usage, les stratégies d'aménagement et les principes de continuité entre les ambiances diurnes et nocturnes. Il développe également la réflexion autour de l'intégration des dispositifs intelligents et interactifs dans l'espace urbain.

Chapitre V : « Réponse Architecturale »

Ce chapitre constitue la concrétisation spatiale et formelle du projet architectural. Il présente l'organisation fonctionnelle des espaces, la composition volumétrique, le traitement des parcours et des ambiances nocturnes ainsi que les choix architecturaux et paysagers adoptés. Il montre comment l'architecture devient un support de mise en scène lumineuse et de valorisation de l'espace public nocturne.

Chapitre VI : « Approche Technique »

Ce dernier chapitre développe les aspects techniques et constructifs du projet. Il détaille les systèmes d'éclairage intelligent retenus, les dispositifs LED adaptatifs, les capteurs de présence, les systèmes de gestion automatisée ainsi que l'intégration des pavés piézoélectriques. Il présente également les choix structurels, les matériaux utilisés et les solutions techniques favorisant la qualité lumineuse, l'efficacité énergétique et la durabilité du projet.

Enfin, une conclusion générale vient clôturer ce travail en synthétisant les principaux résultats obtenus, en vérifiant les hypothèses de recherche et en ouvrant des perspectives futures liées au développement des espaces urbains intelligents et durables.

Chapitre I : Approche théorique et l'état de l'art

1. Introduction

Ce chapitre aborde les fondements conceptuels et scientifiques liés à la lumière, à la perception nocturne et à l'intelligence urbaine, en les appliquant au contexte spécifique de la ville d'Oran.

Oran, grande métropole côtière d'Algérie, possède un patrimoine architectural, historique et urbain riche, mais son éclairage nocturne reste souvent limité à une fonction technique, sans réelle mise en valeur esthétique ou sensible.

L'enjeu aujourd'hui est donc de penser un éclairage intelligent qui ne se contente pas d'illuminer, mais qui participe à la construction d'une ambiance urbaine, à la sécurité des usagers, et à la valorisation de l'image nocturne de la ville.

2. Définition des concepts fondamentaux

1.1. Ville intelligente (Smart City)

La ville aujourd'hui est confrontée à des défis importants : la maîtrise du tissu urbain, l'intégration sociale, la protection de l'environnement, la valorisation du patrimoine, la démocratie participative ... La solution réside aujourd'hui notamment dans la gouvernance intelligente des villes, dans la migration vers des villes intelligentes (Smart cities : Des villes Connectées, écologiques, économes et attractives.

Les villes intelligentes offrent aux habitants un environnement sain, sécurisé et agréable où il fait bon vivre notamment par l'utilisation optimale des données collectées par des capteurs, des caméras etc. La connectivité (les TIC), l'internet des objets constituent alors l'infrastructure nouvelle qui irrigue les villes modernes.

La ville intelligente ne représente pas une fin en soi, mais contribue à rendre la ville durable et attractive par l'intégration de la logique environnementale à son développement, par la réduction de ses coûts et par la connectivité.

Il n'existe pas de ville intelligente-type car les ressources et les spécificités culturelles, géographiques et naturelles de chaque ville doivent constituer les clés de son développement et de son attractivité. D'ailleurs il n'existe pas une définition de la ville intelligente qui fasse l'unanimité, cela dit, on peut dire qu'elle repose sur une économie intelligente (réduction des coûts et attractivité des villes), une gouvernance intelligente (participative), un environnement intelligent (protection et durabilité), un transport intelligent (écologique) et une qualité de vie intelligente (aménagement urbain, sécurité et bien être d'une manière générale)

Il est difficile de déterminer avec exactitude la date de naissance de la ville intelligente, on peut dire néanmoins que la smart city est née de l'évolution de la smart growth (croissance intelligente) apparue dans les années 1990 qui est un courant d'urbanisme né aux Etats Unis prônant le développement durable des villes. Toutefois, c'est avec l'entreprise IBM et en vertu de l'initiative smarter planet en 2008 que les innovations technologiques vont être exploitées pour la première fois pour rendre les villes durables. La naissance de la smart city est alors le produit de cette évolution combinée.

Les villes intelligentes reposent sur le citoyen « intelligent » qui va constituer l'acteur et le producteur principal des données nécessaires à la gouvernance de la ville. En effet, les villes intelligentes sont connues pour être participatives via des plateformes en ligne où des espaces de débats, d'échanges, des appels à idées (crowdsourcing) ou à financer (crowdfunding) ou à voter sont mis en place, ce qui marque l'avènement de l'e-démocratie.

Les domaines de la ville intelligente sont nombreux, par ville intelligente il faut entendre notamment la gestion intelligente des déchets par l'utilisation des conteneurs intelligents munis de capteurs et l'exploitation des notifications des habitants via des applications développées à cet effet afin d'optimiser les itinéraires de collecte, de lutter contre la pollution et de faire des économies d'énergie. Il y a aussi l'optimisation de l'éclairage public (smart lightning) par le recours continu ou, du moins, par alternance à l'éclairage intelligent qui s'ajuste automatiquement en fonction des besoins en éclairage et en intensité (routes, espaces verts, zones touristiques...) mais aussi par l'exploitation des ressources naturelles telle que l'énergie solaire.

La mobilité intelligente (smart trafic management) est aussi une composante importante de la smart city par un aménagement urbain intelligent du circuit routier et une planification préalable des trajets, aussi par l'adoption des transports alternatifs qui traduisent une nouvelle approche de la mobilité.

Les villes intelligentes sont aussi constituées de maisons intelligentes où il fait bon vivre à travers la domotique pour une optimisation maximale des coûts et des ressources énergétiques.

Elles sont connectées et réactives aux contextes (context), écologiquement responsables (conscious), confortables (cosy) et sécurisées (secure).

Les défis des villes intelligentes sont nombreux on note principalement : une bonne connectivité, la fiabilité des données collectées, la protection des données personnelles, la qualification des ressources humaines, la protection contre le hacking et la cybercriminalité, le coût des équipements informatiques et technologiques, une société intelligente c'est-à-dire qui maîtrise l'outil informatique et qui est active sur les réseaux, une société formée et informée pour une contribution constructive.

1.2. Lumière et perception visuelle

La perception visuelle de la lumière correspond à la manière dont les êtres humains reçoivent, interprètent et réagissent aux informations lumineuses dans un environnement donné. La lumière n'est pas seulement un phénomène physique mesurable en termes d'intensité, de couleur ou de direction ; elle est également un vecteur d'expérience sensorielle, émotionnelle et cognitive.

Dans un contexte urbain ou architectural, la lumière influence directement la perception des volumes, des formes, des textures et des couleurs, ainsi que la lisibilité et la sécurité des espaces. Elle joue un rôle central dans la lecture de l'espace, en structurant la hiérarchie des éléments, en guidant les déplacements et en accentuant certaines zones par contraste ou mise en valeur.

La perception visuelle dépend de plusieurs facteurs :

1. Caractéristiques physiques de la lumière : intensité, distribution, direction, température de couleur et uniformité.
2. Conditions d'observation : angle de vue, adaptation de l'œil à la luminosité ambiante et à l'obscurité.
3. Facteurs psychologiques et culturels : expériences antérieures, attentes, habitudes, symbolique de la lumière

Ainsi, la lumière dans l'espace urbain ou architectural ne se limite pas à l'éclairage fonctionnel : elle constitue un outil de confort, d'orientation, de sécurité et d'ambiance, qui impacte à la fois le comportement des usagers et leur qualité de vie nocturne ou diurne. La compréhension de la perception visuelle est donc essentielle pour concevoir des espaces lumineux intelligents et adaptés aux besoins humains, que ce soit dans le cadre d'un éclairage public, architectural ou paysager.

1.3. Éclairage urbain

L'éclairage urbain désigne l'ensemble des dispositifs lumineux installés dans les espaces publics d'une ville afin d'assurer la sécurité, la visibilité, le confort et la mise en valeur des espaces. Il ne se limite pas à la fonction utilitaire d'éclairer la nuit : il participe également à la qualité de l'environnement urbain, à la perception des formes architecturales, des places et des axes de circulation, et à la création d'ambiances nocturnes attractives et agréables pour les usagers.

L'éclairage urbain prend en compte :

- Les besoins fonctionnels : circulation des véhicules, sécurité des piétons, prévention des accidents.
- Les dimensions sociales et culturelles : appropriation des espaces publics, valorisation du patrimoine, animation nocturne.
- Les enjeux environnementaux et énergétiques : consommation d'énergie, limitation de la pollution lumineuse, choix de sources et technologies durables.

Ainsi, l'éclairage urbain représente un outil stratégique de conception urbaine, qui contribue à la fois à la sûreté, à l'esthétique et à l'expérience sensorielle des habitants.

1.4. Éclairage intelligent (Smart Lighting)

L'éclairage intelligent, ou Smart Lighting, correspond à l'intégration de technologies numériques et de capteurs dans les systèmes d'éclairage urbain afin de contrôler, adapter et optimiser automatiquement l'intensité, la couleur et la distribution de la lumière selon le contexte, les besoins des usagers et les conditions environnementales.

Il combine :

- Automatisation et capteurs (détection de présence, luminosité ambiante, météo).
- Connectivité et systèmes de gestion centralisés (réseaux IoT, plateformes de données).
- Objectifs de durabilité : réduction de la consommation énergétique, limitation de la pollution lumineuse et adaptation aux usages nocturnes variables.

L'éclairage intelligent ne se limite pas à la technique : il permet de réinventer la perception des espaces publics, d'améliorer la sécurité et le confort visuel, de renforcer l'accessibilité et de contribuer à la qualité de vie nocturne.

1.5. Paysage intelligent

Le paysage intelligent est un concept qui intègre la technologie, l'analyse de données et les dispositifs interactifs dans l'aménagement des espaces extérieurs afin d'optimiser la relation entre l'homme et l'environnement, tout en préservant la durabilité écologique.

Il combine :

- La gestion intelligente des ressources (eau, énergie, végétation).
- L'éclairage adaptatif et la mise en valeur des éléments naturels et architecturaux.
- La perception sensorielle des usagers, en jouant sur les ambiances lumineuses, les sons et les textures.

Le paysage intelligent vise à créer des espaces urbains et naturels dynamiques, interactifs et durables, où la technologie sert à améliorer le confort, la sécurité et l'expérience esthétique, tout en respectant les équilibres environnementaux et sociaux.

1.6. Ambiance lumineuse et confort visuel

L'ambiance lumineuse correspond à l'ensemble des perceptions et ressentis visuels créés par la lumière dans un espace donné, tandis que le confort visuel désigne l'état dans lequel un utilisateur peut voir et distinguer les éléments sans effort excessif, fatigue ou gêne.

Dans les espaces urbains et architecturaux, l'ambiance lumineuse et le confort visuel sont déterminés par :

- L'intensité et la répartition de la lumière,
- La température de couleur et le rendu des couleurs,
- Les contrastes et uniformités,
- Les reflets et éblouissements,
- Les adaptations de l'œil humain à différents niveaux de luminosité.

Une bonne conception de l'ambiance lumineuse améliore l'expérience sensorielle, la sécurité, la lisibilité spatiale et le bien-être psychologique des usagers. Elle est essentielle dans les projets d'éclairage intelligent, où la lumière devient un outil de confort et d'identité pour la ville la nuit.

1.7. Hiérarchisation lumineuse des parcours

La hiérarchisation lumineuse des parcours consiste à organiser les niveaux d'éclairage dans un espace urbain selon leur fonction, leur importance et leur usage. Cette hiérarchisation permet de structurer la perception visuelle en accentuant les axes majeurs (grands boulevards, voies principales) et en modulant les trajets secondaires ou piétonniers. Elle aide les usagers à s'orienter, à distinguer les zones de déplacement des zones de séjour et à percevoir plus clairement la structure spatiale de la ville la nuit. Une hiérarchisation réussie améliore la sécurité, renforce le confort visuel et enrichit l'expérience nocturne des habitants et visiteurs. C'est une composante essentielle de la conception nocturne qui ne se limite pas à éclairer, mais qui compose des parcours lisibles et attractifs.

1.8. Lisibilité nocturne

La **lisibilité nocturne** renvoie à la capacité d'un espace urbain d'être compris, interprété et assimilé par les usagers au cours de la nuit. Elle dépend essentiellement de l'organisation lumineuse : placement des luminaires, intensité, contraste, mise en avant des repères visuels.

Une bonne lisibilité permet à l'usager d'« lire » l'environnement, de repérer les points d'intérêt, les axes directs et les transitions spatiales. Elle atténue la sensation d'isolement, diminue l'anxiété liée à l'obscurité et encourage l'appropriation des espaces publics après le coucher du soleil.

La lisibilité nocturne influence directement le sentiment de sécurité et la qualité de l'expérience urbaine.

1.9. Gestion intelligente de l'énergie

La gestion intelligente de l'énergie dans le contexte urbain désigne l'utilisation de systèmes technologiques, connectés et automatisés pour optimiser la consommation d'énergie des infrastructures, notamment l'éclairage public. Plutôt que d'allumer tous les luminaires à pleine puissance toute la nuit, ces systèmes adaptent l'intensité en temps réel selon le trafic, la présence de personnes ou les conditions environnementales. Cela permet d'importantes économies d'énergie, une réduction des coûts d'exploitation municipaux et une diminution des émissions de gaz à effet de serre — objectifs centraux des villes intelligentes et durables.

1.10. Système d'éclairage connecté

Un **système d'éclairage connecté** désigne un ensemble de luminaires intégrés dans un réseau numérique (souvent via l'Internet des Objets — IoT) qui permet de piloter, surveiller et ajuster chaque point lumineux à distance. Ces systèmes collectent des données (trafic, luminosité, environnement) et permettent à la puissance lumineuse d'être modulée en fonction des besoins réels, tout en fournissant des informations utiles pour la maintenance, la planification urbaine et d'autres services intelligents (capteurs environnementaux, caméras, bornes communicantes).

1.11. Éclairage dynamique

L'éclairage dynamique est un système lumineux capable de modifier ses paramètres — intensité, couleur, distribution — en fonction du contexte ou des scénarios programmés. Contrairement à l'éclairage statique, il peut adapter son comportement à différents usages (événements publics, horaire, saisons) et contribuer à créer des ambiances spécifiques. L'éclairage dynamique est l'un des piliers des stratégies d'ambiance nocturne, car il rend l'espace plus attractif, plus vivant et mieux adapté aux besoins des usagers de la nuit.

1.12. Éclairage adaptatif

L'éclairage adaptatif est une forme avancée d'éclairage intelligent dans laquelle les luminaires ajustent automatiquement leur intensité lumineuse en fonction des conditions réelles — présence piétonne, luminosité ambiante ou trafic. Il s'agit de répondre à la demande réelle, réduire la consommation excessive et améliorer le confort des usagers sans gaspillage énergétique. Ce type de système s'inscrit pleinement dans les stratégies de développement durable et de smart city.

1.13. Requalification nocturne des espaces publics

La requalification nocturne des espaces publics désigne l'ensemble des interventions — urbaines, architecturales, lumineuses — visant à améliorer la qualité, la sécurité, l'attractivité et la fonctionnalité des espaces de la ville la nuit. Elle ne se limite pas à éclairer, mais à transformer la nuit en un moment qualitatif de vie urbaine grâce à des stratégies lumineuses cohérentes, des parcours lisibles et des ambiances fortes qui encouragent l'usage des espaces après le coucher du soleil.

1.14. Parcours lumineux structurant

Un parcours lumineux structurant est un ensemble d'espaces ou de lignes d'éclairage conçus pour relier des lieux d'intérêt dans la ville, pour encourager les déplacements ou mettre en valeur des éléments urbains ou culturels. C'est une stratégie qui considère l'éclairage non plus comme un simple outil fonctionnel, mais comme un outil d'organisation spatiale capable de donner du sens à la nuit urbaine et de créer une continuité visuelle et sociale entre les différents éléments du tissu urbain.

1.15. Mobilier urbain intelligent

Le mobilier urbain intelligent désigne des éléments d'ameublement public (bancs, lampadaires, bornes) intégrés à des technologies numériques ou énergétiques qui leur permettent d'interagir avec les usagers ou l'environnement (capteurs, connectivité, production d'énergie, données urbaines). Ce mobilier devient ainsi une infrastructure active améliorant les services urbains — éclairage, connectivité, information — et participant à la transformation des villes en systèmes intelligents et durables.

3. Les enjeux environnementaux et énergétiques liés à l'éclairage urbain

L'éclairage urbain est essentiel pour assurer la sécurité, la circulation et la vie nocturne dans les villes. Cependant, il soulève des **enjeux énergétiques** importants et des **impacts environnementaux** parfois sous-estimés. Ce chapitre met en évidence ces enjeux, leurs causes, leurs conséquences et des solutions possibles.

1.1. Enjeux énergétiques

A. Consommation d'énergie

L'éclairage public représente une part significative de la consommation électrique des collectivités. En France, par exemple, le parc d'éclairage public consomme environ 1300 MW, soit l'équivalent de la puissance fournie par une tranche nucléaire à pleine charge, Et représente 41 % de la consommation électrique des communes ainsi qu'une source importante de CO₂.

B. Efficacité énergétique

Les technologies d'éclairage influencent fortement la consommation d'énergie. Les lampes traditionnelles (mercure, sodium, etc.) sont moins efficaces que les systèmes modernes comme les LED ou l'éclairage intelligent, qui permettent des économies d'énergie significatives tout en offrant une durée de vie plus longue.

C. Impact climatique

La production d'électricité nécessaire pour l'éclairage urbain, souvent issue de sources fossiles, contribue à l'émission de gaz à effet de serre (GES), augmentant l'empreinte carbone des villes. L'éclairage artificiel représente plusieurs pourcentages de la consommation mondiale d'électricité (environ 16,5 % de la production d'électricité mondiale selon certaines estimations) et peut être responsable d'une part significative des émissions de CO₂.

1.2. Enjeux environnementaux

A. Pollution lumineuse

La pollution lumineuse, l'émission excessive ou mal orientée de lumière artificielle, est l'un des principaux impacts environnementaux liés à l'éclairage urbain. Elle provoque une dispersion de lumière dans le ciel, altérant le cycle naturel jour-nuit, perturbe les rythmes biologiques des êtres vivants et masque le ciel étoilé.

Impacts directs de la pollution lumineuse :

- **Écosystèmes et biodiversité**

L'éclairage artificiel interfère avec les comportements animaliers (migration, reproduction, alimentation) et perturbe les espèces nocturnes comme les chauves-souris, les insectes ou certaines espèces migratrices.

- **Perturbation du cycle circadien humain**

L'exposition à la lumière artificielle peut perturber les rythmes biologiques humains, affecter la production de mélatonine et avoir des conséquences sur le sommeil et la santé.

- **Effets sur la vision du ciel nocturne**

La pollution lumineuse réduit la visibilité des étoiles : par exemple, près de 36 % de la population mondiale ne peut plus observer la Voie lactée depuis les zones urbanisées.

B. Impacts sur les écosystèmes

L'éclairage urbain modifie les comportements et cycles biologiques des espèces, notamment :

- Désorientation des insectes autour des sources lumineuses, affectant ainsi la chaîne alimentaire.
- Modification des migrations d'oiseaux et perturbation des systèmes de navigation nocturne.

4. Nouvelles tendances et technologies d'éclairage intelligent

1.3. L'essor des LED dans l'éclairage urbain

Les LED (diodes électroluminescentes) sont la base de l'éclairage intelligent moderne :

- Elles consomment beaucoup moins d'énergie que les lampes traditionnelles, avec une durée de vie plus longue et une meilleure efficacité lumineuse.
- Leur intégration facilite le contrôle précis de la luminosité, la gradation dynamique et l'adaptation aux besoins réels des usagers.

Impact : les LED permettent de réduire significativement la consommation énergétique et donc les coûts et les émissions de CO₂ liées à l'éclairage public.

1.4. Capteurs et systèmes d'ajustement dynamique

Les capteurs sont au cœur de l'éclairage intelligent. Ils permettent d'adapter l'éclairage en temps réel en fonction des conditions :

- Capteurs de présence qui détectent la circulation piétonne ou véhicule pour augmenter l'intensité seulement quand c'est nécessaire.
- Capteurs de luminosité qui ajustent automatiquement l'éclairage selon la clarté naturelle.
- Certains systèmes combinent plusieurs types de capteurs pour optimiser l'efficacité énergétique et l'expérience utilisateur.

1.5. Internet des Objets (IoT) et gestion connectée

L'IoT transforme les lampadaires en objets communicants, reliés à des plateformes de gestion centralisée :

- Les lampadaires IoT permettent la télésurveillance, la détection automatique de pannes, la collecte de données en temps réel et l'ajustement optimisé de la luminosité.
- L'intégration d'IoT et de réseaux de communication (LoRaWAN, fibre, 5G, etc.) permet une gestion efficace à grande échelle, depuis des plateformes cloud.
- Exemple concret : à Barcelone, plus de 1100 lampadaires intelligents équipés de capteurs et connectés ont permis une réduction d'environ 30 % de la consommation électrique par rapport aux systèmes classiques.

1.6. Systèmes de contrôle centralisé

Des plateformes logicielles dédiées permettent aux municipalités de superviser et piloter totalement l'éclairage urbain depuis un tableau de bord unique :

- Contrôle individuel ou groupé des luminaires.
- Détection instantanée des pannes.
- Ajustement automatisé des horaires et des niveaux de luminosité.
Un exemple est la plateforme CityTouch de Philips Lighting, qui aide à surveiller chaque point lumineux via une interface IoT.

1.7. Standards et protocoles d'interopérabilité

Pour garantir que différents équipements et logiciels puissent communiquer entre eux, des protocoles comme TALQ ou DALI sont utilisés :

- TALQ Protocol est un standard international pour relier les réseaux d'équipements urbains intelligents à des logiciels de gestion centralisée. Il facilite l'interopérabilité entre équipements de différentes marques et applications smart city.
- DALI (Digital Addressable Lighting Interface) permet de contrôler précisément chaque luminaire LED via un bus de communication dédié.

1.8. Tendances émergentes

Voici quelques évolutions technologiques et usages en pleine croissance :

- Smart pôles multifonctionnels : les lampadaires deviennent des hubs urbains intégrant caméras, capteurs environnementaux ou hotspots Wi-Fi, maximisant ainsi l'usage des infrastructures existantes.
- Intégration de sources d'énergie renouvelable : certains systèmes smart lighting associent LED et panneaux solaires, augmentant la durabilité et réduisant la dépendance au réseau classique.
- Connectivité 5G : l'arrivée de réseaux 5G renforce la fiabilité et la rapidité de communication entre capteurs, luminaires et plateformes IoT, permettant des applications plus réactives et fluides.

5. Cadre législatif et normatif de l'éclairage public

L'éclairage public est régi par un ensemble de normes et de textes législatifs visant à **assurer la sécurité, le confort visuel, l'efficacité énergétique et la protection de l'environnement**.

La réglementation encadre à la fois les **aspects techniques** (niveau lumineux, uniformité, indice de rendu des couleurs), les **aspects environnementaux** (réduction de la pollution lumineuse, consommation énergétique) et les **aspects sociaux** (sécurité, appropriation des espaces publics).

1.9. Références internationales

Les normes internationales servent de référence pour la conception et la gestion de l'éclairage public dans le monde. Elles incluent notamment :

- **CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) :**

- La CIE définit les recommandations relatives aux niveaux d'éclairement, aux uniformités lumineuses et aux indices de rendu des couleurs pour différents types de voiries et d'espaces urbains.

- Elle fournit également des lignes directrices pour l'éclairage durable et la limitation de la pollution lumineuse.
- Qui établit les standards sur la perception visuelle, la couleur de la lumière, l'éblouissement et la sécurité photométrique

1. La perception visuelle

La CIE établit des normes pour garantir un niveau de visibilité optimal, selon le type d'espace :

- Sur une rue → l'éclairage doit permettre de voir clairement les obstacles et les piétons.
- Dans un parc → il doit créer une ambiance agréable et sécurisante, sans excès de lumière.

Objectif : assurer que la lumière révèle correctement les formes, les couleurs et les distances, sans fatiguer la vue.

2. La couleur de la lumière (température de couleur et rendu des couleurs)

La CIE normalise la température de couleur, exprimée en Kelvins (K) :

- 2 700–3 000 K → lumière chaude (jaune/orange, ambiance douce et conviviale).
- 4 000–5 000 K → lumière neutre (blanc naturel, bonne visibilité).
- 6 000–6 500 K → lumière froide (bleutée, forte intensité, effet technique).

3. L'éblouissement et la sécurité photométrique

L'éblouissement, c'est quand une source lumineuse est trop forte ou mal orientée, ce qui provoque :

- une perte de confort visuel,
- voire une dangerosité (sur la route ou dans les zones piétonnes).

La CIE fixe donc :

- Des valeurs maximales d'intensité lumineuse,
 - Des angles d'installation pour éviter que la lumière frappe directement les yeux,
 - Et des critères de contraste pour équilibrer zones claires et sombres
- **EN 13201 (European Standard for Road Lighting)**
 - Norme européenne détaillant les exigences pour l'éclairage des routes, rues et voies piétonnes.
 - Elle définit des classes de performance lumineuse selon le type de route, le trafic et les conditions de sécurité.
 - Elle prend en compte l'efficacité énergétique et le confort visuel des usagers.

1.10. Références nationales

En Algérie, le cadre normatif et législatif pour l'éclairage public repose sur plusieurs documents :

- **Normes algériennes de l'éclairage public** : définissent les niveaux minimums d'éclairement et les critères d'uniformité selon les types de voies.
- **RTEB (Réglementation Thermique de l'Éclairage Bâtiment / Énergie)** : oriente la **gestion énergétique des installations d'éclairage public et privé**, encourage l'usage de solutions LED et l'optimisation des horaires d'éclairage.
- **Orientations ministérielles et circulaires** : fixent les **objectifs de sécurité, de confort et de respect de l'environnement**, notamment la limitation de la pollution lumineuse et l'adoption de systèmes intelligents.

6. Conclusion

- Le cadre législatif, les enjeux environnementaux et les innovations technologiques montrent que l'éclairage urbain évolue vers une approche plus durable, plus connectée et plus humaine.
- c'est aussi redéfinir sa relation à la nuit, valoriser son patrimoine et offrir une nouvelle expérience urbaine à ses habitants.

Ainsi, la lumière devient un vecteur d'identité et de durabilité, au cœur de la transformation d'Oran en ville intelligente du futur.

Chapitre II : Etape innovante



1. Introduction

Dans une perspective d'innovation et de développement durable, le quartier intègre des solutions technologiques visant à améliorer la performance environnementale et l'interactivité des espaces extérieurs. Parmi ces solutions, **le pavé piézoélectrique** constitue une technologie innovante permettant de transformer l'énergie mécanique produite par les déplacements des usagers en énergie électrique exploitable. Grâce à un système basé sur le principe de la piézoélectricité, chaque pression exercée sur le sol génère une petite quantité d'énergie pouvant être stockée et réutilisée pour alimenter différents équipements tels que l'éclairage extérieur, les dispositifs signalétiques ou certains mobiliers urbains intelligents.

L'intégration de ce système au sein du projet s'inscrit dans une démarche écologique favorisant l'utilisation des énergies renouvelables et la réduction de la consommation énergétique conventionnelle. Placés principalement dans les zones de forte fréquentation comme les promenades, les espaces publics, les accès principaux et les lieux de rassemblement, les pavés piézoélectriques permettent de valoriser les flux de circulation des visiteurs tout en participant activement au fonctionnement énergétique du site.

Au-delà de son aspect technique, cette innovation apporte également une dimension pédagogique et interactive au projet architectural. Elle sensibilise les usagers à l'importance des technologies durables et crée une relation directe entre l'utilisateur et son environnement bâti. Chaque déplacement devient ainsi une contribution symbolique et fonctionnelle à la production d'énergie, renforçant l'idée d'un espace culturel vivant, participatif et intelligent.

Par ailleurs, l'utilisation des pavés piézoélectriques contribue à renforcer l'image contemporaine et technologique du centre des cultures vivantes. Cette solution s'intègre harmonieusement dans l'aménagement paysager et urbain du projet tout en améliorant la qualité des espaces extérieurs. Elle reflète une architecture tournée vers l'innovation, capable de répondre aux enjeux environnementaux actuels tout en offrant une expérience urbaine moderne et immersive aux visiteurs.

2. Les fondements théoriques

➤ Le concept du pavé piézoélectrique

Le pavé piézoélectrique représente une innovation technologique intégrée dans les espaces urbains afin de produire une énergie propre et renouvelable à partir des mouvements des

usagers. Son concept repose sur la valorisation de l'énergie mécanique générée par les pas, les vibrations et les pressions exercées sur le sol dans les zones de forte circulation. Cette technologie s'inscrit dans une démarche de développement durable et d'architecture intelligente visant à réduire la consommation énergétique conventionnelle tout en sensibilisant les utilisateurs à l'importance des énergies renouvelables.

Dans le site, le pavé piézoélectrique constitue une solution innovante permettant de transformer les déplacements quotidiens des visiteurs en une source d'énergie exploitable. Placés dans les promenades, les accès principaux et les espaces publics les plus fréquentés, ces pavés participent à l'alimentation de certains équipements tels que l'éclairage extérieur, les dispositifs interactifs ou le mobilier urbain intelligent. Cette technologie permet ainsi de créer une relation directe entre l'usager et l'espace architectural, où chaque mouvement devient une contribution active au fonctionnement énergétique du projet.

Au-delà de son aspect technique, le concept du pavé piézoélectrique apporte également une dimension pédagogique et interactive à l'espace urbain. Il encourage les visiteurs à prendre conscience de l'impact de leurs actions sur l'environnement et reflète l'image d'une architecture contemporaine orientée vers l'innovation, l'écologie et l'intelligence urbaine.



Figure 1 : Pavé piézoélectrique

Source : www.pavegen.com

➤ Définition du pavé piézoélectrique

Le pavé piézoélectrique est un dispositif technologique capable de convertir l'énergie mécanique produite par une pression ou une vibration en énergie électrique grâce à l'utilisation de matériaux piézoélectriques. Ces matériaux possèdent la propriété physique de générer une charge électrique lorsqu'ils subissent une déformation mécanique.

Ce système est généralement intégré dans le sol des espaces publics à forte fréquentation afin de récupérer l'énergie produite par les déplacements des piétons. L'électricité générée peut ensuite être stockée dans des batteries ou directement utilisée pour alimenter certains équipements urbains tels que l'éclairage public, les écrans interactifs ou les capteurs intelligents.

Le pavé piézoélectrique représente aujourd'hui une solution innovante dans les projets d'architecture durable et les villes intelligentes, puisqu'il permet de produire une énergie renouvelable sans émission polluante tout en optimisant les espaces de circulation urbaine.

➤ **Fonctionnement du pavé piézoélectrique**

- Le système du pavé piézoélectrique fonctionne grâce à des disques piézoélectriques placés sous la surface du pavé. Lorsqu'un usager marche sur le pavé, la pression exercée crée une déformation mécanique au niveau des disques. Cette déformation provoque la génération d'un courant électrique alternatif (AC) grâce à l'effet piézoélectrique.
- L'électricité produite par les disques étant instable et de faible tension, elle ne peut pas être utilisée directement. Elle passe donc par plusieurs étapes de traitement électrique afin d'être exploitée efficacement.
- Dans un premier temps, le courant alternatif généré est envoyé vers un redresseur composé d'un pont de diodes. Ce pont de diodes a pour rôle de convertir le courant alternatif produit par les disques piézoélectriques en courant continu (DC). Cette étape est essentielle car les systèmes de stockage et les équipements d'éclairage fonctionnent généralement avec du courant continu stable.
- Après le redressement, l'énergie traverse un condensateur qui permet de stabiliser la tension électrique et de réduire les variations du courant produites par les pressions irrégulières des pas des usagers. Le condensateur joue ainsi un rôle de filtrage et d'amélioration de la qualité du signal électrique.
- L'énergie stabilisée est ensuite dirigée vers une batterie rechargeable. Ce stockage permet d'accumuler l'énergie produite au fil des passages piétons afin de l'utiliser ultérieurement pour alimenter différents dispositifs urbains.
- Enfin, l'énergie stockée peut être utilisée pour alimenter des systèmes d'éclairage intelligent, des bandes LED interactives, des capteurs urbains ou encore des équipements connectés intégrés dans l'espace public.
- Le fonctionnement global du système peut être résumé ainsi :

Pression des pas → Déformation des disques piézoélectriques → Production d'un courant alternatif → Redressement par pont de diodes → Stabilisation par condensateur → Stockage de l'énergie → Alimentation des dispositifs urbains intelligents.

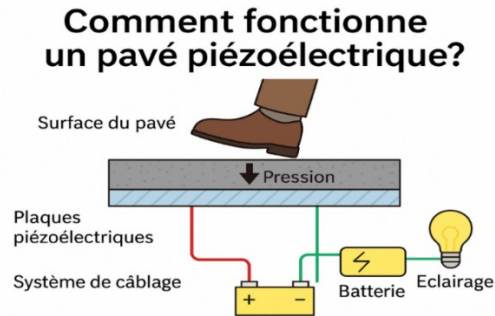


Figure 2 : Schéma du Système du pavé piézoélectrique

Source : Schéma réalisé par les auteurs à l'aide de l'intelligence artificielle.

3. Etat de l'art

Dans le cadre de cette recherche, plusieurs articles, organismes et références technologiques ont été étudiés afin de comprendre les principes des systèmes énergétiques intelligents et leur intégration dans les projets urbains contemporains. Ces références ont permis d'approfondir les connaissances sur les technologies durables, les villes intelligentes ainsi que les dispositifs interactifs utilisés dans les espaces publics. Elles ont également constitué une base théorique importante pour le développement du concept innovant.

Article 1 : Pavegen Systems

- Concept : Production d'énergie électrique à partir des pas des piétons grâce aux pavés piézoélectriques installés dans les espaces publics.
- Matériaux utilisés : Disques piézoélectriques, plaques métalliques, pavés résistants, fils conducteurs, pont de diodes, batterie de stockage, LED.
- Méthode : La pression exercée par les pas provoque une déformation des matériaux piézoélectriques qui génèrent un courant électrique ensuite redressé et stocké pour alimenter l'éclairage.

Article 2: Sustainable Energy Harvesting Using Piezoelectric Tiles

- Concept : Transformation de l'énergie mécanique des mouvements humains en énergie électrique renouvelable.

- Matériaux utilisés : Capteurs piézoélectriques en céramique, pont de diodes redresseur, transformateur, batterie rechargeable, LED, câbles électriques.
- Méthode : Les capteurs sont assemblés sous des dalles piétonnes afin de récupérer les vibrations et les pressions des pas pour produire puis stocker l'électricité.

Article 3 : Smart Piezoelectric Road and Footstep Energy Generation

- Concept : Utilisation des routes et trottoirs intelligents pour produire de l'électricité à partir des déplacements et vibrations urbaines.
- Matériaux utilisés : Disques piézoélectriques, plaques de support métalliques, redresseur électrique, système de stockage, LED, structure de protection.
- Méthode : Les capteurs sont placés sous une plaque mobile qui transmet les pressions mécaniques vers les matériaux piézoélectriques afin de générer une tension électrique récupérable.

Article 4 : Application of Piezoelectric Materials in Urban Spaces

- Concept : Exploitation des mouvements des piétons dans les espaces urbains afin de produire une énergie propre et durable grâce aux matériaux piézoélectriques.
- Matériaux utilisés : Capteurs piézoélectriques en quartz et en céramique, plaques de compression, pont de diodes, condensateurs, batterie rechargeable, LED.
- Méthode : Les capteurs sont intégrés sous des pavés urbains résistants. À chaque pression exercée par les usagers, une charge électrique est générée puis stockée pour alimenter des équipements urbains.

Article 5 : Piezoelectric Energy Generation Floor System

- Concept : Création d'un sol intelligent capable de convertir l'énergie mécanique des pas en énergie électrique utilisable dans les bâtiments et espaces publics.
- Matériaux utilisés : Disques piézoélectriques, support en bois ou en métal, ressorts mécaniques, câbles conducteurs, redresseur, batterie, ampoules LED.
- Méthode : Le système fonctionne par compression mécanique des capteurs piézoélectriques lorsque les utilisateurs marchent sur la surface. L'électricité produite est ensuite redressée et utilisée pour alimenter un système d'éclairage.

4. Protocole expérimental

Dans le cadre de ce projet, un prototype à l'échelle de maquette a été réalisé afin de tester le principe de récupération d'énergie par piézoélectricité appliqué aux espaces piétons. Ce dispositif simule le fonctionnement d'un pavé intelligent capable de transformer l'énergie mécanique issue des pas en énergie électrique utilisable.

À cette échelle, le dispositif permet uniquement de **générer une faible tension électrique**, suffisante pour des tests visuels comme l'allumage d'une LED ou la mesure via un multimètre. Donc le prototype ne vise pas une production énergétique réelle à grande échelle, mais plutôt la validation du principe de conversion énergie mécanique en énergie électrique.

➤ Matériaux et composants utilisés

Le prototype est composé des éléments suivants :

- **Disques piézoélectriques** : éléments principaux assurant la conversion de la pression mécanique en énergie électrique.
- **Pont de diode redresseur** : permet de transformer le courant alternatif produit par les capteurs en courant continu exploitable.
- **Transformateur (ou module d'adaptation)** : utilisé pour stabiliser et adapter la tension générée.
- **Batterie rechargeable** : sert au stockage de l'énergie produite.
- **LED** : utilisée comme indicateur visuel de production d'énergie.
- **Interrupteur** : permet de contrôler le circuit et d'activer ou désactiver le système.
- **Multimètre** : utilisé pour mesurer la tension et vérifier les performances du dispositif.
- **Support de maquette (bois)** : structure portant l'ensemble du système.
- **Plaque métallique supérieure** : assure la répartition uniforme de la pression exercée par les pas des usagers sur l'ensemble du système.
- **Ressorts métalliques** : permettent le mouvement vertical du pavé, absorbent les chocs mécaniques et assurent le retour de la plaque à sa position initiale après chaque compression.

Ces matériaux ont été choisis pour leur simplicité d'utilisation et leur capacité à reproduire un système réel à petite échelle.

➤ Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du prototype repose sur une chaîne de conversion énergétique :

1. Une pression est appliquée sur la surface de la maquette (simulation du pas humain).
2. Les disques piézoélectriques transforment cette pression en signal électrique alternatif.
3. Le pont de diode redresse ce courant afin de le rendre continu.
4. Le transformateur ou module de régulation stabilise la tension obtenue.
5. L'énergie est soit stockée dans une batterie, soit directement utilisée pour alimenter une LED.
6. Le multimètre permet de mesurer la tension générée à chaque test.

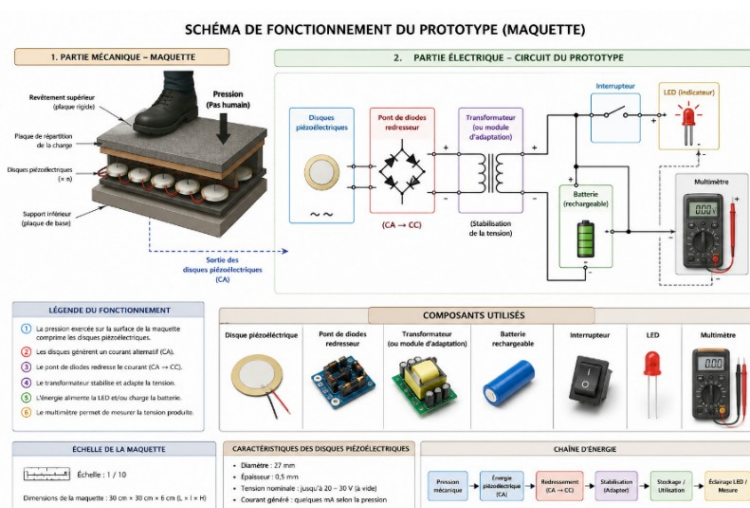


Figure 3 : Schéma de fonctionnement du prototype

Source : Schéma réalisé par les auteurs à l'aide de l'intelligence artificielle

➤ Tests réalisés sur le prototype et les résultats obtenus

Test n°1 : Vérification du fonctionnement des disques piézoélectriques



Figure 4 : Soudure et câblage des disques piézoélectriques

Source : Cliché des auteurs.

- **Objectif :** Vérifier que les disques génèrent bien un signal électrique sous pression.
- **Procédure :** Une pression manuelle légère a été appliquée directement sur la surface du prototype.
- **Résultat obtenu :** Le multimètre a détecté une faible tension électrique instantanée, confirmant le bon fonctionnement des capteurs piézoélectriques.



Figure 5 : Tester le fonctionnement des disques piézoélectriques par un multimètre

Source : Cliché des auteurs.

Test n°2 : Test de pression avec ressorts métalliques

- **Objectif :** Évaluer l'effet des ressorts sur la répartition de la charge.
- **Méthode :** Transmettre la charge aux ressorts puis aux capteurs.
- **Résultat :** Les ressorts ont permis : une meilleure répartition de la pression, une protection des capteurs et une légère amélioration de la réponse électrique.

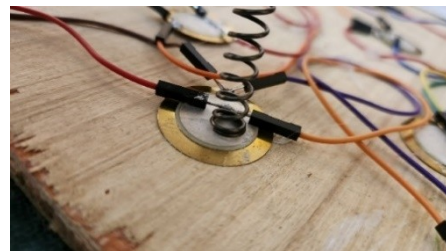


Figure 6 : Test de pression avec ressorts métalliques

Source : Cliché des auteurs.

Test n°2 : Variation de la tension selon la pression appliquée

- **Objectif :** Étudier l'influence de l'intensité de la pression sur la tension produite.

➤ **Procédure :** Différentes pressions ont été appliquées sur la maquette :

- pression légère ; pression moyenne, pression forte.

➤ **Résultats obtenus**

Intensité de la pression	Tension générée
Faible pression	0.8 V
Pression moyenne	1.6 V
Forte pression	2.4 V

Tableau 1 : Variation de la tension selon la pression appliquée

Source : Par l'auteurs

Interprétation

Les résultats montrent que la tension augmente proportionnellement à la force appliquée sur les disques piézoélectriques.

Test n°3 : Vérification du redressement du courant

- **Objectif :** Tester le rôle du pont de diode redresseur.
- **Procédure :** Le circuit a été connecté au pont de diode puis observé à l'aide du multimètre.
- **Résultat obtenu :** Le courant alternatif généré par les disques a été converti en courant continu stable, permettant l'alimentation de la LED.

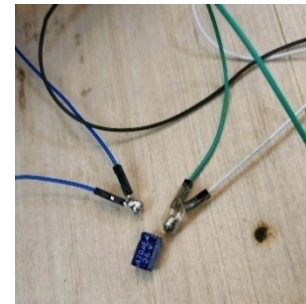
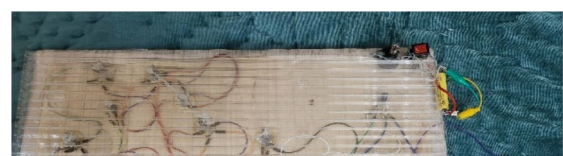


Figure 7: Vérification du redressement du courant

Source : Cliché des auteurs.

Test n°4 : Test d'allumage de la LED

- **Objectif :** Vérifier l'utilisation directe de l'énergie produite.
- **Procédure :** Le système a été connecté à une LED après le redressement du courant.
- **Résultat obtenu :** La LED s'est allumée brièvement lors de l'application de la pression, démontrant la capacité du prototype à alimenter un petit dispositif électrique.



Résultats finaux obtenus

Les expérimentations réalisées à travers le prototype ont permis de confirmer le bon fonctionnement du système piézoélectrique intégré au projet. La pression exercée sur la surface active génère une énergie électrique capable d’alimenter un dispositif lumineux, démontrant ainsi la possibilité de transformer les déplacements des usagers en source d’énergie renouvelable.

5. Avantages du pavé intelligent

Figure 8: Prototype final
Source : Cliché des auteurs.

Avantage	Explication
Énergie renouvelable	Le système produit une énergie propre à partir des pas des piétons.
Réduction de la consommation électrique	Il permet de diminuer l’utilisation des sources d’énergie classiques.
Système écologique	Aucun rejet polluant n’est produit pendant le fonctionnement.
Valorisation des mouvements humains	L’énergie mécanique des déplacements est transformée en énergie utile.
Intégration urbaine facile	Les pavés peuvent être installés dans les trottoirs, places et espaces publics.
Technologie innovante	Le système représente une solution moderne pour les villes intelligentes.
Alimentation de petits équipements	L’énergie générée peut alimenter des LED ou des capteurs urbains.
Possibilité de stockage	L’énergie produite peut être stockée dans une batterie rechargeable.
Adaptation à grande échelle	Les performances augmentent avec une surface et un nombre de capteurs plus importants.
Longue durée de vie	Les matériaux piézoélectriques possèdent une bonne résistance et peuvent fonctionner pendant plusieurs années avec un entretien limité.

Tableau 2: Avantages du pavé intelligent
Source : Par l’auteurs

6. Intégration architecturale

Lieu d’intégration	Explication	Exemple visuel
--------------------	-------------	----------------

architecturale		
Trottoirs urbains	Production d'énergie grâce au passage quotidien des piétons.	 Source : https://www.pavegen.com
Places publiques	Valorisation des espaces à forte fréquentation.	 Source : https://www.pavegen.com
Centres commerciaux	Récupération de l'énergie générée par les visiteurs.	 Source : https://www.pavegen.com
Gares et stations de métro	Utilisation du flux important des usagers pour produire de l'électricité.	 Source : https://www.pavegen.com
Campus universitaires	Intégration dans les espaces de circulation des étudiants.	 Source : https://www.pavegen.com
Centres culturels	Association entre innovation technologique et architecture contemporaine.	 Source : https://www.pavegen.com
Parcs et espaces verts	Alimentation de l'éclairage extérieur et du mobilier urbain.	 Source : https://www.pavegen.com
Aéroports	Exploitation des déplacements continus des voyageurs.	 Source : https://www.pavegen.com

Espaces événementiels	Production énergétique pendant les événements à forte affluence.	 Source : https://www.pavegen.com
-----------------------	--	---

Tableau 3: Intégration architecturale du pavé intelligent

7. Conclusion

Ce chapitre consacré au pavé piézoélectrique montre que cette innovation s'inscrit dans une logique de réponse à plusieurs enjeux urbains majeurs, notamment la production d'énergie durable et l'amélioration de l'éclairage public.

En transformant l'énergie mécanique des pas en électricité, ce dispositif permet d'alimenter partiellement des systèmes d'éclairage, réduisant ainsi la dépendance aux sources d'énergie classiques.

Au-delà de l'aspect énergétique, cette technologie participe à une démarche de durabilité en valorisant les espaces fortement fréquentés et en limitant les pertes énergétiques. Elle contribue également à renforcer la notion de ville intelligente, où les déplacements des usagers deviennent une ressource.

Ainsi, le pavé piézoélectrique répond à une double problématique : celle de l'optimisation de l'éclairage urbain et celle de la transition vers des systèmes plus durables et autonomes sur le plan énergétique

Chapitre III : Approche Analytique

1. Introduction

Ce chapitre s'inscrit dans la continuité du cadre théorique précédent. Il a pour objectif d'analyser le contexte urbain de la ville d'Oran et d'examiner les caractéristiques du site d'étude afin de comprendre son organisation spatiale, ses dynamiques sociales et environnementales, ainsi que ses potentialités d'aménagement.

Cette approche analytique vise à observer la réalité du quartier, à évaluer la qualité de l'espace public et à identifier les enjeux liés au confort, à la sécurité et à l'attractivité urbaine.

Elle permet ainsi d'établir un diagnostic global reliant la réflexion théorique à la pratique, en s'appuyant sur un cas concret représentatif des transformations urbaines actuelles à Oran.

2. Présentation de la ville d'Oran

La ville d'Oran est située à l'ouest de l'Algérie. Elle constitue la capitale économique et culturelle de l'Ouest algérien. Elle s'étend sur une superficie d'environ 2.007.64 Km². Selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 2008, la population de la commune d'Oran était estimée à 852 000 habitants. D'après les estimations de 2014, la population aurait atteint près de 960 000 habitants, soit une densité moyenne d'environ 457 habitants par km².

Oran est une collectivité publique territoriale et une circonscription administrative de l'État. Elle a été érigée en wilaya lors du découpage administratif du 2 juillet 1974. La ville occupe un rôle stratégique en tant que grand port maritime, centre industriel, pôle universitaire et carrefour commercial reliant le nord, le sud et l'ouest du pays.

1.1. Aspect Administratif

Oran a été érigée en wilaya lors du découpage administratif du 2 juillet 1974, elle est subdivisée en 9 daïras et 26 communes.

◆ Les daïras de la wilaya d'Oran sont :

- Boutléfis
- Aïn El Turck
- Bethioua
- Gdyl
- Oran
- Bir El Djir
- Es-Sénia
- Arzew Oued
- Tlélât

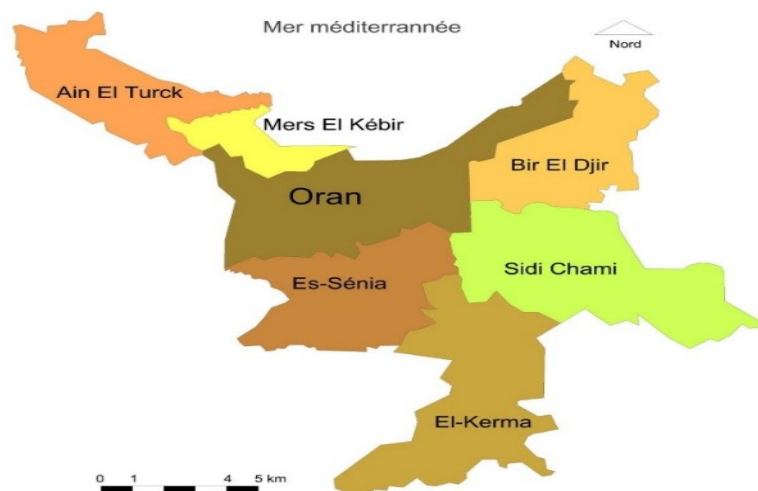


Figure 9: Les Dairas de la wilaya d'Oran

Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ADZ_31_Oran.svg

1.2. Rôle administratif

La wilaya d'Oran joue un rôle administratif, économique et stratégique majeur dans l'Ouest algérien. Elle abrite plusieurs institutions régionales, des zones industrielles, des infrastructures portuaires et universitaires, ainsi qu'un réseau routier dense reliant les principales communes entre elles et aux wilayas voisines.

3. Motivation du choix de la ville d'Oran

Le choix d'Oran comme terrain d'étude s'inscrit dans une démarche scientifique et stratégique visant à analyser la problématique de l'éclairage intelligent dans un contexte urbain réel, complexe et en mutation. En tant que deuxième métropole du pays et pôle majeur de l'ouest algérien, Oran constitue un laboratoire urbain pertinent pour interroger la qualité des espaces publics nocturnes et leur adaptation aux enjeux contemporains.

D'une part, la ville connaît une dynamique d'expansion urbaine rapide, marquée par l'étalement spatial, la diversification des fonctions et l'apparition de nouveaux quartiers périphériques. Cette croissance, souvent orientée vers des impératifs quantitatifs (logement, infrastructures, mobilité), a laissé en arrière-plan la question qualitative de l'ambiance nocturne et de la structuration lumineuse des espaces publics.

Il existe ainsi un décalage entre le développement physique de la ville et la maîtrise de son image nocturne.

D'autre part, Oran possède un potentiel territorial significatif : diversité morphologique, présence d'axes structurants, équipements culturels, polarités urbaines et espaces publics en transformation. Pourtant, cette richesse spatiale n'est pas pleinement révélée la nuit, en raison d'une approche essentiellement fonctionnelle de l'éclairage, centrée sur la visibilité minimale plutôt que sur la mise en valeur, la lisibilité et l'expérience urbaine.

Le choix d'Oran répond également à un enjeu d'adaptation locale des concepts de « smart city » et de « smart lighting ». Si ces notions sont largement développées dans les contextes européens et nord-américains, leur application dans les villes algériennes demeure limitée et peu contextualisée. Étudier Oran permet ainsi de confronter les principes théoriques de l'éclairage intelligent aux réalités climatiques, économiques, sociales et réglementaires locales, afin de proposer une approche réaliste et transférable.

Enfin, Oran représente un territoire stratégique pour expérimenter une réflexion sur la requalification nocturne. Son développement futur nécessite une vision intégrée où la lumière n'est plus seulement un équipement technique, mais un véritable outil d'aménagement, capable de renforcer l'attractivité, la sécurité perçue et l'identité urbaine.

Ainsi, le choix d'Oran ne constitue pas uniquement un cadre géographique, mais un positionnement méthodologique : analyser une métropole algérienne en transition afin de proposer un modèle d'intégration de l'éclairage intelligent adapté aux villes en développement.



Figure 10: photo d'Oran

Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ADZ_31_Oran.svg

Situation géographique de la ville d'Oran

La ville d'Oran est située au nord-ouest de l'Algérie, sur la rive sud de la mer Méditerranée. Elle occupe une position stratégique sur le littoral, à environ 432 km à l'ouest de la capitale Alger. Oran est délimitée par la wilaya de Mostaganem à l'est, celle de Mascara au sud et celle d'Aïn Témouchent à l'ouest.

Oran s'étend sur une superficie d'environ 2.007.64 Km² et son territoire comprend à la fois des zones urbaines denses, un port maritime majeur, ainsi que des espaces périurbains en expansion.

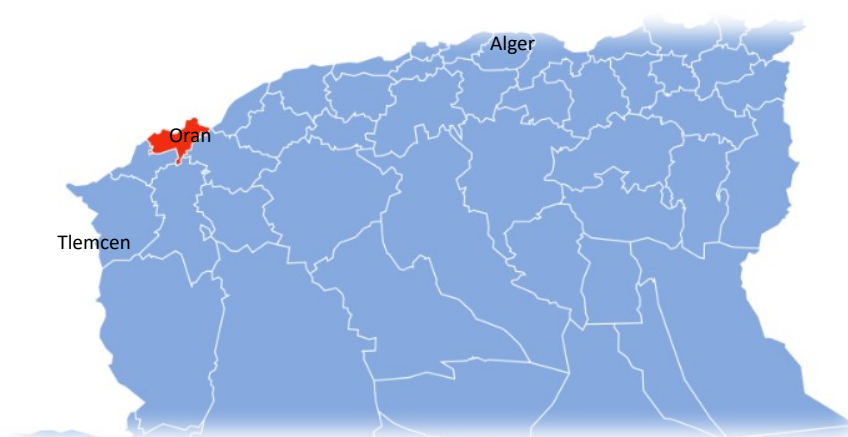


Figure 11: situation de la ville d'Oran

Source : <https://www.okbob.net/2020/03/decoupage-administratif-de-la-wilaya-d-oran.html>

4. Climat et conditions lumineuses naturelles

Oran possède un climat méditerranéen, marqué par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Les températures varient entre 10 °C en hiver et 32 °C en été, avec des précipitations moyennes de 350 à 400 mm par an.

La ville bénéficie d'un fort ensoleillement, dépassant 2 800 heures par an, ce qui favorise l'usage de l'énergie solaire et influe sur la conception de l'éclairage urbain. Ces conditions lumineuses naturelles exigent une gestion adaptée de la lumière artificielle, afin d'assurer le confort visuel et de limiter la pollution lumineuse.

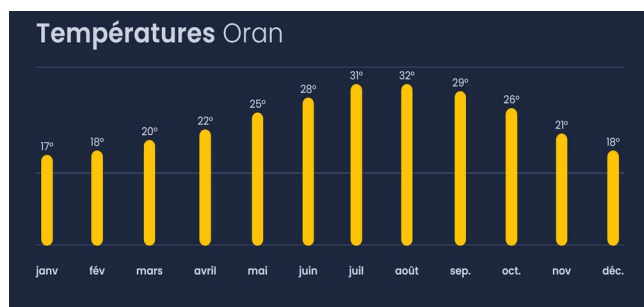


Figure 12: Evolution mensuelle de températures moyennes à Oran

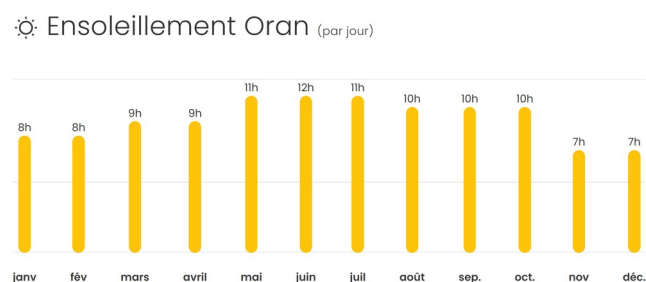


Figure 13: Répartition mensuelle de la durée moyenne d'ensoleillement

Source : Climate-Data.org, données climatiques de la ville d'Oran

5. Aperçu et évolution historique de la ville d'Oran

1.1. Origines et période antique

Oran, située sur la côte nord-ouest de l'Algérie, possède des origines très anciennes. La région a été habitée depuis l'Antiquité, avec des traces de peuplement berbère et punique.

Cependant, la ville en elle-même commence à se développer à l'époque romaine, même si elle n'était pas un centre majeur, elle servait surtout de port secondaire pour le commerce méditerranéen.

1.2. Période islamique et médiévale

Au VIIe siècle, avec l'arrivée de l'Islam en Afrique du Nord, Oran devient progressivement un centre régional. La ville est marquée par des influences berbères et arabes, avec la construction de mosquées et de remparts.

Durant le Moyen Âge, Oran est connue sous le nom de *Wahran* (en arabe), et subit plusieurs occupations : les Zirides, les Hafsides et enfin les Mérinides au XIVe siècle. Son port devient stratégique pour le commerce et la défense côtière.

1.3. Période espagnole et ottomane

○ 1509-1792 : Occupation espagnole

Les Espagnols occupent Oran en 1509 pour contrôler la Méditerranée et protéger leurs routes commerciales. La ville est fortement fortifiée, mais elle subit des attaques fréquentes des pirates et des forces ottomanes.

○ 1708 : Brève prise par les locaux

Les habitants et les troupes locales réussissent à reprendre la ville pendant un court moment.

- **1792** : Entrée des Ottomans

Oran est ensuite cédée aux Ottomans, devenant une partie de la régence d'Alger. La ville conserve son rôle de port stratégique et se développe sous la gestion turque.

1.4. Période coloniale française

- **1831** : Conquête française

Les Français prennent Oran et en font un centre administratif et militaire.

- La ville est reconstruite avec un plan moderne, des avenues droites et des bâtiments de style européen.
- Des infrastructures portuaires, ferroviaires et éducatives sont mises en place.
- La population européenne, notamment espagnole, italienne et française, croît rapidement, transformant la culture urbaine et l'architecture de la ville.

1.5. Oran au XXe siècle

- Oran devient un centre économique et culturel majeur de l'Algérie coloniale.
- Elle est célèbre pour sa vie musicale, notamment le raï qui naît dans les quartiers populaires.
- Pendant la Seconde Guerre mondiale, la ville est occupée brièvement par les forces alliées en 1942 lors de l'opération Torch.
- Après l'indépendance de l'Algérie en 1962, la majorité de la population européenne quitte la ville, et Oran devient un centre algérien important avec un développement industriel et portuaire accru.

1.6. Oran contemporaine

Aujourd'hui, Oran est la deuxième plus grande ville d'Algérie et un centre économique, universitaire et culturel. Elle conserve un riche patrimoine architectural :

- Forts et remparts espagnols
- Mosquées et monuments ottomans
- Architecture coloniale française
- Espaces culturels modernes et quartiers urbains récents

La ville continue de se développer, notamment avec des projets d'aménagement urbain, de modernisation du port et de valorisation des espaces culturels.



Figure 14: Carte du réseau de communications et des phases d'extension urbaine de la ville d'Oran

Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ADZ_31_Oran.svg

Situation géographique de la zone d'étude

Le site d'étude se situe dans la commune de Bir El Djir, à l'est de la ville d'Oran, dans la wilaya d'Oran, au nord-ouest de l'Algérie.

Il se trouve à environ 8 kilomètres du centre-ville d'Oran et fait partie intégrante de la périphérie urbaine orientale, qui connaît une forte expansion urbaine et démographique.

La zone choisie est localisée à proximité immédiate de la pépinière d'Oran, un espace vert important servant à la production de plantes ornementales et à la reforestation urbaine. Elle est délimitée par plusieurs axes structurants :

- Au nord, des zones résidentielles en extension ;
- Au sud la route nationale N11 reliant Oran à Arzew ;
- À l'est, la zone universitaire et les équipements publics de Bir El Djir ;
- À l'ouest, les quartiers périphériques du centre d'Oran.

D'un point de vue topographique, le site présente un relief légèrement ondulé et bénéficie d'une bonne visibilité nocturne grâce à son altitude modérée et son ouverture sur de larges voies urbaines.

Sa localisation entre espaces verts et zones habitées en fait un secteur pertinent pour étudier les relations entre éclairage intelligent, confort visuel et perception de l'espace nocturne

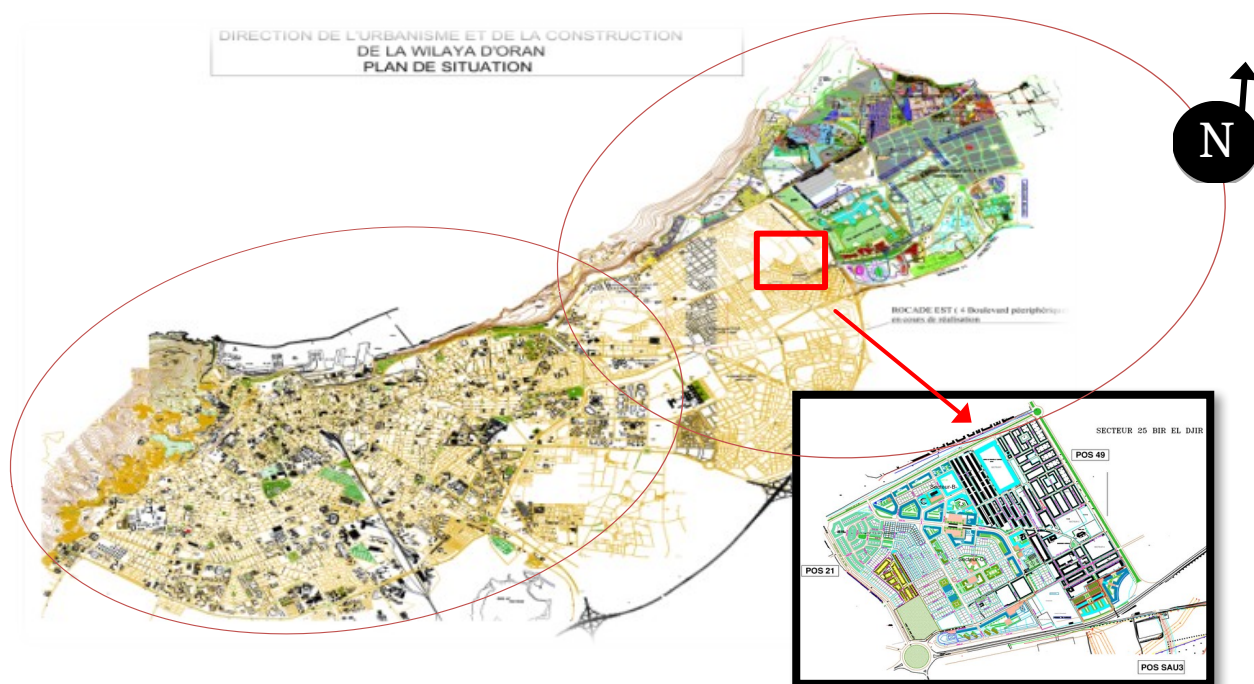


Figure 15: Plan de situation de Bir el Djir

Source : Extrait de PDAU

6. Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude s'inscrit dans un secteur stratégique de la ville d'Oran, caractérisé par une forte accessibilité et une connexion importante aux principaux axes urbains. Elle est délimitée au nord par le boulevard Millenium, à l'ouest par le boulevard du 5 Juillet, à l'est par le boulevard des Platanes, et au sud par le rond-point de la Pépinière, la résidence 1er Novembre ainsi que la route menant vers Belgaid.



Figure 16: Délimitation de la zone d'étude

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

7. Motivation du choix du site d'étude

Le choix du site de Bir El Djir s'explique par sa position stratégique à l'est de la ville d'Oran, au cœur d'une zone en pleine expansion urbaine. Ce secteur présente une grande diversité fonctionnelle, mêlant habitats, équipements publics, espaces verts et axes structurants, ce qui en fait un terrain d'étude représentatif de la croissance urbaine moderne.

Sa proximité avec la pépinière et les principaux axes de circulation lui confère un intérêt particulier sur les plans environnemental, social et urbain.

Enfin, le site illustre parfaitement les dynamiques de transformation d'Oran, passant d'un espace périphérique agricole à un quartier résidentiel et administratif actif, ce qui justifie son choix pour une étude urbaine approfondie.

8. Accessibilité et connectivité urbaine

Le site bénéficie d'une excellente accessibilité grâce à sa position à proximité immédiate des grands axes routiers reliant le centre-ville d'Oran aux quartiers périphériques.

Il est desservi par le boulevard millenium, une voie principale structurante qui assure une circulation fluide et relie les différents secteurs du quartier.

De nombreuses voies secondaires et transversales facilitent l'accès aux zones résidentielles, aux équipements publics et aux espaces verts.

La présence de transports collectifs (bus, taxis) renforce cette accessibilité, permettant une bonne connexion entre le site, le centre d'Oran et les communes voisines.

Dans l'ensemble, le site se distingue par une mobilité aisée et une organisation viaire bien hiérarchisée, adaptée au développement urbain en cours.

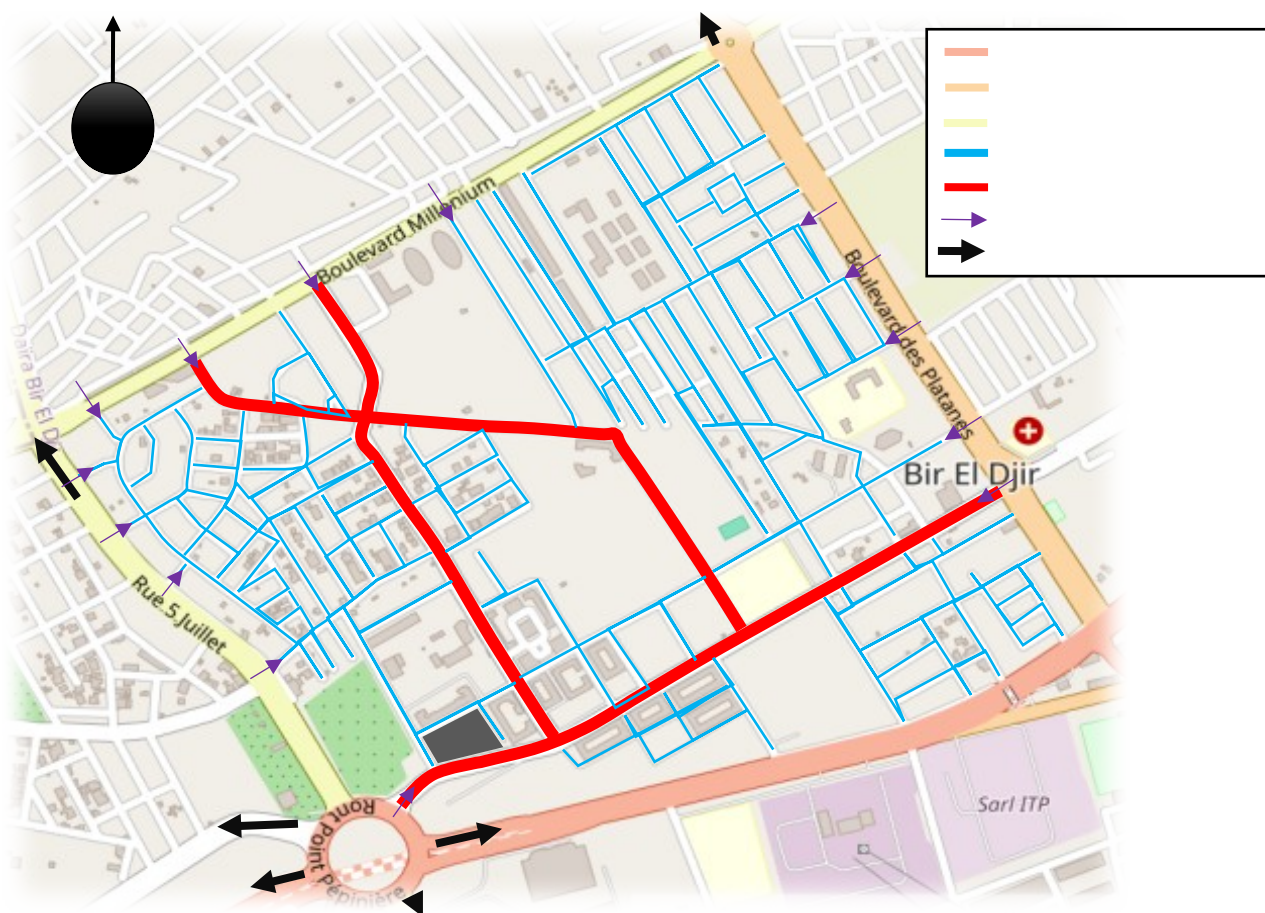


Figure 17: Carte de l'accessibilité du site

Source : Réalisé par l'auteur à partir d'AutoCAD, modifié sous Photoshop

9. Analyse urbaine de la zone d'étude

Cette partie vise à analyser le site choisi à Bir El Djir sous différents angle, historique, fonctionnel, socio-économique, morphologique et perceptif nocturne, afin de comprendre son état actuel et d'identifier les besoins

1.1. Approche historique

Le secteur de **Bir El Djir** appartient à la périphérie Est d'Oran, une zone qui s'est développée tardivement à partir des années 1980-1990, dans le cadre de l'expansion urbaine de la métropole. Autrefois constitué de terrains agricoles et de vergers, le site a progressivement accueilli des zones résidentielles, des équipements universitaires et des espaces commerciaux.

La pépinière de Bir El Djir, voisine du site étudié, témoigne encore de cette vocation agricole et écologique initiale. Le secteur de Bir El Djir présente une dynamique urbaine importante grâce à son expansion récente, la présence d'équipements variés et une localisation stratégique à l'est d'Oran.

Cependant, cette évolution rapide s'est faite sans plan d'aménagement global, ce qui a entraîné une organisation irrégulière du tissu urbain, des espaces publics peu valorisés et un manque d'éclairage homogène, surtout dans certaines zones résidentielles.

1.2. Approche fonctionnelle

➤ Etat fonctionnel

La carte de délimitation du site de Bir El Djir met en évidence un tissu urbain mixte composé de zones résidentielles, d'équipements publics, d'espaces verts et de voies structurantes. Cette diversité fonctionnelle crée une dynamique urbaine variée,

Le site comprend :

- Des espaces d'habitat collectif et individuel, Des équipements éducatifs et administratifs (écoles, centre de formation, mairie, apc, brigarde gendarmerie, Agence de voyage, Algerie poste), Des cliniques et des cabinets médicaux, Des mosquées, Des salles de sports et un terrain du foot, Des bureaux (Avocats, architectures), Les espaces verts, La présence de voies principales comme le boulevard des 40 mètres.



Figure 18: La carte de l'état fonctionnel

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

• Constat

Le site de Bir El Djir présente un tissu urbain mixte combinant habitat collectif et individuel, équipements publics, espaces verts et voies structurantes. Cette diversité crée une forte dynamique urbaine et une bonne accessibilité grâce aux grands axes (Boulevard des 40 mètres, Boulevard du 1er Novembre). Le secteur est bien doté en services éducatifs, administratifs, sanitaires, religieux et sportifs ce qui renforce son rôle de pôle attractif au sein de l'agglomération oranaise.

➤ Type d'équipements

- Les équipements éducatifs (en rouge) sont bien implantés et distribués, assurant une bonne couverture scolaire.
- Les équipements administratifs, sanitaires et culturels sont concentrés principalement au centre et à l'est, formant un pôle de services accessible.
- Les espaces verts et placettes (en vert) apportent une respiration au tissu urbain, tandis que les équipements sportifs et les terrains nus offrent des potentialités de loisirs et d'aménagement futur.

La carte montre un tissu urbain équilibré et fonctionnel, dominé par des zones résidentielles largement réparties sur l'ensemble du site.



Figure 19: Carte de typologie d'équipements

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

**Figure 20:** Les équipements existants

Source : Auteurs

1.3. Sur le plan architectural et patrimonial

Le plan présente un quartier principalement résidentiel, bien doté en équipements publics (éducation, administration) concentrés au centre. L'urbanisation est caractérisée par une grande majorité de bâtiments en bon état, avec des hauteurs allant de R+1 à R+5, mais incluant aussi des pôles de haute densité (jusqu'à R+13) dans certaines parcelles stratégiques.



Figure 21: Carte des types d'équipements/ Gabarits

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

1.4. Approche Socio-économique

A. Analyse sociologique

➤ Évolution du nombre d’habitants de Bir el Djir par les années

Tableau 4 : Tableau d’évolution du nombre d’habitants par les années

Source : élaboré par l’auteure à partir des données de l’Office National des Statistiques (ONS) et des

Année	2004	2009	2014	2025
Nombre de populations	98 420	113 760	129 540	152 151

Recensements Généraux de la Population et de l’Habitat (RGPH).

➤ Évolution du taux de natalité et de mortalité par les années

Année	2004	2009	2014	2025
Natalité	18.5	17.2	16.1	14.8
Mortalité	4.8	4.5	4.2	3.9

Tableau 5 : Évolution des taux de natalité et de mortalité de la commune de Bir El Djir

Source : élaboré par l’auteurs à partir des données de l’Office National des Statistiques (ONS) et de la Direction de la Santé d’Oran.

➤ Répartition de la population par tranche d'âge

Age	Nombre	Pourcentage
0-10	29 975	19,7 %
10-20	27 917	18,3 %
20-30	29 695	19,5 %
30-50	35 791	23,52 %
50-70	14 536	9,55 %
+70	4237	2,78 %

Tableau 6 : Répartition de la population par tranche d'âge (%) dans la commune de Bir El Djir

Source : élaboré par l’auteure à partir des données de l’Office National des Statistiques (ONS).

➤ Répartition de la population par sexe

Sexe	Nombre	Pourcentage
Homme	76 608	50,3 %
Femme	75 542	49,7 %

Tableau 7 : Répartition de la population selon le sexe dans la commune de Bir El Djir

Source : élaboré par les auteures à partir des données de l’Office National des Statistiques (ONS).

B. Analyse économique

➤ Répartition de la population par les activités économiques

Type d'activité	Commerce	Enseignement	Service	Agriculture	Administrative	Industrielle
Pourcentage	28 %	14 %	32 %	4 %	12 %	10 %

Tableau 8 : Répartition des activités économiques par pourcentage

Source : élaboré par l’auteures à partir des données de l’ONS / APC de Bir El Djir / PDAU d’Oran.

➤ Nombre de population Active et en chaumage

Situation	Pourcentage	Nombre
Actif	46.8 %	51 038
En chaumage	0.66 %	724

Tableau 9 : Répartition de la population active et du chômage dans la commune de Bir El Djir

Source : élaboré par les auteures à partir des données de l’Office National des Statistiques (ONS).

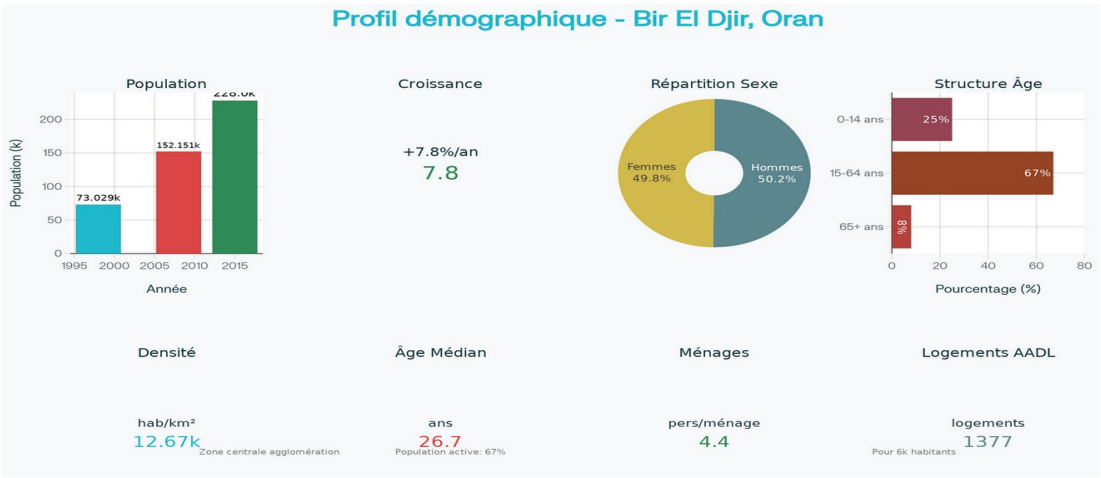


Figure 22: Profil démographique /Bir El Djir, Oran

Source : Réalisé par les auteurs à partir des données du PDAU d'Oran et de l'ONS.

1.5. Approche Morphologique et paysagère

A. Trame urbaine

Le plan d’ensemble de la zone met en évidence deux structures urbaines distinctes qui traduisent des modes d’urbanisation différents. La première partie, située principalement au nord-est du site, présente une trame régulière et ordonnée : les rues y sont rectilignes et perpendiculaires, formant des îlots géométriques bien délimités. La seconde partie, située plutôt au sud-ouest du plan, révèle une trame urbaine irrégulière, issue d’un développement spontané et non planifié.



Figure 23: La carte de la trame structurelle

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

B. Analyse Topographique

Le site de Bir El Djir est caractérisé par des **pentés douces à moyennes**, descendant généralement vers la mer. L'inclinaison est modérée mais perceptible.

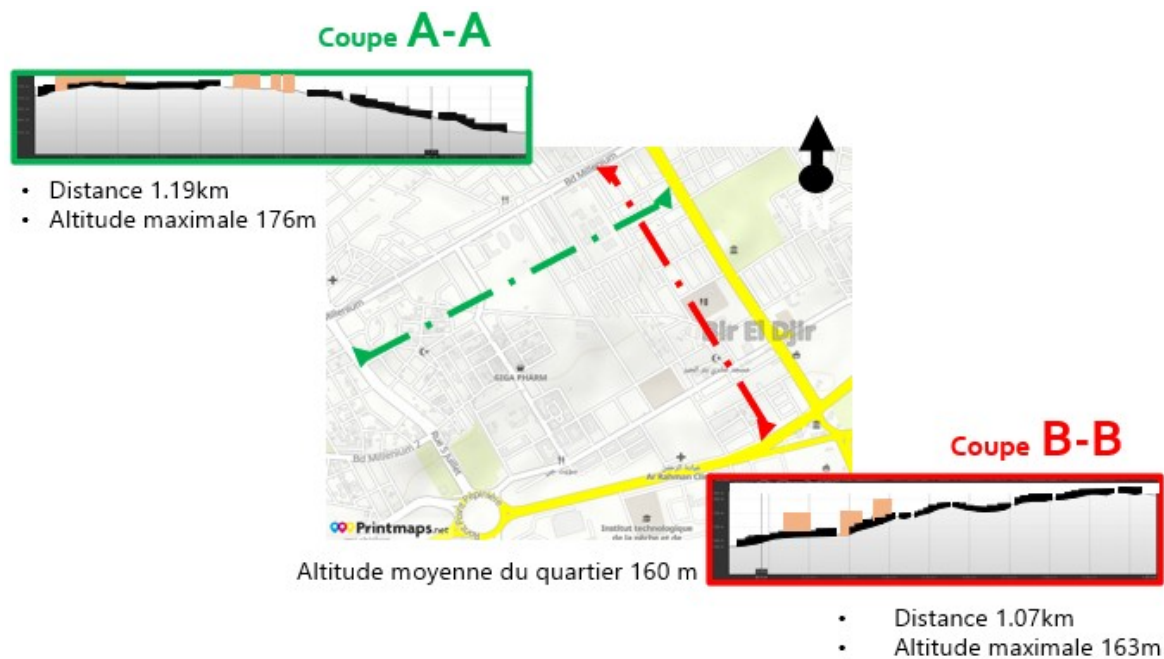


Figure 24: Les coupes morphologiques de la zone d'étude

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

1.6. Approche perceptive nocturne

Le plan montre un quartier caractérisé par une faible activité nocturne, avec la majorité des zones considérées comme calmes (Gris). Seuls quelques axes et pôles sont sujets à une fréquentation moyenne à forte (orange/rouge). Les espaces peu sécurisés ou peu éclairés (vert olive) se concentrent principalement dans les zones vertes.

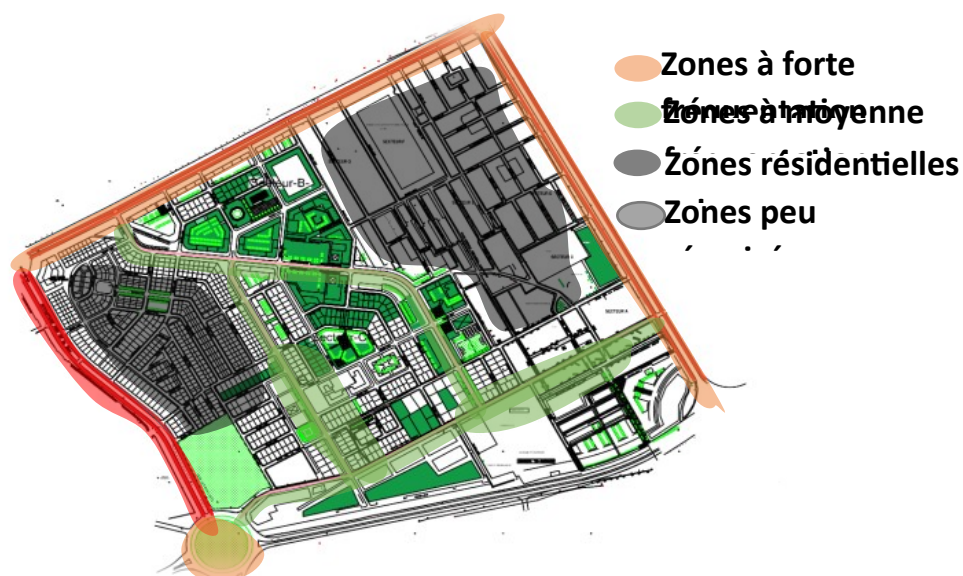


Figure 25: Analyse perceptive nocturne

Source : Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

1.7. Approche Séquentielle

A. Style Architectural

Le style architectural est bien analysé dans le tableau suivant :

Bâtiment	Fonction	Style	Façade	Matériaux	Toiture	Hauteur	État
 Source : Photos prises par les auteurs.	Le bâtiment est de type habitat collectif à usage mixte. des locaux commerciaux l’habitation.	Le style architectural est contemporain fonctionnel, privilégiant la simplicité des formes et la rationalité des lignes.	Un jeu de contrastes chromatiques entre les teintes beige clair et ocre orangé, Soulignant les axes verticaux et les angles du bâtiment. L’usage de balustrades métalliques noires renforce le caractère moderne de l’ensemble.	Le béton armé, l’enduit lisse peint, et le métal pour les garde-corps. Les ouvertures sont régulières, standardisées.	Plate	R+14	Neuf L'état est excellent, reflétant un projet planifié et achevé selon des normes modernes.
 Source : Photos prises par les auteurs.	Le bâtiment est de type habitat collectif à usage mixte. des locaux commerciaux l’habitation.	Organique/Contemporain. Le style est axé sur le mouvement et la fluidité. Les lignes horizontales continues et ondulantes créent un effet de vague, cherchant un impact visuel fort.	Dynamique et Rythmée le motif de balcons-dalles en vague qui s'étirent sur toute la longueur et la hauteur. Ces éléments servent de protection solaire (brise-soleil) et de garde-corps. Le rez-de-chaussée est un socle en béton brut.	Béton armé prédominant (structure et balcons/dalles). Le revêtement final n'est pas encore visible sur les parties centrales des étages, mais il y a utilisation de verre pour les fenêtres.	Plate	R+13	En construction. L'ossature en béton est achevée, mais les finitions intérieures et extérieures sont en cours. Le rez-de-chaussée est encore un espace brut.
 Source : Photos prises par les auteurs.	Le bâtiment est de type habitat collectif à usage mixte. des locaux commerciaux l’habitation.	Moderniste et Technologique. Le design est épuré, privilégiant la verticalité, la lumière, et l'usage de matériaux contemporains.	Uniforme et Rythmée. Façade dominée par la répétition des balcons et des fenêtres. L'utilisation de garde-corps en verre teinté bleu donne un rythme horizontal fort et un aspect luxueux.	Béton (structure), Verre teinté bleu (garde-corps) et Aluminium (fenêtres et encadrements). Ces matériaux sont choisis pour leur aspect contemporain et leur performance (contrôle solaire).	Plate	R+12	Neuf ou en fin de construction. L'état est excellent, reflétant un projet planifié et achevé selon des normes modernes.

Tableau 10 : Style architectural

 Source : Photos prises par les auteurs.	Constitué d'immeubles d'habitat collectif à vocation résidentielle, avec quelques locaux commerciaux en rez-de-chaussée.	Le style est moderne minimaliste, avec une prédominance du béton peint.	Les façades sont rythmées par des ouvertures régulières (balcons, fenêtres, loggias) et ponctuées par des bandes verticales colorées (rouge, beige, jaune) destinées à casser la rigidité visuelle du bâti.	Les matériaux principaux sont le béton armé, l'enduit coloré et le verre pour les baies vitrées. La palette chromatique (beige, gris clair, rouge brique) permet une identification visuelle entre les blocs, mais reste assez neutre	Plate	R+6 à R+8	Le bâti semble récent et en état correct, bien intégré dans un tissu urbain en développement.
 Source : Photos prises par les auteurs.	Résidentielles	Moderne et fonctionnel, avec des lignes verticales et une forme arrondie qui apporte une identité contemporaine à la façade.	Uniformes, avec un motif répétitif de balcons sur chaque étage, donnant un rythme régulier et une homogénéité visuelle.	Structure en béton armé, façades probablement en béton enduit ou préfabriqué avec balcons équipés de garde-corps métalliques	Plate	R+20	Les façades semblent inachevées ou en construction, opérationnel.
 Source : Photos prises par les auteurs.	Une tour résidentielle mixte des logements dans les étages supérieurs et des commerces/service s au rez-de-chaussée	Le style est moderne, avec une façade épurée, des lignes verticales et un contraste marqué entre deux teintes (clair et anthracite)	Un rythme répétitif de balcons, créant un dynamisme visuel. Une bande verticale sombre accentuant la hauteur. Des vitrages modernes offrant transparence et luminosité. Cette façade est conçue pour être à la fois esthétique et fonctionnelle.	Structure probable en béton armé (standard pour bâtiments de grande hauteur). Façade en enduit clair avec bande centrale en revêtement sombre. Balcons en verre sécurisé et garde-corps métalliques. Vitrages bleutés sur la partie commerciale.	Plate	R+16	Le bâtiment semble terminé et opérationnel, propre et entretenu

Source : Auteur

B. Analyse de la Façade urbaine

Le tissu urbain se caractérise principalement par des gabarits en R+2 et R+3, assurant une échelle urbaine homogène et équilibrée. Les rez-de-chaussée sont majoritairement occupés par des commerces, tandis que les niveaux supérieurs sont destinés au logement, créant ainsi une mixité fonctionnelle et une animation continue du quartier.

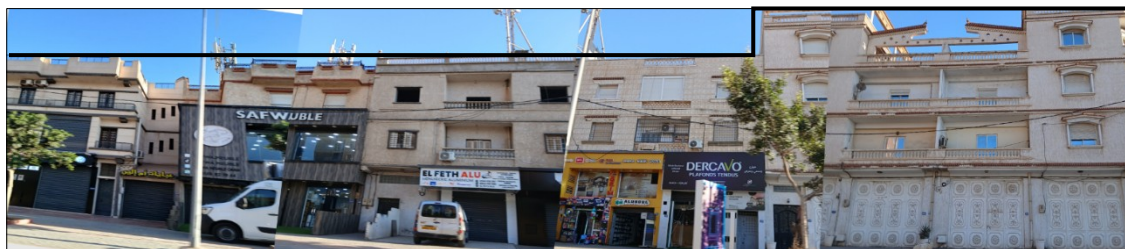


Figure 26 : Façade urbaine

Source : Source : Photo prise par les auteurs.

La façade urbaine se caractérise par une mixité fonctionnelle entre habitat collectif et commerces de proximité, créant une forte animation urbaine. La présence d'une tour de grande hauteur constitue un repère visuel dominant, mais génère une rupture avec les bâtiments voisins de plus faible gabarit. L'ensemble présente une hétérogénéité architecturale au niveau des volumes, des matériaux et des couleurs.



Figure 27 : Façade urbaine

Source : Photo prise par les auteurs.

10. Diagnostic de la zone d'étude

Le quartier présente plusieurs problématiques que nous allons analyser selon quatre dimensions principales : paysagère, architecturale, sociale et fonctionnelle.

➤ Sur le plan fonctionnel

- Le quartier présente plusieurs dysfonctionnements sur le plan fonctionnel. Tout d'abord, les toitures des bâtiments apparaissent comme des espaces non valorisés et inexploités, malgré leur potentiel architectural, environnemental et énergétique.
- Par ailleurs, le quartier souffre d'un manque d'intelligence et de flexibilité dans la gestion énergétique. L'organisation actuelle ne favorise ni l'optimisation des ressources énergétiques ni l'intégration de solutions innovantes et durables adaptées aux besoins contemporains.
- Le diagnostic met également en évidence une mauvaise connexion entre les différentes parties du quartier. Les liaisons piétonnes et les relations fonctionnelles entre les espaces restent limitées, ce qui crée une fragmentation urbaine et réduit la fluidité des déplacements.
- En outre, le quartier présente une absence de centralité urbaine clairement identifiable. Il manque un point focal capable de favoriser les rencontres, les échanges sociaux et l'animation urbaine. Cette absence affaiblit le sentiment d'appartenance et la dynamique collective des habitants.
- Enfin, le manque d'espaces publics constitue une autre faiblesse majeure du quartier. Les espaces de détente, de rassemblement et de convivialité demeurent insuffisants, limitant ainsi la qualité de vie urbaine et les interactions sociales entre les usagers.
- La gestion des déchets dans le quartier constitue également un dysfonctionnement important. En effet, le passage des camions de ramassage des ordures génère des nuisances sonores et perturbe la circulation, en particulier aux heures de pointe, ce qui accentue les problèmes de fluidité et de confort urbain.
- La gestion des déchets dans le quartier est marquée par plusieurs problèmes, notamment des bacs souvent débordants, une collecte parfois mal optimisée et l'absence de tri sélectif, liée à une faible participation des habitants.

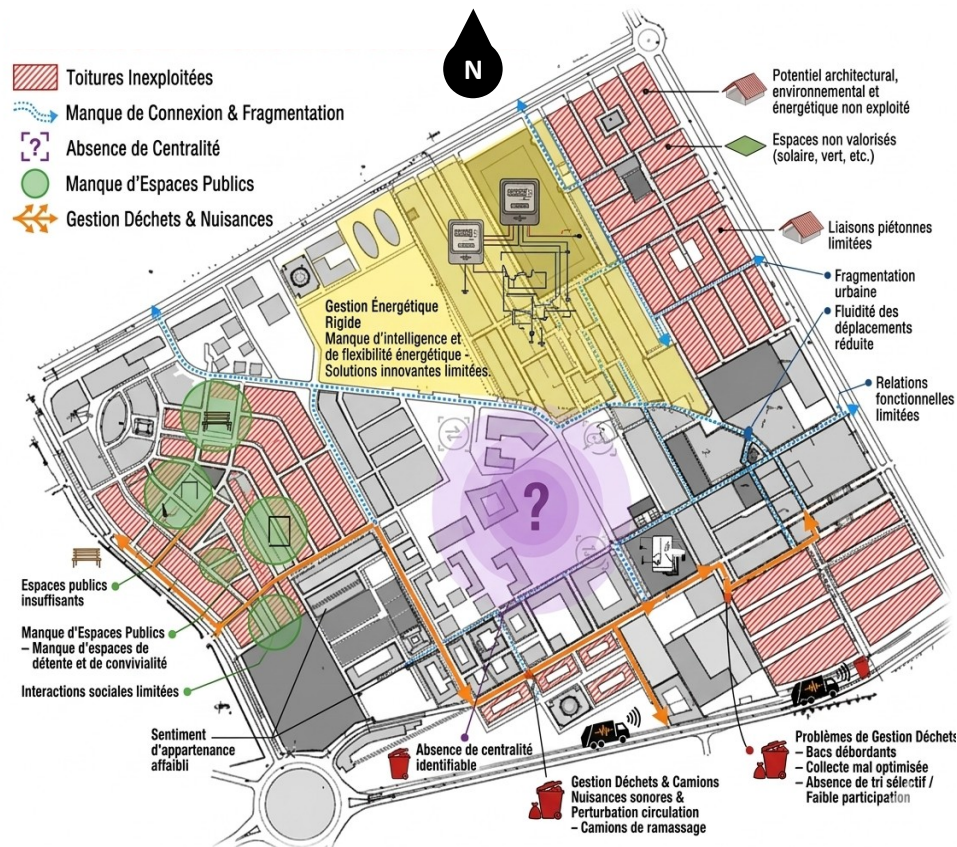


Figure 28: Diagnostic sur le plan fonctionnel

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

➤ Sur le plan Social

- Sur le plan social, le quartier souffre de plusieurs dysfonctionnements qui impactent directement le quotidien des habitants.
- Le manque d'espaces de stationnement crée des difficultés récurrentes dans l'organisation et la circulation.
- Par ailleurs, les arrêts de bus sont situés trop loin du centre du quartier, ce qui rend l'accès aux transports en commun moins pratique et moins attractif. Cette situation renforce une forte dépendance à la voiture, limitant ainsi les alternatives de déplacement et accentuant les contraintes de mobilité pour les usagers.
- La transition énergétique impose de réduire les véhicules thermiques.
- La gestion inefficace de la circulation et de la régulation des flux dans le quartier

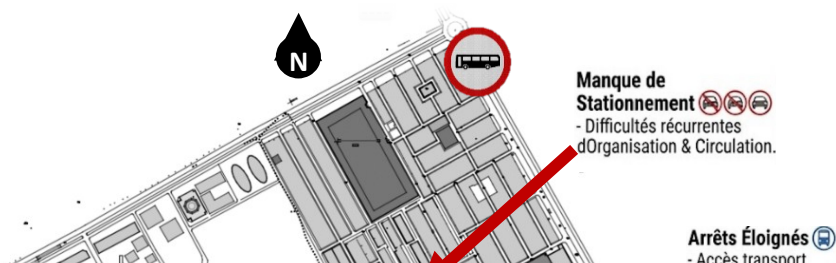


Figure 29: Diagnostic sur le plan social

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

➤ Sur le plan Architectural

- Sur le plan architectural, le quartier présente une faible interaction entre les bâtiments et leur environnement, ce qui crée un cadre bâti peu intégré à son contexte urbain et paysager. Cette rupture entre les constructions et leur milieu réduit la qualité des espaces extérieurs et l'identité architecturale du site. Par ailleurs, on constate un manque de valorisation nocturne du cadre bâti, avec un éclairage insuffisant ou peu mis en valeur, ce qui limite l'animation et l'attractivité du quartier une fois la nuit tombée.

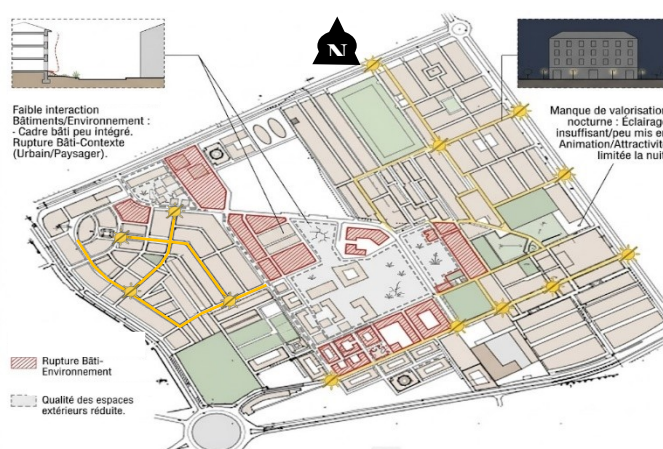


Figure 30: Diagnostic sur le plan Architectural

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

- **Sur le plan urbain et paysager**
- Faible hiérarchisation des cheminements piétons nocturnes, entraînant un sentiment d'insécurité dans certains espaces du quartier.
- Manque de valorisation des éléments naturels, limitant la qualité paysagère et l'identité du site.
- Absence de flexibilité dans la gestion de l'éclairage urbain, avec un système non réactif aux usages et aux horaires.
- Gestion non optimisée de l'éclairage public, ne tenant pas compte de la lumière naturelle disponible.
- Forte pression sur les ressources en eau potable dans un contexte climatique semi-aride.
- Arrosage traditionnel mal programmé, entraînant des pertes et un gaspillage de l'eau.
- Absence de dispositifs naturels de filtration et de gestion des eaux pluviales.
- Utilisation d'espèces végétales non adaptées au climat, nécessitant une forte consommation en eau.
- Manque de végétation à différentes échelles urbaines (rues, places publiques.), réduisant le confort et la qualité paysagère.
- Absence de caméras de surveillance dans le quartier, limitant la sécurité urbaine.
- Hétérogénéité verticale du bâti, affectant la cohérence urbaine et paysagère du quartier.

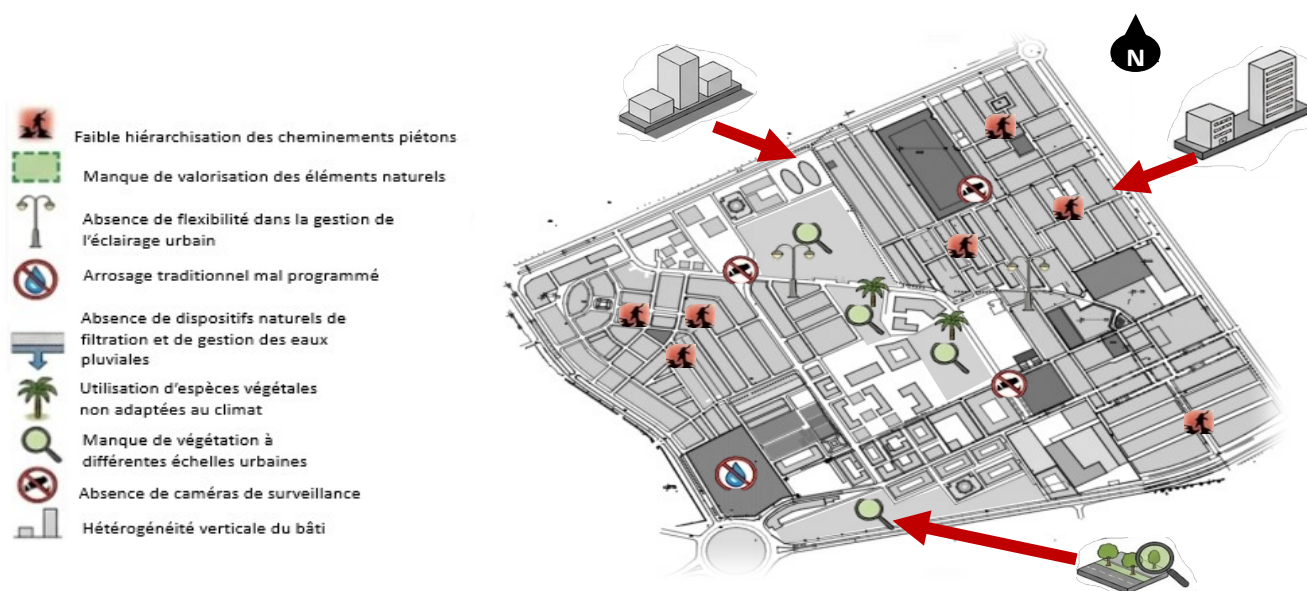


Figure 31: Diagnostic sur le plan urbain et paysager

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

11.Analyse Thématique des villes intelligentes

➤ Critères de choix des exemples

Les exemples à analyser sont choisis suivant sept critères pour répondre au thème et au programme architectural qui sont :

Critères	Description	Objectif dans l'étude
Intégration des technologies intelligentes	Présence de systèmes numériques avancés (capteurs, automatisation, gestion intelligente)	Analyser l'impact des technologies sur le fonctionnement urbain
Innovation en éclairage urbain	Utilisation de l'éclairage intelligent et scénographique pour structurer l'espace	Comprendre le rôle de la lumière dans l'ambiance et l'orientation
Perception de l'espace nocturne	Qualité de l'ambiance nocturne (sécurité, lisibilité, attractivité)	Évaluer l'expérience des usagers la nuit
Approche durable et écologique	Optimisation énergétique, recours aux énergies renouvelables	Étudier la dimension environnementale des projets
Échelle et complexité urbaine	Projets à grande échelle intégrant plusieurs fonctions urbaines	Permettre une analyse globale et complète
Valeur de référence internationale	Projets reconnus comme modèles de villes intelligentes	S'appuyer sur des exemples fiables et innovants
Pertinence par rapport au projet	Possibilité de réutiliser les principes dans notre projet	Enrichir la conception architecturale et urbaine

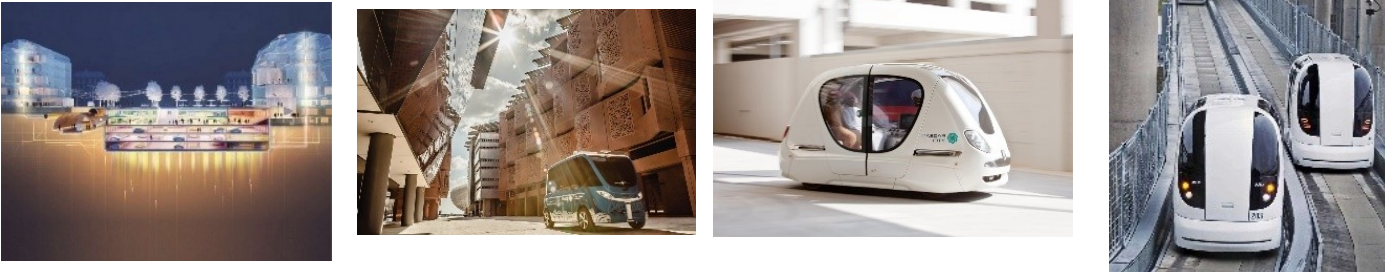
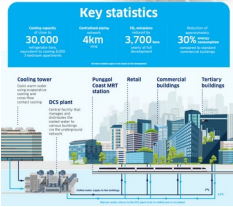
Tableau 11 : Choix d'exemple Référentiel

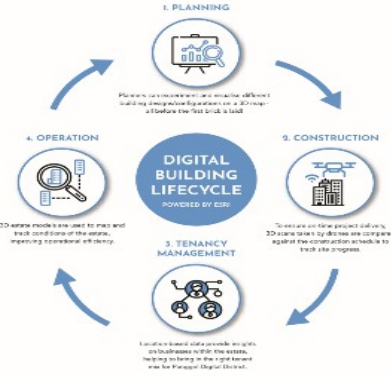
Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

➤ Analyse des exemples

Nous avons présenté les exemples dans le tableau suivant :

Chapitre III		Approche Analytique
Critères d’analyse	Masdar city, Abu Dhabi	Punggol digital district
Fiche technique	Localisation : Abu Dhabi, Émirats Arabes Unis (côte sud du Golfe Persique) Année de réalisation : 2016 Superficie totale : 6 km² (600 hectares) Architecte : architecte britannique Norman Foster et son agence. Population cible : 40 000 à 50 000 habitants, 1 500 entreprises. Objectif : Ville zéro carbone, zéro déchet, éclairage intelligent, modélisation durable.	Localisation : Nord-est de Singapour, relié à Punggol Coast MRT Année de réalisation : 2020-2026 Superficie totale : 50 hectares Architecte : WOHA Architect Population cible : 28 000 emplois numériques et 12 000 étudiants. Objectif : Créer un quartier intégré pour entreprises numériques, université et vie communautaire, combinant innovation, durabilité et smart city.
Situation / climat	Abu Dhabi, Émirats Arabes Unis (côte sud du Golfe Persique) Climat désertique, forte chaleur, environnement contraignant   Source : https://www.archdaily.com/tag/masdar-city	Nord-est de Singapour, relié à Punggol Coast MRT Climat tropical humide, forte densité urbaine
Plan de masse	Organisation compacte, rues étroites, orientation optimisée pour réduire l’ensoleillement   Source : https://www.archdaily.com/tag/masdar-city	Trame urbaine ouverte, connectée, intégrant espaces publics et numériques.   Source : https://www.jtc.gov.sg
Concept urbain	Ville écologique basée sur la réduction énergétique et l’innovation technologique	Quartier digital basé sur la connectivité et l’interaction numérique
Énergie	Énergie 100% renouvelable : centrale solaire photovoltaïque (10 MW) + toitures solaires sur tous les bâtiments. - Réseaux smart grid et microgrid pour gestion automatique et intelligente de l’énergie. - Bâtiments intelligents (smart buildings) : capteurs IoT pour suivi énergétique, Maintenance prédictive, contrôle automatisé (éclairage, climatisation, etc.). Isolation thermique avancée : mousse polyuréthane épaisse, triple vitrage low-E    	Il y a un smart energy grid : le district est connecté à un système d’énergie intelligent, ce qui permet d’intégrer des sources renouvelables, de stocker de l’énergie, et de mieux gérer la consommation. - Panneaux solaires sur les toits : pour produire de l’énergie renouvelable. - District Cooling System (DCS) : un système centralisé de refroidissement par eau glacée, ce qui permet d’économiser de l’énergie par rapport à des systèmes de climatisation individuels. Contrôle via plateforme numérique : des capteurs (température, occupation) permettent d’ajuster la consommation d’énergie (éclairage, climatisation) en temps réel. 

Chapitre III		Approche Analytique
	Source : https://www.archdaily.com/tag/masdar-city	 Source : https://www.jtc.gov.sg
Mobilité	Personal Rapid Transit (PRT) : navettes électriques sans conducteur (réservation via app), zéro voiture thermique en surface. Connectivité transports publics (tram, bus électriques). Parkings souterrains centralisés.  Source : https://www.archdaily.com/tag/masdar-city	Le quartier est conçu “car-lite” (peu de voitures) : les routes principales sont en bordure, tandis que les accès aux bâtiments sont souterrains. • Infrastructure cyclable : beaucoup de places de vélos (1,500 bicycle parking lots) + des liaisons piétonnes. • Recharge de véhicules électriques : des bornes EV sont prévues (96 lots dans la phase initiale, plus selon la demande). • Possibilité de transport autonome en futur : selon le plan, des tests de bus autonomes sont mentionnés dans la feuille de route des “smart” initiatives.   Source : https://www.jtc.gov.sg
Gestion de l’eau	Dessalement solaire : production d’eau potable à partir d’eau de mer sans émission fossile. • Recyclage eaux grises et pluviales pour arrosage des espaces verts et sanitaires. • Arrosage intelligent : sondes d’humidité, météo temps réel pour minimiser la consommation et éviter l’évaporation inutile. • Plantes xérophytes adaptées au climat aride.	• Le district prévoit une économie d’eau importante grâce à ces dispositifs : JTC indique environ 208 000 m³ d’eau de pluie récupérée par an. • Systèmes de capteurs : collecte de données eau / environnement via l’Open Digital Platform. • « Le quartier intègre une gestion water-sensitive à travers des bioswales, des rain gardens et un système de récupération des eaux pluviales, permettant la filtration naturelle, la réduction du ruissellement et l’irrigation durable des espaces verts. »   Source : https://www.jtc.gov.sg

Gestion intelligente des déchets	Collecte pneumatique souterraine : tubes aspirants automatisés, absence de camions poubelles en surface. • Tri intelligent et suivi du remplissage en temps réel (capteurs poids et composition). • Valorisation énergétique : incinération contrôlée et biogaz pour produire de l’électricité locale. • Recyclage : séparation et récupération des matériaux valorisables (plastique, métal, organique).   Source : https://www.archdaily.com/tag/masdar-city	• Système de collecte pneumatique : un réseau souterrain “vide-poussière” pour évacuer les déchets, ce qui supprime le besoin de camions de collecte fréquents. Comment ça fonctionne ? Les habitants déposent leurs déchets dans des bornes spéciales (comme une grande boîte à ordures moderne). Les déchets sont aspirés automatiquement à travers un réseau de tunnels souterrains, un peu comme un aspirateur géant. Ils sont envoyés directement vers une station centrale de collecte située loin des habitations. Là, les déchets sont triés, compactés et préparés pour le recyclage ou l’évacuation. • Tri et recyclage : dans les bâtiments, il y aura des chutes pour le recyclage. • Compostage / biodigesteurs : les déchets organiques (alimentaires, horticoles) seront traités pour produire du fertilisant, jusqu’à 3 tonnes par jour. • Analyse des données déchets : grâce aux capteurs, le volume et les patterns de déchets sont mesurés pour optimiser la collecte.
Technologies intelligentes	Pilotage centralisé & IA • Tableaux de bord urbains : gestion en temps réel (énergie, eau, déchets, trafic, environnement). • Analyse IA : prédiction consommation, optimisation continue (pilotage automatique, alertes maintenance, sécurité). • Open data pour recherche et innovation (Masdar Institute, start-ups).Il permet de surveiller en direct : • la consommation et la production d’énergie dans chaque quartier ou bâtiment, • la distribution et l’usage de l’eau potable, ainsi que la gestion des eaux usées, • la collecte, le tri et le niveau de remplissage des conteneurs de déchets, • la fluidité du trafic routier, la disponibilité des transports publics, les embouteillages et les incidents, • les indicateurs environnementaux tels que la pollution atmosphérique, la température, l’humidité, le niveau de bruit ou la quantité de CO2.	• Jumeau numérique (Digital Twins) Copie virtuelle du quartier permettant de : Suivre en temps réel l’énergie, analyser le trafic, Surveiller la sécurité, gérer l’arrosage et l’éclairage, Tester des scénarios avant leur application réelle. • Capteur IoT (Internet of Things) Capteurs installés partout pour mesurer : Température, humidité, occupation des salles, consommation énergétique, Qualité de l’air, mouvement et flux piétons. Open Digital Platform (ODP) : Plateforme centrale qui connecte toutes les données Du quartier : énergie, trafic, capteurs, sécurité, robots, éclairage, etc.   Source : https://www.jtc.gov.sg
Éclairage intelligent	Installation lumineuse sophistiquée : lampadaire formes organiques élancées, plante arbre fleuriste lumière blanche douce • Éclairage sol intégré : LED encastrées pavements (guidage piétonnier) • Éclairage architectural : façades bâtiments illuminées subtilement • Palmiers éclairés : mise en valeur végétation, ambiance chaleureuse • Température couleur chaude : 2700-3000K (confort nocturne)	• Lampadaires intelligents : utilisation de capteurs (occupation, lumière naturelle) pour optimiser l’éclairage. (Mention dans la timeline de Punggol Northshore, proche / lié au district) • Contrôle intégré via l’Open Digital Platform : ajustement de l’éclairage selon les données recueillies par les capteurs.

- Personnes en tenues traditionnelles : appropriation espace nocturne

Ça traduit une appropriation réelle de l’espace urbain par la population locale. Elle témoigne du confort climatique, de la qualité de l’éclairage et de la sécurité offerte, permettant ainsi une utilisation active de la ville la nuit tout en préservant l’identité culturelle.

Technologies intégrées :

- LED programmables (scénarios selon événements)**
- Capteurs présence intégrés structures**
- Gradation douce transitions jour/nuit**
- Protection biodiversité (orientation lumière bas)**



Source : <https://www.archdaily.com/tag/masdar-city>

Composants technologiques

Élément	Technologie	Fonction
LED	Cree/Osram 140+ lm/W	Efficacité lumineuse maximale
Capteurs PIR	Détection mouvement 10-15m	Gradation présence/absence
Photocellules	Mesure luminosité ambiante	Activation crépusculaire
Capteurs météo	Pluie, brouillard, vent	Ajustement conditions
IoT	LoRaWAN/NB-IoT	Communication cloud
Contrôleur	Microprocesseur local	Décisions autonomes
Alimentation	Solaire + réseau backup	Résilience

Perception nocturne

Ambiance contrôlée, lumière douce, confort thermique nocturne

Urbanisme et espace vert

Urbanisme compact, architecture bioclimatique, wind tower, rues ombragées, bâtiments certifiés verts

Morphologie urbaine (forme de la ville)

✓ **Ville compacte et dense**

- Superficie réduite (~6 km²)
- Densité maîtrisée → limiter les déplacements



Source : <https://www.archdaily.com/tag/masdar-city>

- L’Open Digital Platform permet un éclairage urbain intelligent, ajusté en temps réel, optimisant simultanément la consommation énergétique, le confort nocturne et la sécurité des usagers.



Espaces dynas, interactifs, attractifs la nuit

- Héritage Trail : une section piétonne verte (1,3 km) qui conserve les arbres existants du vieux chemin de Punggol.
- Sky Terrace Gardens : jardins sur les toits / terrasses pour les bâtiments, pour la biodiversité + le bien-être.
- 100% de “landscape replacement” : chaque m² de sol perturbé est compensé par des aménagements verts (espaces naturels restaurés dans le plan de développement).

- Quartiers structurés autour :
- espaces publics
 - Services de proximité
 - **Typologie des espaces verts**
 - **1. Parcs urbains**
 - Ex : Masdar Central Park
 - Lieux de détente + interaction sociale
 - **2. Espaces verts intégrés**
 - Végétation dans rues et patios
 - Micro-espaces ombragés
 - **3. Agriculture urbaine**
 - Ferme “Greenworks” (hydroponie)
- objectif : Autonomie alimentaire partielle

Choix végétal

- Plantes résistantes à la sécheresse
- Faible consommation d’eau

Type : végétation xérophile*9+



Source :<https://www.archdaily.com/tag/masdar-city>

Exemple :

Si le quartier Punggol Digital District enlève **1 m² de nature** (herbe, sol perméable, arbres...) pour construire un bâtiment, il va **recréer au moins 1 m² de nature** sur un autre espace :

- Jardins publics, toits verts (green roofs)
- Murs végétalisés (green façades), parcs, corridors écologiques
- Zones plantées avec biodiversité locale
- Fermes urbaines sur toit : des prototypes sont envisagés : canopées photovoltaïques + fermes urbaines.



Canopées photovoltaïques (panneaux solaires surélevés)

Ce sont des structures solaires montées en hauteur sur les toits.

Elles servent à :

- Produire de l’électricité verte pour le quartier
- Créer de l’ombre pour limiter la chaleur sur le toit
- Protéger les cultures qui ne supportent pas le soleil direct



Fermes urbaines sur toit

Sous les panneaux solaires, on installe :

- Des potagers urbains (légumes, herbes aromatiques)
- Des systèmes d’aquaponie ou hydroponie
- Des plantes comestibles adaptées au climat tropical de Singapour



Source : <https://www.jtc.gov.sg>

ANALYSE DES FAÇADES

Façades terre cuite avec Mashrabiya moderne

Analyse technique :

- Matériau : Terre cuite extrudée, teinte rouge-brun naturelle
- Motif : Perforations géométriques laser-cut, inspiration arabe traditionnelle
- Structure : Panneaux préfabriqués 1,2×2,4m fixés sur ossature secondaire acier
- Performance :
 - Ombrage solaire : -35 à -40% gains thermiques
 - Ventilation : circulation air entre façade/mur → effet cheminée
 - Intimité visuelle : opacité 70% extérieur, transparence 60% intérieur
- Courbes organiques : cassure monotonie, dynamisme architectural

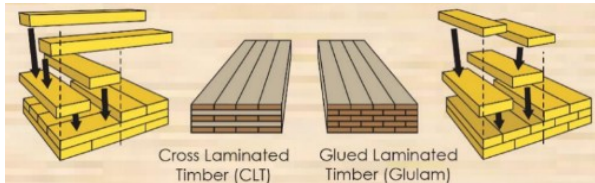
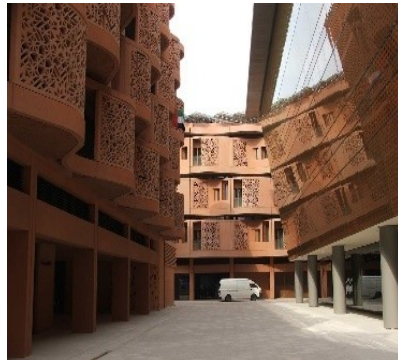


Certains bâtiments (dont une tour JTC) sont construits en bois **MET** (engl. *mass engineered timber*). Le Mass Engineered Timber est un bois technique massif composé de plusieurs couches de bois collées ou pressées. Exemples : CLT (Cross Laminated Timber), GLT ou LVL.

Ce matériau est réputé pour :

Sa haute résistance structurelle, sa légèreté par rapport au béton, et ses excellentes performances environnementales.

1. Le MET utilisé provient de forêts gérées de façon durable.
2. Ces bâtiments MET ont une **empreinte carbone très faible** : par exemple, un des bâtiments atteint 15 kg CO₂e/m², bien en dessous des normes de référence, ce qui montre l’avantage environnemental.
3. Le bois permet une construction modulaire : fabrication hors site (off-site) ce qui améliore la qualité de construction et réduit la main d’œuvre sur le chantier.

	Garde-corps verre : contraste modernité/tradition	 Source : https://www.jtc.gov.sg
	Façade ondulante mashrabiya Analyse technique : - Système double-peau : - Peau extérieure : panneaux terre cuite perforés (espacés 40-60 cm du mur) - Peau intérieure : mur béton isolé + fenêtres encastrées - Ventilation naturelle : air chaud monte cavité → extraction haute - Motifs géométriques : 40-50% surface perforée (équilibre ombre/lumière) Profondeur 3D : jeu ombres changeantes selon heure solaire Source : https://www.archdaily.com/tag/masdar-city - Fixation mécanique : rails aluminium + clips réglables (facilite maintenance) - Performance acoustique : absorption bruit extérieur -20 dB Bénéfices mesurés : - Température intérieure : -5 à -8°C vs façade classique vitré - Besoin climatisation : -30% - Confort visuel : lumière naturelle diffuse sans éblouissement 	Façades performantes / haute performance énergétique - Les façades sont « high performance » : elles sont conçues pour réduire les gains de chaleur d’environ 30%, ce qui contribue à maintenir un intérieur plus frais. JTC+2Beca+2 - Orientation nord–sud privilégiée, avec des espaces techniques / de services (local technique, couloirs) sur les façades est et ouest, pour minimiser la surchauffe. JTC+1 - Utilisation de verre haute performance (double vitrage « Low-E ») dans certaines fenêtres, pour limiter les apports solaires tout en gardant la luminosité naturelle  Source : https://www.jtc.gov.sg
	. Façades mixtes terre cuite + verre Cour intérieure - Combinaison matériaux Analyse comparative : Bâtiment gauche (résidentiel) : - Balcons circulaires terre cuite - Écrans perforés amovibles (protection solaire modulable) - Teinte chaude ocre/rouge Bâtiment droite (bureaux) : Façade vitrée low-E (apport lumière maximale espaces travail) Source : https://www.archdaily.com/tag/masdar-city - Panneaux perforés ponctuels (protection zones sensibles) - Reflets miroir (effet esthétique urbain) Sol cour : 	Architecture biophilique et végétalisée - Les façades intègrent des éléments comme des balcons, des terrasses, des lames d’ombre (louveres), des pots de plantes, des murs végétaux verticaux, pour éviter un mur massif uniforme. Urban Redevelopment Authority+1 - Ces éléments végétalisés participent aussi à l’isolation thermique et au confort, car les plantes procurent de l’ombre et régulent la température. 

Chapitre III	Approche Analytique
• Béton clair albédo 0,6-0,7 (réduction chaleur réfléchie) • Absence végétation dense (choix aride adapté) Stratégie mixité : • Résidentiel : intimité + confort thermique (terre cuite) • Bureaux : transparence + lumière (verre low-E) • Équilibre fonctionnel selon usage	Source : https://www.jtc.gov.sg
Façades métalliques composites Double façade aluminium/bronze Façade gauche (argentée) : • Matériau : Ailettes aluminium anodisé 2mm épaisseur • Fonction : Brise-soleil orientable (ajustement manuel/motorisé) • Performance : Ombrage 60-70% rayonnement direct Façade droite (bronze) : • Matériau : Panneaux aluminium composite (ACM) teinte or/bronze • Forme : Triangles 80×80 cm assemblés (tessellation) • Fixation : Rails métalliques cachés (effet flottant)  Source : https://www.archdaily.com/tag/masdar-city	Matériaux de structure et enveloppe • Outre le bois MET, le béton est utilisé, mais de manière optimisée pour réduire l’impact carbone (optimisation de l’usage du béton, selon les lignes directrices durables du district) BCA Corp. • Il y a une approche modulaire : des éléments préfabriqués peuvent être utilisés, ce qui permet un assemblage plus contrôlé, moins de gaspillage et une meilleure précision. Stratégies de conception passives • Les façades sont pensées pour la ventilation naturelle : la disposition, l’orientation et l’articulation (avec des vides, des terrasses, des balcons) favorisent l’air et réduisent le besoin en climatisation. JTC • Les brise-soleil, masque-fenêtres, lames orientables, et autres éléments d’ombre sont intégrés pour filtrer la lumière directe tout en laissant entrer la lumière diffuse — un bon compromis dans un climat tropical.

Source : <https://www.archdaily.com/tag/masdar-city>

Source : <https://arquitecturaviva.com/works/masdar-city-3>

Source : <https://woha.net/project/punggol-digital-district/>

12.Stratégies d'interventions

Les stratégies d'interventions visent à répondre aux dysfonctionnements identifiés dans le diagnostic du quartier. Elles ont pour objectif d'améliorer la qualité de vie des habitants, de renforcer l'attractivité du site. Donc suite à l'analyse thématique, nous avons élaboré les stratégies suivantes :

- **Sur le plan architectural**
- Intégration de capteurs de lumière en façade afin de transformer l'enveloppe bâtie en système intelligent réactif, capable de s'adapter aux conditions lumineuses et environnementales.
- Mise en place de façades végétalisées pour compenser le manque d'espaces verts, améliorer le confort thermique du bâti et réduire la chaleur, notamment sur les façades fortement exposées au sud.

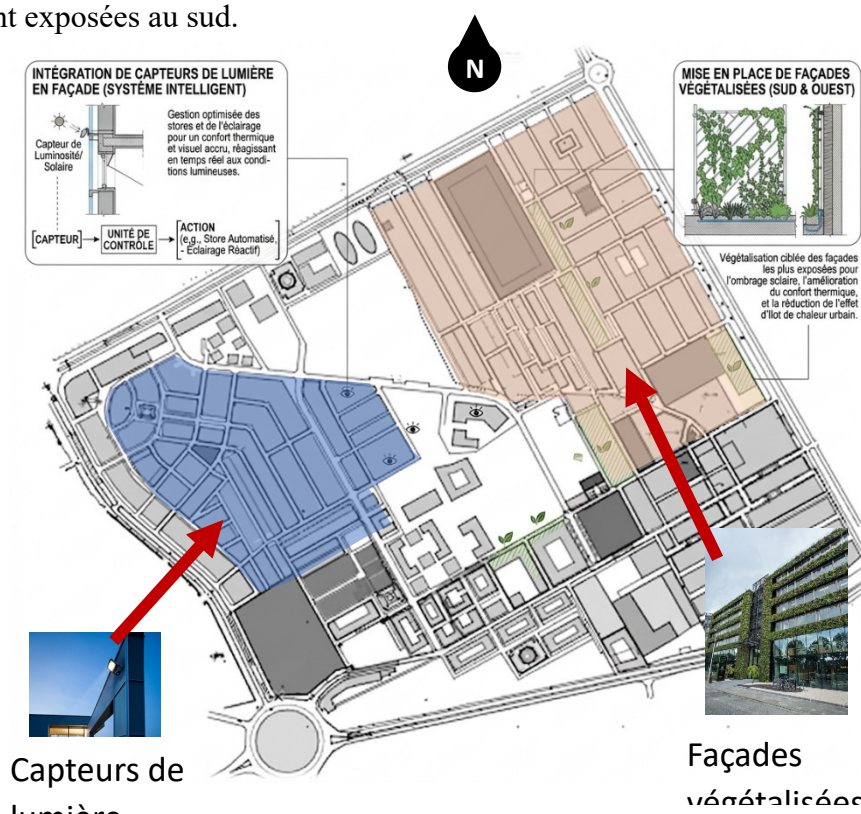


Figure 32: Stratégie sur le plan architectural

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

- **Sur le plan paysager**
- Mise en place d'un éclairage au sol intégré pour les cheminements piétons, associé à la technique du downlight, afin d'améliorer la sécurité et la lisibilité nocturne des parcours.

- Valorisation de la végétation par l'intégration d'arbres éclairés, permettant de mettre en scène les éléments naturels et de renforcer l'identité paysagère du quartier.
- Installation de capteurs de présence (PIR) pour assurer un éclairage réactif, activé uniquement en fonction des déplacements des usagers.
- Intégration de photocellules afin d'assurer une gestion automatique de l'éclairage en fonction du cycle jour/nuit et de la luminosité naturelle.
- Mise en place d'un système de récupération et de recyclage des eaux pluviales pour l'arrosage, afin de réduire la consommation d'eau potable et de valoriser les ressources naturelles.
- Développement d'un arrosage intelligent ajusté selon l'humidité du sol et les conditions météorologiques, pour optimiser la gestion de l'eau et éviter le gaspillage.
- Intégration de dispositifs de gestion des eaux pluviales de type **water sensitive design**, incluant des **bioswales** et des **rain gardens**, afin d'assurer une filtration naturelle et une meilleure infiltration des eaux.
- Introduction d'espèces végétales adaptées au climat semi-aride, telles que : **olivier**, **palmier dattier**, **grenadier**, **acacia**, **lavande** et **romarin**, afin de garantir la durabilité des espaces verts et de réduire la consommation en eau.
- Renforcement de la trame végétale par l'intégration d'espaces verts à différentes échelles urbaines, afin d'améliorer la qualité de l'air et le confort environnemental du quartier.
- Aménagement de **sky terrace gardens** (jardins en toiture) afin d'améliorer l'isolation thermique des bâtiments et de renforcer la qualité écologique du bâti.
- Installation de capteurs de sécurité et de luminosité afin d'améliorer la surveillance des espaces publics et d'optimiser la gestion de l'éclairage en fonction des besoins réels.
- Proposition de transitions graduelles entre les bâtiments de hauteurs différentes (effet de gradins) sur les terrains vides, associée à l'intégration d'espaces verts entre les volumes bâtis hétérogènes, afin d'assurer une continuité urbaine et visuelle et de renforcer la cohérence paysagère du quartier.

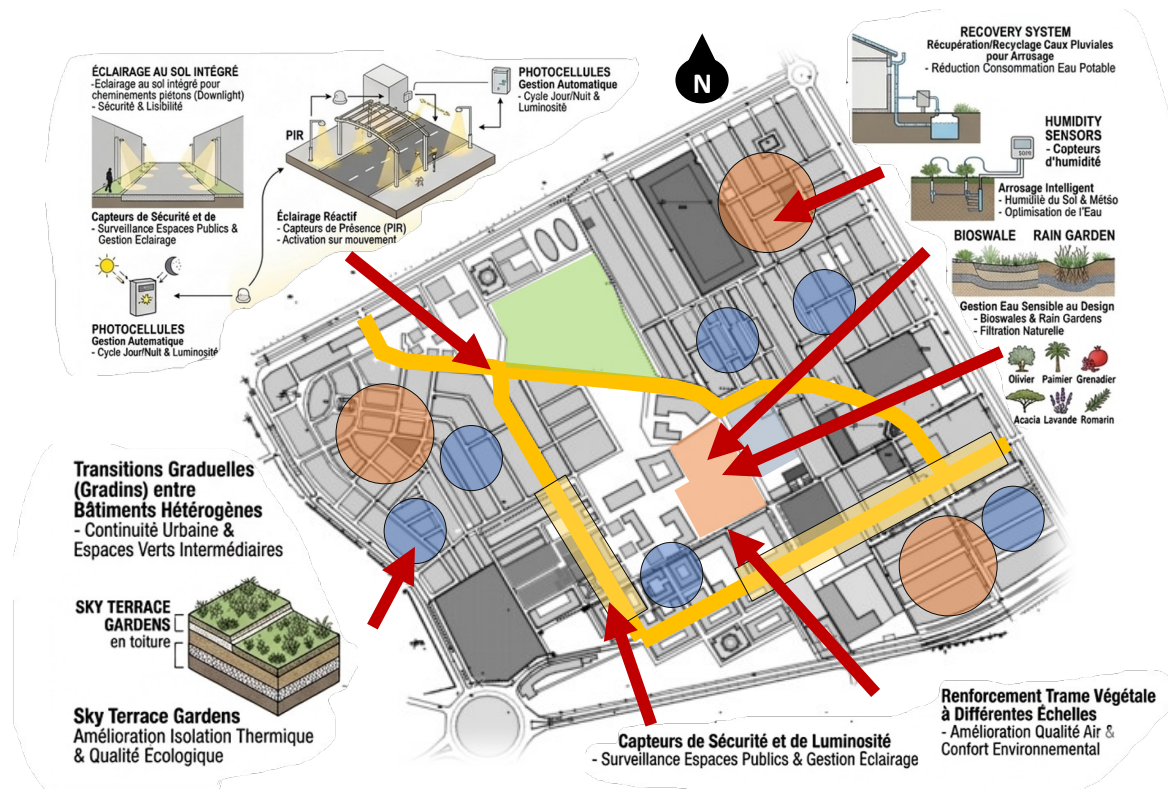


Figure 33: Stratégie sur le plan urbain et paysager

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

- **Sur le plan fonctionnel**
- Valorisation des toitures à travers l'intégration d'espaces verts, ainsi que de panneaux solaires sur les surfaces fortement exposées au soleil afin d'exploiter leur potentiel architectural, environnemental et énergétique.
- Intégration d'un système de Smart Energy Grid : c'est un réseau énergétique intelligent qui permet de produire, gérer et distribuer l'énergie de manière optimisée à l'échelle du quartier. Il repose principalement sur l'utilisation de panneaux solaires installés sur les toitures exposées au soleil, associés à des systèmes numériques capables de contrôler la consommation énergétique en temps réel afin de réduire le gaspillage et d'améliorer l'efficacité énergétique.
- Renforcement des connexions entre les différentes parties du quartier par l'aménagement de cheminements piétons continus, accessibles et sécurisés.
- Implantation d'un centre des cultures vivantes comme point dynamique du quartier favorisant les échanges, les activités culturelles et l'animation urbaine.
- Aménagement des espaces publics, notamment du parc urbain central, à travers l'intégration de technologies durables et d'équipements adaptés, afin de créer une

centralité urbaine claire favorisant les rencontres, les échanges sociaux et l'animation du quartier.

- Mise en place d'un système de collecte pneumatique souterraine des déchets afin de moderniser la gestion des ordures à travers un réseau de conduites enterrées, acheminant directement les déchets vers un centre de collecte centralisé, tout en réduisant les nuisances et en améliorant la fluidité de la circulation.
- Mise en place d'un système de tri intelligent des déchets associé au recyclage des matériaux afin d'améliorer la gestion à la source, favoriser la participation des habitants et réduire l'impact environnemental du quartier.

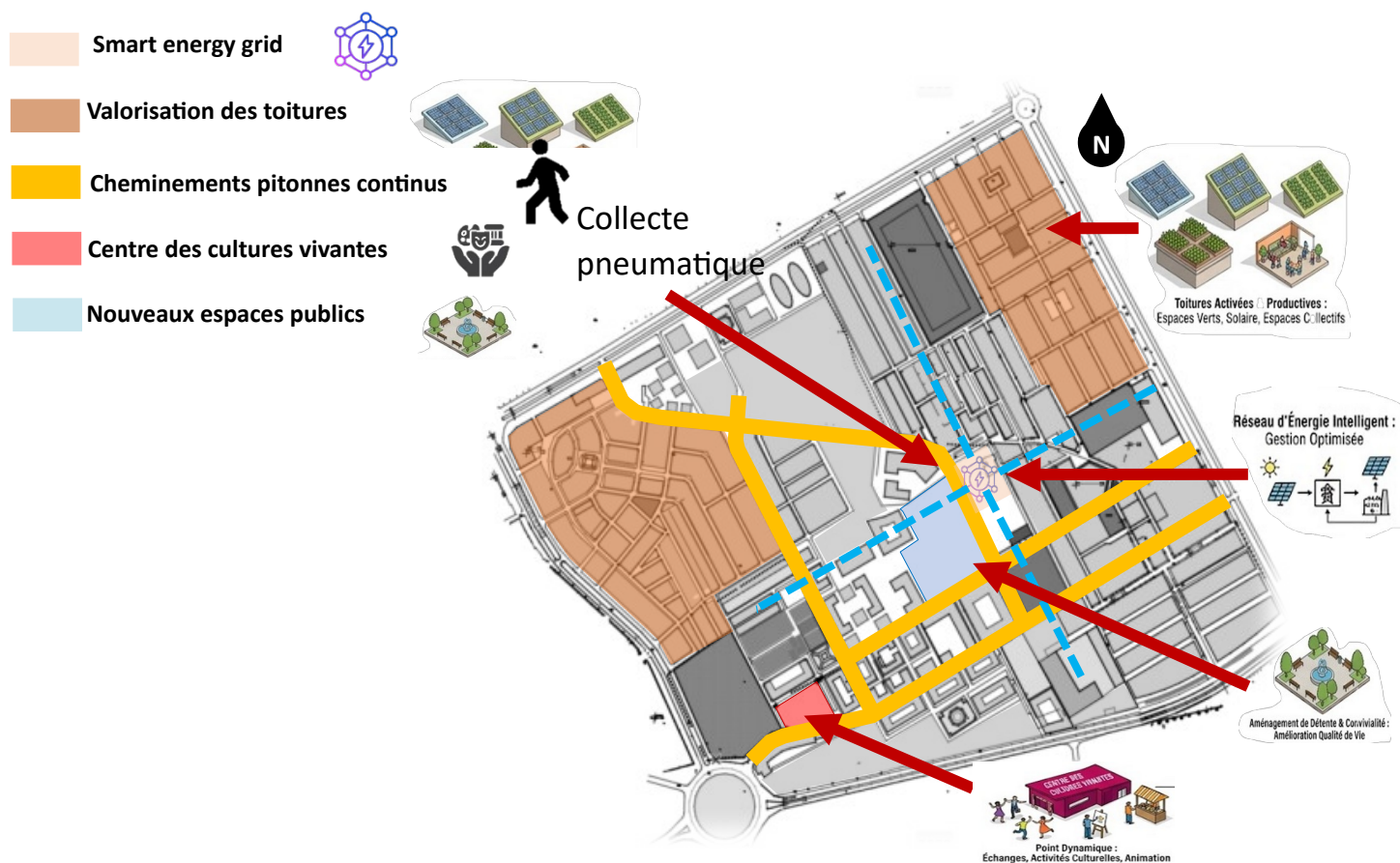


Figure 34: Diagnostic sur le plan fonctionnel

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

- **Sur le plan social**
- Aménagement de nouveaux espaces de stationnement afin d'améliorer l'organisation du quartier et de réduire les problèmes de circulation.

- Renforcement de l'accessibilité aux transports en commun à travers l'intégration de mini-bus assurant la liaison entre les différentes parties du quartier et les principaux points d'activité.
- Aménagement de pistes cyclables sécurisées afin d'encourager les mobilités douces et de réduire la dépendance à la voiture.
- Intégration de bornes de recharge pour véhicules électriques afin de favoriser la transition vers une mobilité plus durable et de renforcer l'image d'un quartier intelligent et innovant.
- Mise en place de feux de circulation intelligents équipés de caméras et de radars pour optimiser la gestion du trafic, améliorer la sécurité routière et fluidifier les déplacements.
- Réduction de l'empreinte carbone du quartier grâce à l'encouragement des moyens de transport alternatifs et à la limitation progressive de l'usage des véhicules thermiques.

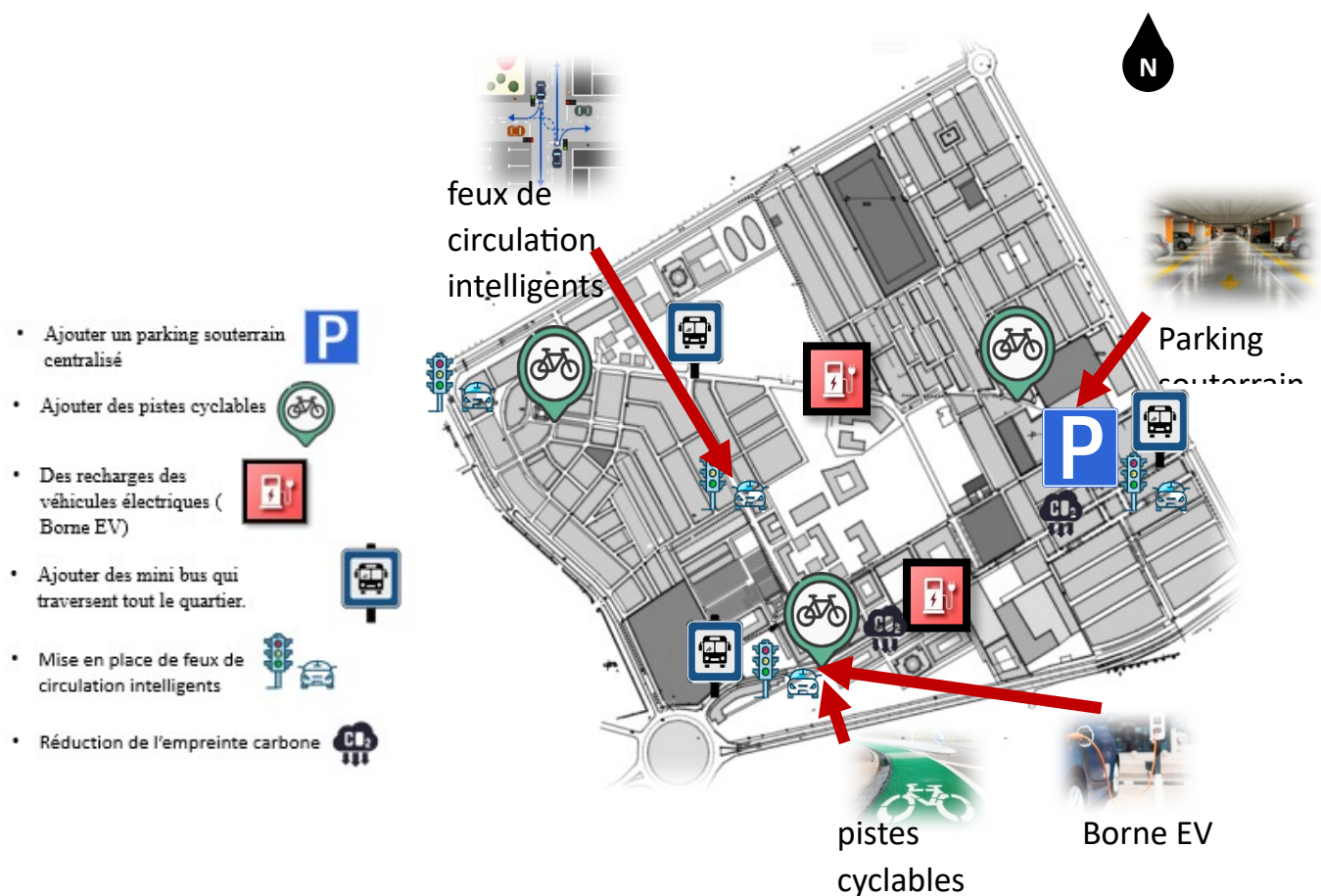


Figure 35: Diagnostic sur le plan social

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs.

13. Tableau des intégrations technologiques

Le tableau suivant présente les principales intégrations technologiques adoptées des deux exemples analysés. Ces dispositifs intelligents ont été intégrés afin d'améliorer la gestion urbaine, optimiser la consommation énergétique et renforcer la qualité des espaces publics. L'analyse de ces technologies permet de comprendre les stratégies mises en œuvre dans les projets de villes intelligentes et d'identifier les solutions pouvant être adaptées au projet étudié.

Critères	Masdar city (Abu Dhabi)	Punggol District (Singapour)	Adaptation possible pour Bir El Djir
Éclairage intelligent	- Lampadaire formes organiques. - Éclairage sol intégré. - Façades bâtiments illuminées. - Palmiers éclairés. - Température couleur chaude. - LED programmables. - Capteur PIR. - Gradation douce transitions jour/nuite. - Protection biodiversité. - Photocellules. - Capteurs météo. - Iot.	- Éclairage piloté par Open Digital Platform. - Capteurs occupation/lumière.	- Eclairage sol intégré : LED encastré pavement (guidage piétonnier) - Eclairage architectural : façade bâtiments illuminés subtilement. - Arbre éclairé : mise en valeur végétation. - LED programmable. - Capteur PIR (détecteur de présence et absence). - Downlight (diriger la lumière vers le bas afin de réduire l'impact de l'éclairage artificiel sur la nature (protection de la biodiversité)). - Photocellules : installés sur l'ensemble des luminaires pour une régulation automatique de l'éclairage.
Gestion énergétique	- Énergie 100% renouvelable : centrale solaire photovoltaïque (10 MW) + toitures solaires sur tous les bâtiments. - Réseaux smart grids et microgrid - Bâtiments intelligents (smart buildings) : capteurs Iot,	- Un smart energy grid - Panneaux solaires sur les toits - District Cooling System (DCS) - Contrôle via plateforme numérique : des capteurs (température, occupation)	- Toiture solaire : c'est un espace non exploité, afin de réduire l'empreinte carbone du bâtiment et avoir une énergie renouvelable - Un smart energy grid: un réseau électrique intelligent, c'est un petit réseau autonome

Gestion déchets	• Collecte pneumatique souterraine. • Tri intelligent et suivi du remplissage en temps réel (capteurs poids et composition). • Valorisation énergétique : incinération contrôlée et biogaz pour produire de l'électricité locale. • Recyclage : séparation et récupération des matériaux valorisables (plastique, métal, organique).	• Système de collecte pneumatique • Tri et recyclage : dans les bâtiments, il y aura des chutes pour le recyclage. • Compostage / biodigesteurs. • Analyse des données déchets : grâce aux capteurs, le volume et • Les patterns de déchets sont mesurés pour optimiser la collecte.	• Collecte pneumatique souterraine : tube aspirant automatisé afin d'éviter les camions de poubelles • Tri intelligent et suivi du remplissage en temps réel • Recyclage des matériaux valorisable • (Métal/plastique...)
Mobilité intelligente	• Personale Rapid Transit (PRT) : navettes électriques sans conducteur (réservation via app). • Connectivité transports publics (tram, bus électriques). • Parkings souterrains centralisés.	Le quartier est conçu "car-lite" (peu de voitures) : les routes principales sont en bordure, tandis que les accès aux bâtiments sont souterrains. • Infrastructure cyclable • Recharge de véhicules électriques : des bornes EV sont prévues. • Possibilité de transport autonome en futur.	• Ajouter un parking souterrain centralisé • Ajouter des pistes cyclables • Des recharges des véhicules électrique (Borne EV) • Ajouter des mini bus qui traversent tout le quartier.

Gestion de l'eau	- Dessalement solaire. - Recyclage eaux grises et pluviales pour arrosage des espaces verts et sanitaires. - Arrosage intelligent : sondes d'humidité, météo temps réel pour minimiser la consommation et éviter l'évaporation inutile. - Plantes xérophytes adaptées au climat aride.	- Le district prévoit une économie d'eau importante. - Systèmes de capteurs : collecte de données eau / environnement via l'Open Digital Platform. - Une gestion water-sensitive à travers des bioswales, des rain gardens et un système de récupération des eaux pluviales.	- Recyclage des eaux pluviales pour l'arrosage des espaces verts. - Arrosage intelligent. - Une gestion Water-sensitive: Bioswales, Main gardens. - Ajouter des plantes adaptées au climat d'Oran semi-aride.
Urbanisme et espaces verts	Urbanisme compact, architecture bioclimatique, wind tower, rues ombragées, bâtiments certifiés verts	- Héritage Trail : une section piétonne verte (1,3 km) qui conserve les arbres existants du vieux chemin de Punggol. - Sky Terrace Gardens : jardins sur les toits / terrasses 100% de "landscape replacement" - Canopées photovoltaïques (panneaux solaires surélevés) - Fermes urbaines sur toit.	- Ajouter un parc urbain central comme un lieu de détente - Espace vert intégrés : végétations des rues et des patios. - Sky Terrace gardens : jardin sur toitures pour la préserver et pour le bien être des habitants. - Mur végétalisé.

Technologies intelligentes	Pilotage centralisé & IA • Tableaux de bord urbains. • Analyse IA : prédiction consommation. • Open data pour recherche et innovation (Masdar Institute, start-ups). • les indicateurs environnementaux.	• Jumeau numérique (Digital Twin) • Copie virtuelle du quartier • Capteurs IoT (Internet of Things). • Open Digital Platform (ODP) : Plateforme centrale qui connecte toutes les données du quartier.	• Capteurs basiques (trafic, sécurité, luminosité) connectés à APC Bir El Djir.
-----------------------------------	---	---	--

Tableau 13 : Intégrations technologiques

Source : Auteurs

14.Master Plan

Le master plan met en évidence l’ensemble des stratégies urbaines et environnementales adoptées à partir d’exemples analysés et adaptées aux besoins du quartier. Afin d’assurer une organisation harmonieuse, durable et fonctionnelle.

- ❖ Le plan de masse présente l’ensemble des stratégies proposées pour la restructuration et la requalification du quartier. Dans un premier temps, nous avons travaillé sur la réorganisation des cheminements piétons, afin d’assurer une meilleure fluidité des déplacements et de renforcer la continuité urbaine à travers le site

Nous avons proposé une extension au terrain vide des espaces verts, permettant d’améliorer le confort d’usage.



Figure : Master plan

Source : Auteurs

Et une attention particulière a été portée à l'intégration d'un système d'éclairage intelligent. Qui permet d'améliorer la visibilité et la sécurité nocturne, et de valoriser les parcours et les espaces publics.

À une échelle plus détaillée, le projet met en évidence l'utilisation des LED encastré pavement permettent d'éclairer les parcours et de renforcer l'ambiance lumineuse de manière intégrée.



Figure 37: Vue Aérienne du Master Plan

Source : Auteurs

Le projet intègre un éclairage intelligent mettant en valeur la végétation grâce à des LED programmables. Des capteurs de présence et des photocellules permettent d'adapter automatiquement l'éclairage, tandis que les downlights réduisent l'impact sur l'environnement. L'ensemble assure un système à la fois efficace, économique et écologique.



Figure 36: Plan de masse du quartier

Figure 38: Ambiance nocturne et valorisation urbaine

Source : Auteurs

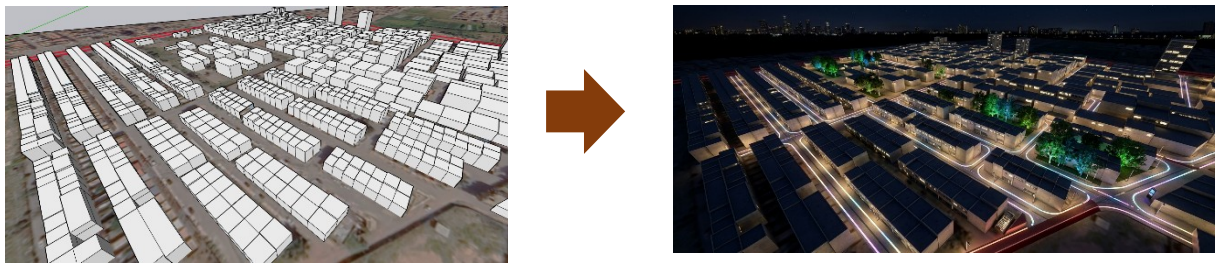


Figure 39: Perspective nocturne du Master Plan : Connectivité et Lumières

Source : Auteurs

On a intégré les toitures solaires afin de valoriser des espaces non exploités et produire une énergie renouvelable, ce qui permet de réduire l’empreinte carbone du bâtiment.

Cette production s’inscrit dans un smart Energy grid, c’est-à-dire un réseau électrique intelligent et autonome, assurant une gestion optimisée de l’énergie



Figure 40: Toitures végétalisées

Source : Auteurs

L’ajout de pistes cyclables permet de favoriser les déplacements doux. Cela encourage les habitants à utiliser le vélo, ce qui réduit la circulation automobile, la pollution

On a prévu l'installation de bornes de recharge pour véhicules électriques (EV). Afin d'encourager les habitants à la transition vers une mobilité plus propre et adoptent de plus en plus ce type de transport. On propose la mise en place de mini-bus internes qui traversent tout le quartier. Ces navettes permettent de faciliter la mobilité à l'intérieur du site

L'objectif global est de créer un quartier connecté et bien accessible



Figure 41: Piste cyclable, bornes électriques et mini-bus

Source : Auteurs

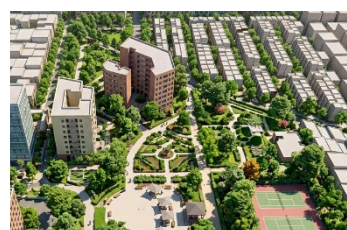
On a intégré un système de recyclage des eaux pluviales qui permet de collecter et réutiliser l'eau de pluie pour l'arrosage des espaces verts, réduisant ainsi la consommation d'eau potable. Et un arrosage intelligent par des capteurs qui ajustent automatiquement la quantité d'eau selon les besoins du sol afin d'éviter le gaspillage et d'assurer une gestion plus durable des ressources en eau.



Figure 42: Tri sélectif et arrosage connecté

Source : Les auteurs

On a aussi prévu l'ajout d'un parc central, avec les mêmes principes technologiques durables, Ce parc vient renforcer la vie culturelle et sociale du quartier



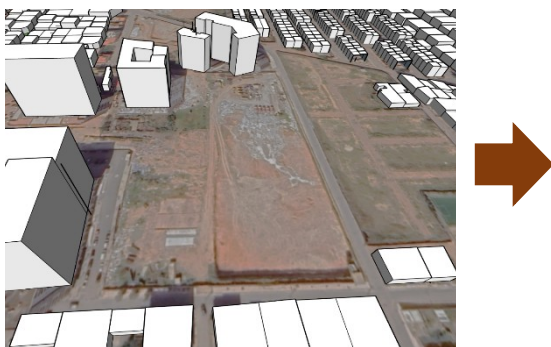


Figure 43: Parc urbain central aménagé

Source : Auteurs

Nous avons structuré un parking intelligent afin d'apporter des solutions efficaces aux problèmes de stationnement, tout en assurant une meilleure organisation des flux, une gestion optimisée des places et un confort d'usage pour les usagers du quartier



Figure 44: Le parking éco-intelligent du quartier

Source : Auteurs

Tandis que la restructuration des façades, à travers un éclairage maîtrisé, contribue à une **perception nocturne moderne et cohérente** de l'ensemble urbain.

On a intégré un système de protection contre la forte exposition solaire à travers les façades, combinant les brise-soleils modulaires et une inspiration de la mashrabiya locale.

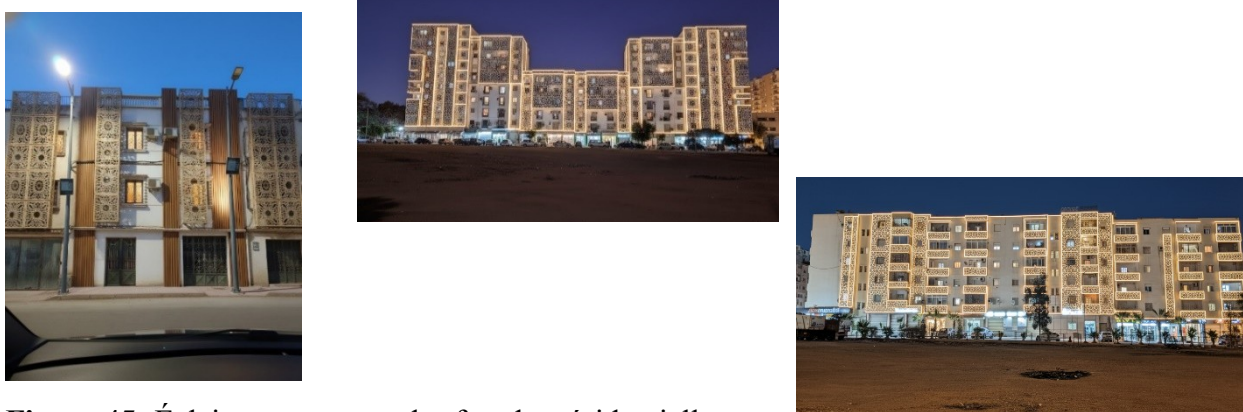


Figure 45: Éclairage nocturne des façades résidentielles

Source : Les auteurs

Nous prévoyons également d'intégrer des pavés piézoélectriques au niveau des cheminements piétons les plus fréquentés du quartier afin de produire de l'énergie à partir des pas des usagers, de favoriser une approche durable et innovante, ainsi que de contribuer à l'alimentation de certains équipements d'éclairage public.



Figure 46: Intégration du pavé intelligent dans les cheminements piétons du quartier

Source : Auteurs

15. Conclusion

Le Master Plan constitue l'aboutissement de l'ensemble des diagnostics et analyses réalisés à l'échelle du quartier. Chaque problématique identifiée qu'elle soit fonctionnelle, sociale, urbaine ou environnementale a été traduite en stratégies d'intervention concrètes et cohérentes.

Ces orientations ont ensuite été spatialisées et matérialisées dans le plan directeur, permettant de représenter de manière claire l'organisation future du quartier. Le projet propose ainsi une restructuration globale fondée sur les principes d'un quartier durable et intelligent, intégrant la mobilité, la gestion des ressources, la qualité des espaces publics et l'innovation urbaine.

Ainsi, le Master Plan ne se limite pas à une vision théorique, mais constitue une réponse opérationnelle et cohérente aux enjeux identifiés, visant à transformer le site en un espace plus fonctionnel, durable et adapté aux besoins actuels et futurs.

Dans cette continuité, l'affectation du projet architectural du Centre des Cultures Vivantes vient renforcer cette vision urbaine en apportant une réponse aux besoins culturels, sociaux et éducatifs du quartier et de la commune.

Chapitre IV : Programmation architecturale et idéation

1. Introduction

Dans cette section, nous présentons l'approche conceptuelle du projet architectural, en mettant en lumière les fondements qui ont guidé sa conception. S'appuyant sur une réflexion intégrant les dimensions environnementales, technologiques et sociales, cette démarche vise à proposer une architecture innovante, durable et en adéquation avec son contexte. Le projet se développe ainsi autour de principes directeurs tels que l'intégration des énergies renouvelables, la gestion intelligente des ressources et la qualité des ambiances spatiales. L'objectif est de concevoir une réponse architecturale cohérente, capable de répondre aux besoins fonctionnels du programme tout en offrant une expérience urbaine et sensorielle harmonieuse, adaptée au climat et à l'identité du site.

2. Présentation du concept global du projet

Le concept global du centre des cultures vivantes repose sur la création d'un pôle dynamique, culturel et écologique, conçu comme un lieu de rencontre, d'échange et d'apprentissage, en lien étroit avec son environnement urbain et naturel.

Implanté dans un site stratégique à Bir El Djir, à proximité d'axes structurants majeurs, le projet bénéficie d'une forte accessibilité et s'inscrit dans une dynamique urbaine active. Il vise ainsi à devenir un repère attractif, favorisant les flux, les interactions sociales et les activités de détente et de rencontre.

Le projet se distingue par l'intégration d'une dimension écologique et pédagogique à travers la mise en place d'un **laboratoire botanique**, en relation avec la pépinière. Cet ensemble permet de sensibiliser les usagers à la biodiversité, à la culture des plantes adaptées au climat local et aux pratiques durables, tout en créant une continuité entre espaces bâtis et espaces paysagers.

Sur le plan architectural, le centre des cultures vivantes adopte une organisation spatiale ouverte et fluide, favorisant la diversité et l'appropriation par les usagers. Les espaces extérieurs, traités comme de véritables lieux de vie, participent à la qualité du projet en offrant des zones de repos, de promenade et d'interaction.

L'éclairage intelligent constitue l'élément central du projet, en assurant une continuité des usages nocturnes à travers des ambiances lumineuses adaptatives et interactives. Grâce aux technologies avancées telles que les systèmes LED intelligents, les capteurs de présence et la

gestion automatisée, les espaces réagissent aux flux et aux déplacements des usagers, créant ainsi une scénographie nocturne vivante et immersive.

Le projet intègre également des pavés piézoélectriques interactifs capables de produire de l'énergie à partir des déplacements piétons. Cette technologie permet de transformer les parcours urbains en surfaces actives génératrices d'énergie, utilisée pour alimenter certains dispositifs lumineux et interactifs du site. L'utilisateur devient ainsi un acteur direct du fonctionnement énergétique et sensoriel de l'espace public.

À travers cette approche, le projet propose une nouvelle vision de l'espace urbain contemporain, où culture, technologie, lumière et durabilité s'associent pour créer un environnement nocturne innovant, attractif et intelligent.



Figure 47: Principales problématiques et besoins du quartier

Source : Schéma structuré par auteurs

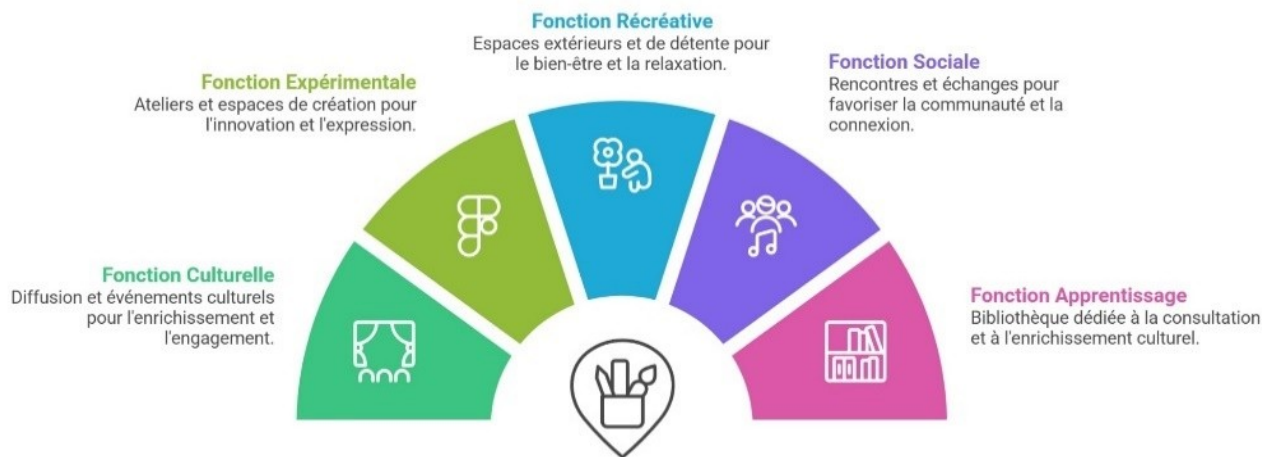


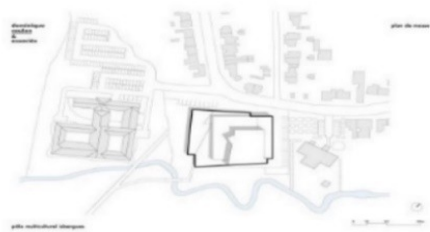
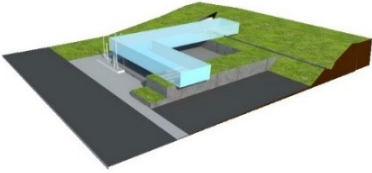
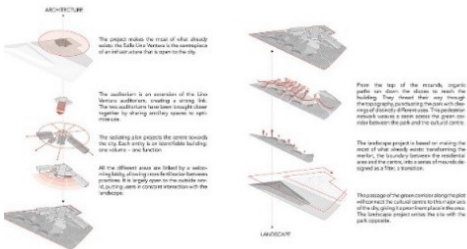
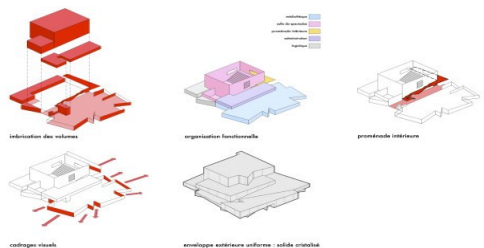
Figure 48: Schéma des fonctions principales

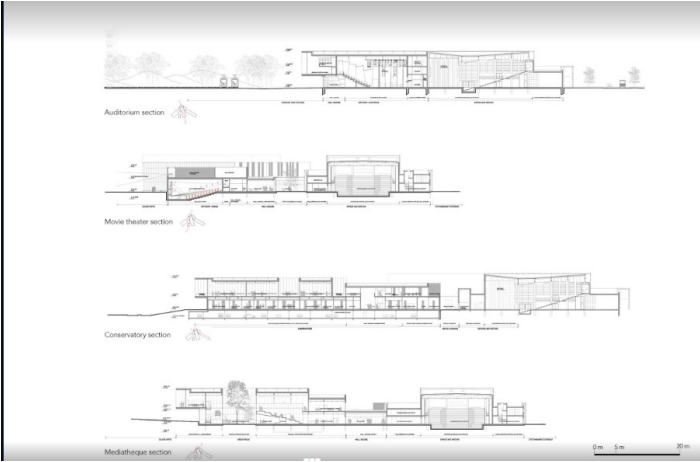
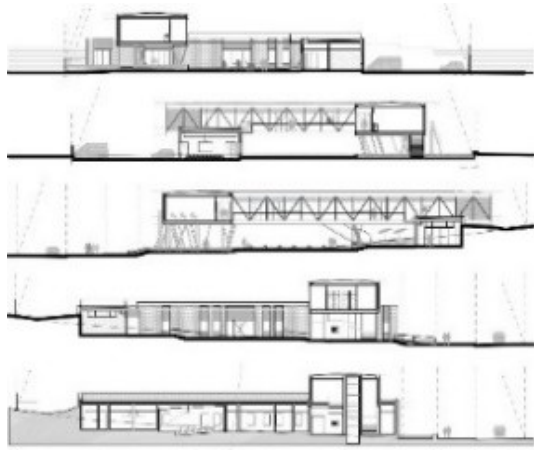
Source : Schéma structuré par auteurs

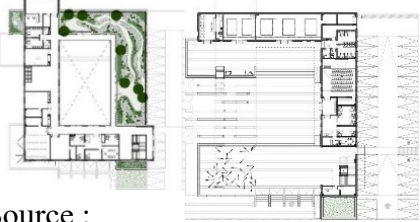
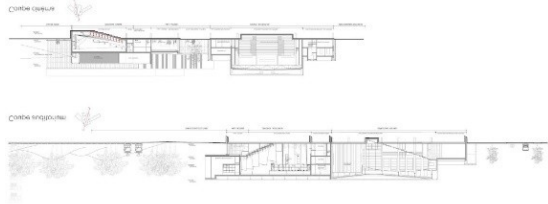
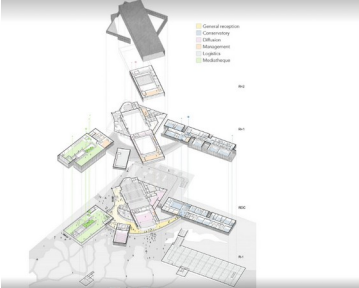
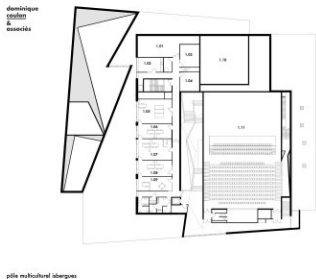
3. Analyse thématique des exemples des centres cultureux

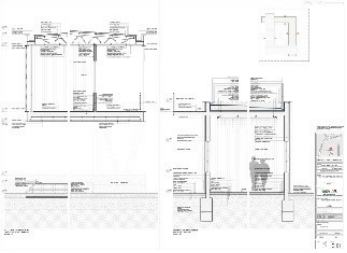
L'analyse thématique des exemples permet d'étudier les différentes approches architecturales, fonctionnelles et technologiques adoptées dans des projets similaires. Elle vise à comprendre l'organisation des espaces, les relations entre les différentes fonctions, ainsi que les stratégies utilisées pour renforcer l'attractivité, l'animation urbaine et l'expérience des usagers.

	1. Centre culturel El Tranque	2. Centre culturel Garges-Lès-Gonesse	3. Pôle multiculturel, à Isbergues																														
Présentation	 Source : https://www.archdaily.com.br/br/887710/centro-cultural-el-tranque-bis-arquitectos	 Source : https://www.arkitectureonweb.com/fr/-/projets/cultural-centre																															
	Fiche technique	<table><tr><td>Architecte</td><td>BIS Arquitectos</td></tr><tr><td>Année</td><td>2015</td></tr><tr><td>Situation</td><td>Lo Barnechea, Santiago</td></tr><tr><td>Surface</td><td>1400 m² (tous les niveaux)</td></tr><tr><td>Fonction</td><td>Un point de convergence social et culturel</td></tr></table>	Architecte	BIS Arquitectos	Année	2015	Situation	Lo Barnechea, Santiago	Surface	1400 m² (tous les niveaux)	Fonction	Un point de convergence social et culturel	<table><tr><td>Architecte</td><td>archi5</td></tr><tr><td>Année</td><td>Octobre 2022</td></tr><tr><td>Situation</td><td>Val-d’Oise, Île-de-France</td></tr><tr><td>Surface</td><td>7 800 m²</td></tr><tr><td>Fonction</td><td>un espace culturel polyvalent dédié à la diffusion artistique, et à la rencontre sociale.</td></tr></table>	Architecte	archi5	Année	Octobre 2022	Situation	Val-d’Oise, Île-de-France	Surface	7 800 m²	Fonction	un espace culturel polyvalent dédié à la diffusion artistique, et à la rencontre sociale.	<table><tr><td>Architecte</td><td>Dominique Coulon & Associés</td></tr><tr><td>Année</td><td>2013</td></tr><tr><td>Situation</td><td>Isbergues, Pas-de-Calais, France</td></tr><tr><td>Surface</td><td>4 270 m²</td></tr><tr><td>Fonction</td><td>un espace polyvalent dédié aux activités culturelles, sociales et communautaires.</td></tr></table>	Architecte	Dominique Coulon & Associés	Année	2013	Situation	Isbergues, Pas-de-Calais, France	Surface	4 270 m²	Fonction
Architecte	BIS Arquitectos																																
Année	2015																																
Situation	Lo Barnechea, Santiago																																
Surface	1400 m² (tous les niveaux)																																
Fonction	Un point de convergence social et culturel																																
Architecte	archi5																																
Année	Octobre 2022																																
Situation	Val-d’Oise, Île-de-France																																
Surface	7 800 m²																																
Fonction	un espace culturel polyvalent dédié à la diffusion artistique, et à la rencontre sociale.																																
Architecte	Dominique Coulon & Associés																																
Année	2013																																
Situation	Isbergues, Pas-de-Calais, France																																
Surface	4 270 m²																																
Fonction	un espace polyvalent dédié aux activités culturelles, sociales et communautaires.																																
Idée principal	Il crée un espace public central, un vide qui devient place intérieure où l’usager peut vivre, se rencontrer, participer, observer ou intervenir dans les activités. Ce vide fait partie du programme même du bâtiment : il favorise la continuité entre culture et communauté, il invite à la participation sociale quotidienne.	Un centre culturel ouvert, accessible et multifonctionnel qui crée du lien social et dynamise la ville. Tableau 14: Analyse thématique	Un espace flexible et évolutif qui accueille différentes cultures, activités et événements dans une même structure.																														

Plan de masse	Le bâtiment est orienté vers la place publique existante, ce qui renforce sa fonction de lieu d'intégration communautaire. Intégration topographique Un toit-jardin ou couvercle vert sur le volume massif Source : https://www.archdaily.com.br/br/887710/centro-cultural-el-tranque-bis-arquitectos 	Organisation générale du site Le projet se lit en trois axes majeurs : 1. Parvis public au sud interface avec le quartier. 2. Hall d'accueil central point de croisement des circulations. 3. Volumes latéraux programmatiques répartis le long du corridor vert. Le plan de masse joue sur la porosité entre espace public extérieur et équipements intérieurs. Source : https://www.arkitectureonweb.com/fr/-/projets/cultural-centre 	Le bâtiment est articulé autour d'un axe principal qui relie la ville au parc intercommunal, créant une circulation centrale structurante. Les différents programmes s'implantent le long de cet axe, offrant deux entrées bien distinctes tout en fédérant l'ensemble du programme 
Intégration urbaine	• Une toiture verte accessible prolonge le paysage naturel vers l'intérieur du bâtiment, faisant pénétrer l'élément topographique dans la composition architecturale. • Les façades composent ainsi une dynamique entre ouverture et fermeture, masse et transparence, qui soutient la vocation publique du projet.	Le projet s'ouvre sur la rue et un parc voisin, créant une "place intérieure" publique pour favoriser la cohésion sociale et les échanges culturels.	Implantation stratégique • Situé au cœur de la ville • Proche des axes principaux et équipements Connexion avec le tissu urbain • Bonne accessibilité (piétons, voitures) • Liaison directe avec les espaces publics Rôle social et urbain • Équipement attractif
Volumétrie	Volume 1 : Massif, ancré à la terre Matériau : béton armé recouvert de pierre (qualité traditionnelle) Volume 2 : Suspendu, léger, contemporain Structure : métal + dalle précontrainte Source : https://www.archdaily.com.br/br/887710/centro-cultural-el-tranque-bis-arquitectos 	• Volume A : Hall & cœur du projet • Volume B : Salles publiques & auditorium • Volume C : Ateliers & médiathèque  Source : https://www.arkitectureonweb.com/fr/-/projets/cultural-centre	La volumétrie repose sur des blocs simples mais distincts, une variation de hauteurs pour hiérarchiser les fonctions, et un jeu de transparences et opacités qui relie le bâtiment au paysage tout en structurant clairement les usages. 

Façades	1. Façade du volume socle • Matériau : béton armé recouvert de pierre naturelle donnant un aspect solide, ancré à la terre. • Cette façade est généralement plus fermée, avec des ouvertures contrôlées vers les espaces programmatiques internes publics (auditorium, expos). 2. Façade du volume suspendu • Elle est plus légère visuellement, souvent traitée avec une structure métallique apparente et une dalle post-tendue. La façade urbaine est plus ouverte, définissant l’identité contemporaine du Centre culturel et créant un dialogue visuel avec la place et la ville. Source : https://www.archdaily.com.br/br/887710/centro-cultural-el-tranque-bis-arquitectos	Les façades jouent sur deux caractéristiques clés : • Continuité avec le paysage • Lisibilité des fonctions internes Typologies de façade 1. Vitrée en bande → salle polyvalente, hall, café 2. Mi-ouverte / mi-pleine → ateliers, médiathèque 3. Fermée mais percée → salles techniques Façade filtrante → zones où il faut lumière douce (expositions, circulations) 	• Les façades sont recouvertes d’une peau en acier inoxydable avec trois finitions différentes : satiné, miroir et mat. Cela crée un effet cinétique et changeant selon la lumière et la météo : le bâtiment peut « disparaître » dans le ciel gris ou au contraire réfléchir la lumière très intensément. Certains pans de façades sont largement vitrés, notamment du côté des zones publiques (médiathèque), favorisant la transparence et le dialogue avec l’extérieur. 
Coupes	Matériaux utilisés • Pierre + béton → ancrage, tradition, permanence Structure métallique + dalle légère → contemporanéité, légèreté  Source : https://www.archdaily.com.br/br/887710/centro-cultural-el-tranque-bis-arquitectos	Bardage métallique patiné / cuivre naturel : → couleur chaude, surface réfléchissante → crée un lien visuel avec le paysage, proche des tons terre / végétation. Vitrages généreux : → grandes baies vitrées dans les zones publiques → transparence visuelle sur les espaces extérieurs, invitant la lumière. Surfaces opaques texturées : → répondent au besoin d’intimité dans les salles de spectacle ou la médiathèque.	Une coupure dans la coupe principale montre le grand axe de circulation qui traverse l’édifice, du parc à la ville, fédérant les espaces culturels. 

Chapitre IV	Approche conceptuelle	
Fonctionnement	<u>Rez-de-chaussée : espace publics et de diffusion culturelle</u> Entrée ouverte sur la rue et la place publique adjacente Domaines publics : Auditorium 60 personnes, Expositions, Café / foyer Zones de rencontres et de circulation active. <u>Premier étage</u> Espaces de formation, de créativité et d’expression : Ateliers de musique Arts plastiques, Scènes et théâtre, Ateliers culinaires, Terrasse atelier <u>Vide central / Place intérieure 450m²</u> Cœur social, lieu de rassemblement, Permet la culture hors murs, favorise événements et usages spontanés   Source : https://www.archdaily.com.br/br/887710/centro-cultural-el-tranque-bis-arquitectos  Le centre culturel est organisé autour d’un hall traversant, qui constitue le cœur public du projet Rez-de chaussée espace publics : hall d’accueil, médiathèque, expositions temporaires, café/foyer 60–80 personnes, espace polyvalent 150–200 personnes Niveaux intermédiaires : espaces publics et semi-privés Ateliers, salles de répétitions, salle de petit spectacle Auditorium (dans un volume dédié) Scène principale 250 à 300 places Second auditorium / espaces modulables Événements, conférences Entre 150 et 200 places selon configuration Services & back-office Fonctions support bureaux, logistique, stockage    <u>Rez-de-chaussée :</u> Hall d’accueil / Lobby 150m² /100 personnes Salle polyvalente / spectacles 400 250 Bureau administratif/ accueil public 100 10 Espace exposition / galerie 120 50 <u>1er étage :</u> Médiathèque / bibliothèque 300 100 Salle d’ateliers culturels 200 40 Salle de réunion / formation 80 25 <u>2eme étage :</u> Espace associatif / bureaux 150 20 Salle polyvalente secondaire 120 50 Sous-sol / Parking : Stationnement / maintenance 300  	

Matériaux et perception	Socle béton + pierre Coque / structure métallique Structure acier + toit ou coque légère Permet : grandes portées → ateliers, salles d’exposition, ou toit jardin transparence partielle → plus de lumière naturelle flexibilité programmatique → ça peut changer l’usage sans modifier la structure Source :  https://www.archdaily.com.br/br/887710/centro-cultural-el-tranque-bis-arquitectos	Bardage métallique patiné / cuivre naturel : → couleur chaude, surface réfléchissante → crée un lien visuel avec le paysage, proche des tons terre / végétation. Vitrages généreux : → grandes baies vitrées dans les zones publiques → transparence visuelle sur les espaces extérieurs, invitant la lumière. Surfaces opaques texturées : → répondent au besoin d’intimité dans les salles de spectacle ou la médiathèque.	Les murs structurants de la salle de spectacle sont en béton bouchardé pour des raisons acoustiques, ce qui se voit dans les coupes et souligne la robustesse du volume scénique.
Ambiances intérieures	 Source : https://www.archdaily.com.br/br/887710/centro-cultural-el-tranque-bis-arquitectos Une ambiance intérieure naturelle, lumineuse et fluide, favorisant le confort, la flexibilité et la connexion avec l’environnement.	Ambiances nocturnes : Mise en lumière - Façades vitrées deviennent lanternes urbaines la nuit visibles du quartier. - Lumière douce pour les zones d’exposition. - Éclairage accentué pour parvis & circulations extérieures.	Variété spatiale & ergonomique : des espaces pensés pour différents usages et postures. Contraste des matières : béton brut dans les zones techniques / acoustiques vs. Sols colorés et éléments dynamiques dans les zones publiques. Relation avec l’extérieur : larges transparences et cadrages favorisent les vues sur le parc ou la ville. 

➤ Synthèse des exemples

L'analyse thématique des trois projets de référence nous a permis de dégager les éléments essentiels à intégrer dans le programme de notre propre projet de centre des cultures vivantes, et aussi d'identifier les fonctions principales (Formation, Ateliers, exposition, détente...) liées à la culture, à l'apprentissage et à la rencontre, notamment à travers l'intégration d'un laboratoire botanique en lien avec une pépinière.

Cette analyse met en lumière les enjeux contemporains de l'architecture tels que la flexibilité des espaces, la qualité des ambiances et l'intégration des technologies intelligentes. Cette démarche permet ainsi de justifier les choix conceptuels et programmatiques adoptés pour le projet, en assurant une réponse cohérente et innovante.

4. Définition du projet

A la suite de l'analyse thématique, il est nécessaire de définir notre projet architectural proposé, en précisant sa nature, destiné pour qui, son implantation et au final son approche conceptuelle.

❖ Quoi ?

Notre projet réside dans la conception d'un centre culturel engagé dans l'écologie, l'innovation et l'éducation, visant à créer un espace dynamique dédié aux activités culturelles, artistiques, sociales et technologiques. Le projet a pour objectif de renforcer les échanges culturels, encourager la créativité et offrir un cadre interactif favorisant l'apprentissage, la découverte et la rencontre entre les différents usagers.

Le centre s'organise autour de plusieurs fonctions complémentaires assurant une diversité d'usages et une animation continue du site. Les espaces d'exposition permettent la valorisation des œuvres artistiques, des projets innovants et des événements culturels temporaires ou permanents. Les ateliers créatifs et artistiques offrent des espaces de pratique, de formation et de production destinés aux activités artisanales, numériques et culturelles.

Le projet intègre un laboratoire botanique d'innovation et de recherche dédiés aux nouvelles technologies, aux expérimentations interactives et aux solutions écologiques intelligentes. Ces espaces favorisent la collaboration, le développement d'idées innovantes et les échanges entre étudiants, chercheurs et artistes.

L'auditorium constitue un espace majeur du projet, destiné aux conférences, projections, spectacles, présentations culturelles et événements publics. Il participe à l'animation culturelle du centre et au renforcement de son attractivité à l'échelle urbaine.

La bibliothèque et les espaces de lecture offrent un environnement calme dédié à la consultation, à la recherche, à l'apprentissage et au développement des connaissances. Ces espaces sont complétés par des zones de coworking et de rencontre favorisant les échanges intellectuels et les activités collaboratives.

Le projet comprend également des espaces de détente et de convivialité tels qu'un café culturel, des espaces de restauration et des zones de rencontre permettant de prolonger les interactions sociales et culturelles dans une ambiance ouverte et accessible.

Enfin, l'intégration des technologies intelligentes, de l'éclairage interactif et des dispositifs énergétiques innovants, notamment les pavés piézoélectriques, contribue à créer un environnement durable, immersif et vivant, où culture, écologie et innovation s'associent pour offrir une nouvelle expérience de l'espace public et culturel.

❖ Pour qui ?

Notre centre culturel s'adresse aux habitants de la commune, les jeunes, les étudiants, les familles ainsi que les chercheurs en mettant en valeur la mixité sociale et culturelle.

❖ Où ?

Notre projet s'implante dans un site stratégique à Bir el Djir, Oran, en proximité avec les axes structurants majeurs (boulevard du 5 juillet, boulevard du millénium) et des zones dynamiques, ce qui lui donne une forte accessibilité et un rôle potentiel de centralité urbaine.

❖ Comment ?

Le projet impose une approche intégrée combinant : l’intégration des énergies renouvelable, l’utilisation de technologies intelligentes, une architecture adaptée au climat local et une mise en valeur des ambiances urbaines et paysagères.

L’objectif de notre projet est de créer un espace vivant pour le quartier qui sera durable et innovant afin de favoriser la rencontre et l’apprentissage par les usagers.

5. Programme surfacique

Fonctions	Espaces	Surfaces	Capacité d'accueil	Ratios	Orientation
Accueil et services généraux	- Hall d’accueil. - Réception / billetterie. - Sanitaires. - Boutique.	150 m² 30 m² 55 m² 120 m²	90 20 14 48	1.6 1.5 3.9 2.5	- Sud - Sud - Nord - Sud
Administration	- Espace d’accueil administratif - Bureau de direction - Secrétariat. - Salle de Réunion - Bureau de communication et marketing - Bureau des ressources humaines - Bureau de personnel - Sanitaires H/F	40 m² 75 m² 21 m² 72 m² 54 m² 65 m² 25 m² 15 m²	20 10 4 48 12 13 5 5	2 7.5 5.2 1.5 4.5 5 5 5	- Nord - Est - Est - Est - Sud - Sud - Ouest - Nord
Espaces d’exposition et d’art	Salle d’exposition (bio-art, culturelle, écologie.)	200 m²	80	2.5	Ouest
Salles de spectacle et espace polyvalent	- Auditorium polyvalent (théâtre, concerts, conférences). - Salle polyvalente	500 m² 160 m²	300 50	1.6 1.6	- Est - Nord / est
Espaces éducatifs et ateliers	- Atelier bio matériaux - Atelier de peinture - Atelier de sculpture, poterie - Atelier de photographie - Atelier de musique - Ateliers multimédias. - Atelier culinaire - Salle de recherche - Laboratoire botanique. - Atelier robotique - Atelier podcast - Espace démonstration éclairage	75 m² 70 m² 67 m² 60 m² 140 m² 74 m² 65 m² 203 m² 240 m² 74 m² 50 m² 57 m²	20 18 17 15 35 18 16 68 80 18 12 14	3.7 3.8 3.9 4 4 4.1 4.06 2.9 3 4.1 4.1 4.7	- Est - Nord - Est - Sud - Sud - Est - Sud - Ouest - Ouest - Sud - Sud - Sud
Bibliothèque et médiathèque	- Bibliothèque (art, culture) - salle de lecture	240 m² 123 m²	96 49	2.5 2.5	- Nord /ouest - Sud
Espaces communautaires et sociaux+ restauration	Café culturel / lounge .	180 m²	72	2.5	Nord
Espaces techniques et logistiques	- Locaux techniques : - Local d’électricité - Local groupe électrogène	15 m² 20 m² 25 m²	2 2 3	7.5 10 8.3	- Nord - Nord - Nord

	• Local de chaufferie,climatisation,ventilation • Local plomberie, Bach a eau • Local de maintenance • Stockage. • Parking.	• 25 m² • 20 m² • 25 m² • 750 m²	• 3 • 3 • 2 • 3 • 27 voitures	• 8.3 • 8.3 • 10 • 8.3 • 25	• Nord • Nord • Nord • Nord • Nord
Espaces de détente et loisirs	• Aires de repos. • Dépôt de livre : petites cabines de livres en libre	• 150 m² • 30 m²	• 50 • 10	• 2.5 • 3	• Nord • Ouest • Est

Tableau 15 : Programme surfacique

6. Programme spécifique quantitatif de projet

- Surface du terrain : 7075 m2
- Surface Plancher (sans circulation) : 3150 m2
- Surface Plancher (41 % circulation) : 5343 m2
- Surface emprise du sol : 2721 m2
- Surface Non Bâti : 4354 m2
- COS : 75 %
- CES : 38.4 %

7. Echelle d’appartenance et capacité d’accueil

Ce projet, situé à l’entrée du quartier, occupe une position stratégique qui lui permet de rayonner à l’échelle de la commune de Bir El Djir. En raison de la diversité de ses fonctions culturelles, sociales et éducatives, ainsi que de son rôle de pôle d’attractivité et de rencontre, le Centre des Cultures Vivantes est conçu pour accueillir environ 600 personnes, une capacité adaptée à l’importance du projet et aux besoins du quartier et de la commune.

Analyse du site

1. La situation géographique du site



Figure 49: la situation géographique de la zone d’étude

Source : Wikipédia

Le site d’étude se situe dans la **commune de Bir El Djir**, à l’est de la **ville d’Oran**, Il se trouve à environ **8 kilomètres du centre-ville d’Oran** et fait partie intégrante de la **périphérie urbaine orientale**, qui connaît une forte expansion urbaine et démographique.

2. Choix du terrain

Le terrain retenu pour la mise en œuvre du projet est situé au sud-est du quartier, avec une superficie de 7 075 m²

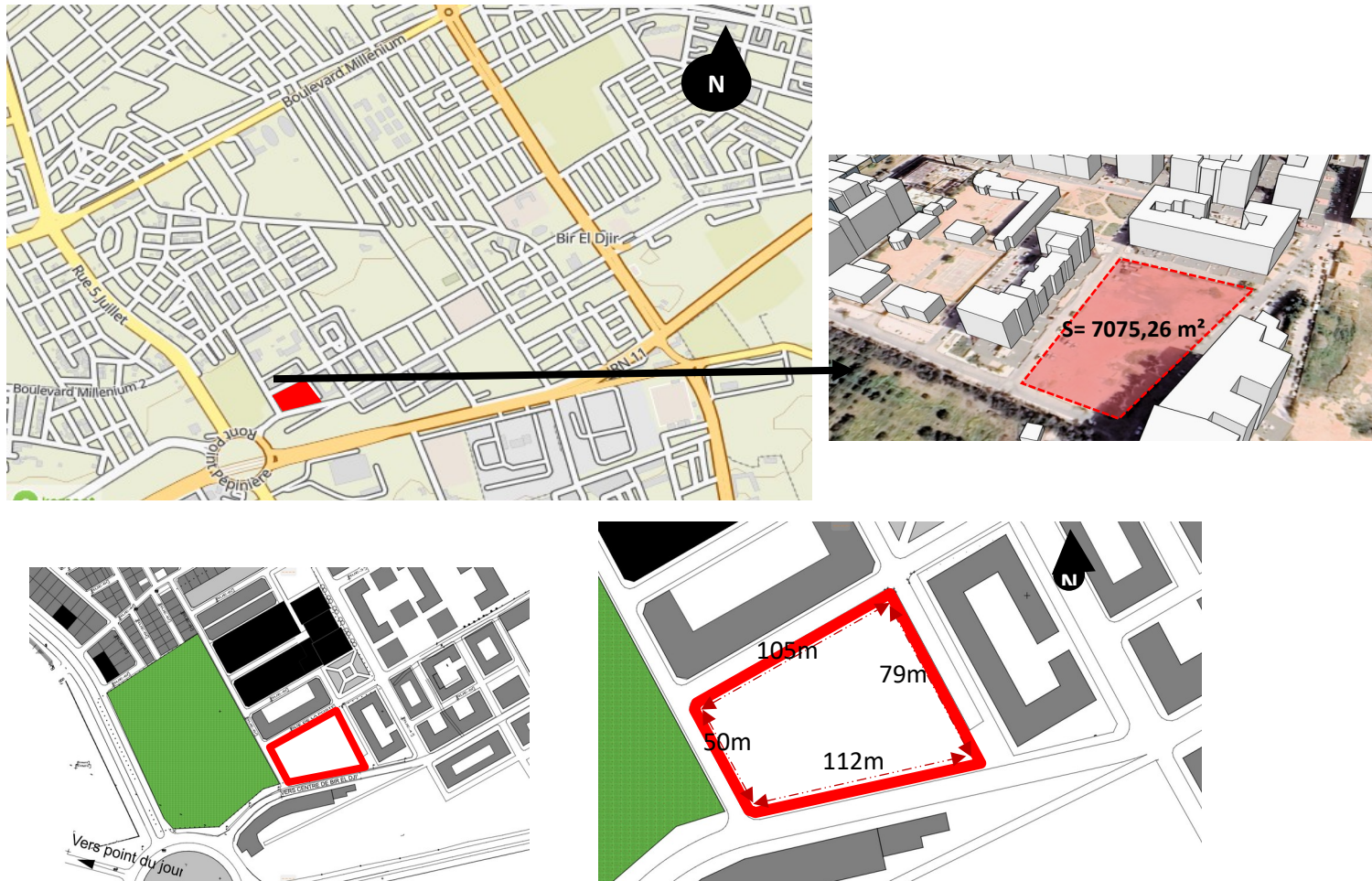


Figure 50: Choix du terrain

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs

3. Critères de choix du terrain

Position stratégique :

- Terrain accessible
- Situé sur des axes structurants
- Forte fréquentation piétonne et automobile
- Position à l'entrée du quartier
- Bonne visibilité du site

Potentiel de développement : Surface d'environ 7000 m² adaptée au projet et Possibilité de créer un pôle attractif et multifonctionnel

Carences du site

- Manque d'activités et Insuffisance en éclairage, notamment intelligent
- Besoin de valorisation urbaine

Conditions du site

- Bon ensoleillement favorable au confort et aux usages

4. Architecture environnante

Le terrain est délimité par des logements collectifs au côté Nord et Est et par une voie principale au Sud et par un terrain vide au ouest

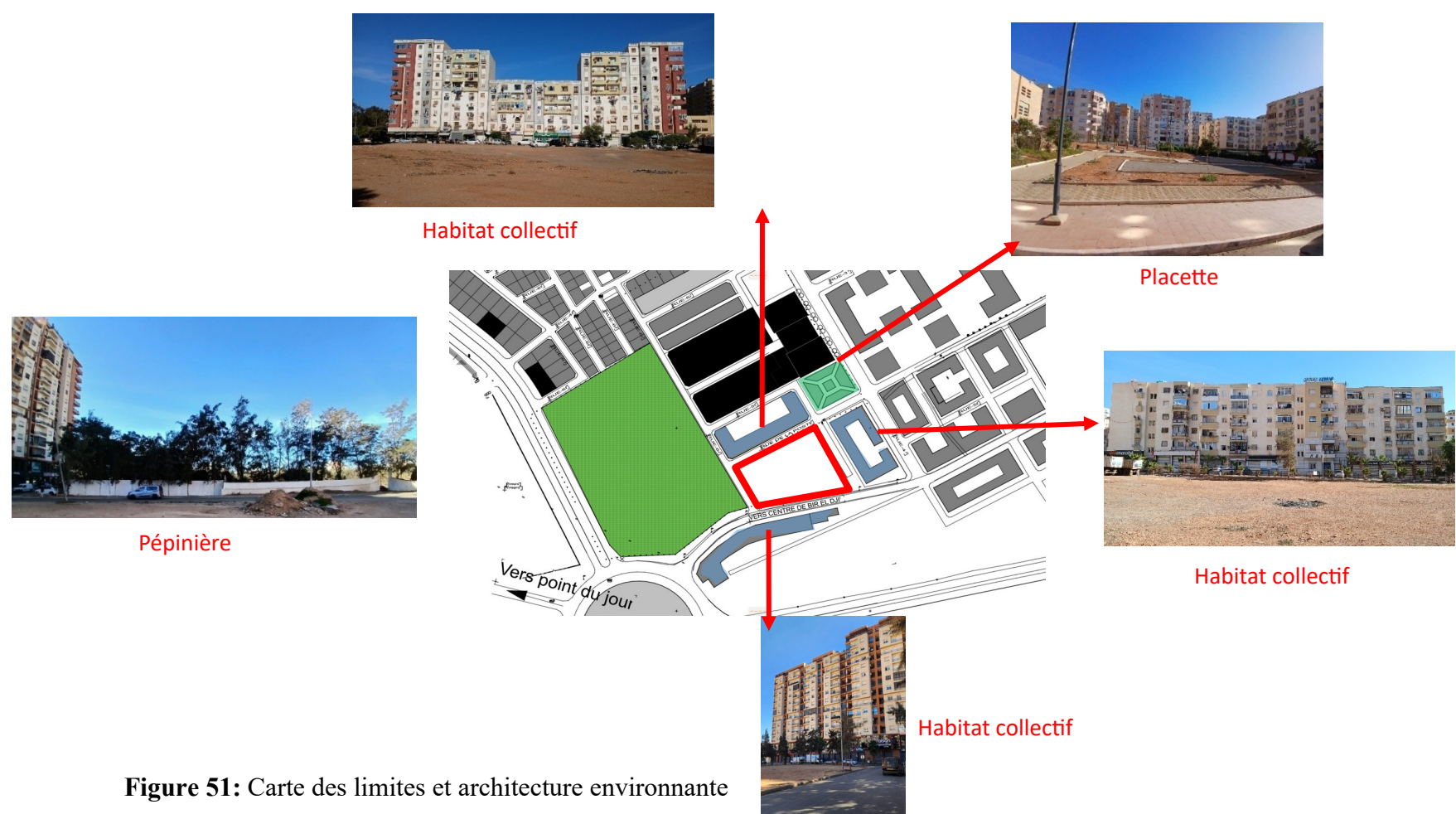


Figure 51: Carte des limites et architecture environnante

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs

5. Analyse morphologique et Topographie

Le terrain se caractérise par une forme régulière et une topographie plane.

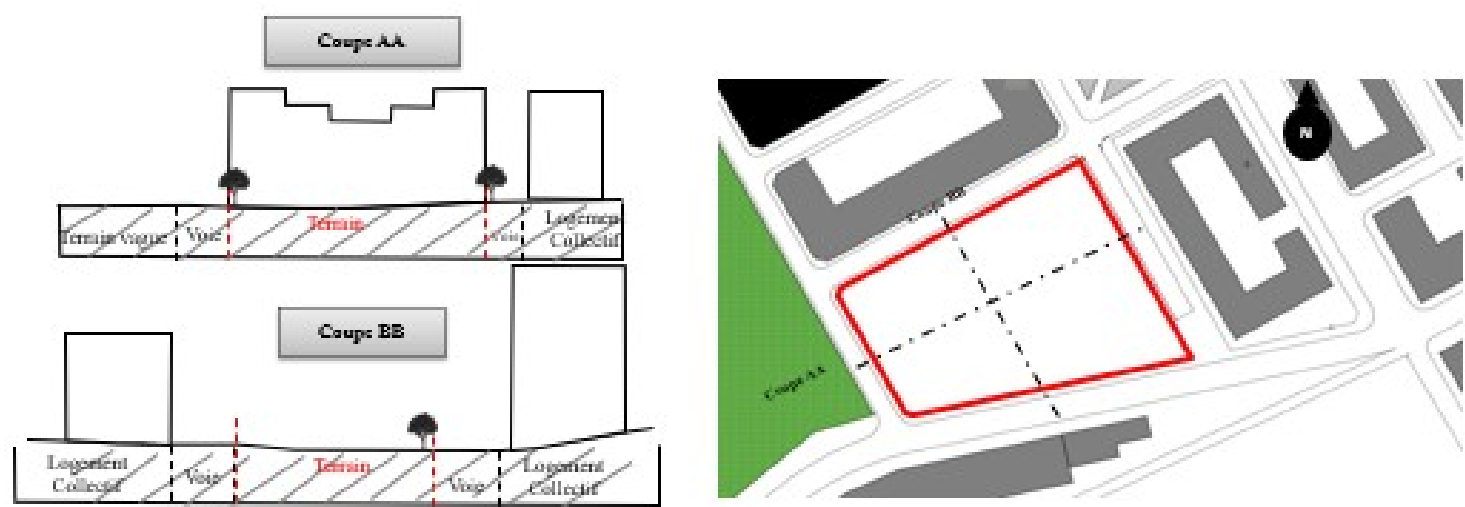


Figure 52: Les coupes topographiques du site

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs

6. Accessibilité et circulation

Le terrain bénéficie d’une accessibilité depuis ses trois côtés, avec une ouverture sur une voie principale à fort flux de circulation ainsi que sur deux voies secondaires assurant une desserte complémentaire du site.



Figure 53: Carte d'accessibilité et circulation

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs

7. Orientation

Le terrain profite d'une orientation optimale offrant un ensoleillement favorable tout au long de la journée, ce qui garantit de bonnes conditions de confort thermique et lumineux et favorise une meilleure qualité des espaces intérieurs et extérieurs.

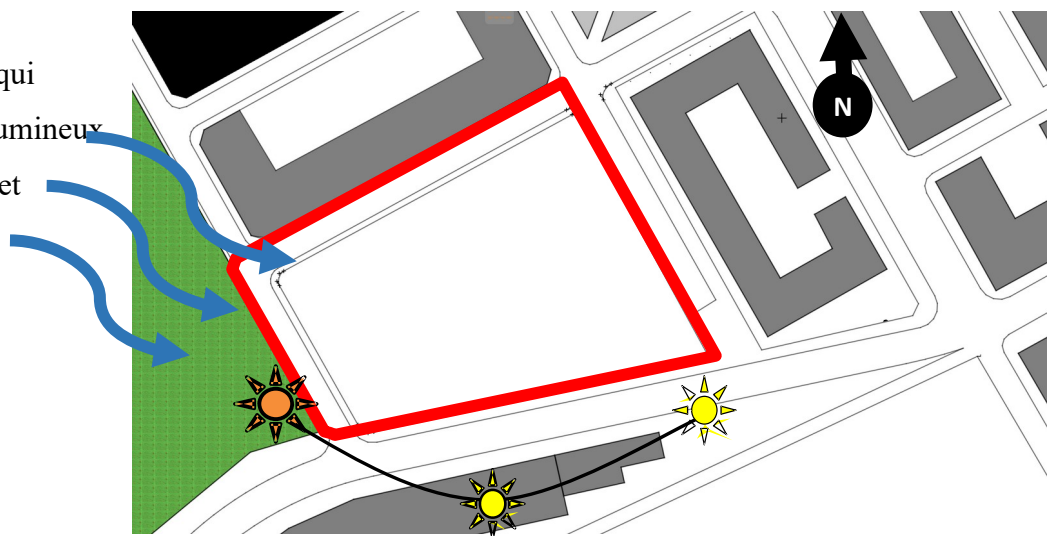


Figure 54: Carte de la source solaire et vents dominants

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs

8. Analyse de VRD

Le terrain dispose de l'ensemble des infrastructures et réseaux divers (VRD) nécessaires, notamment les réseaux d'alimentation en eau, d'électricité, d'assainissement, de télécommunication ainsi que les voies de desserte. Cette disponibilité assure une intégration fonctionnelle du projet et facilite sa mise en œuvre dans de bonnes conditions techniques et opérationnelles.

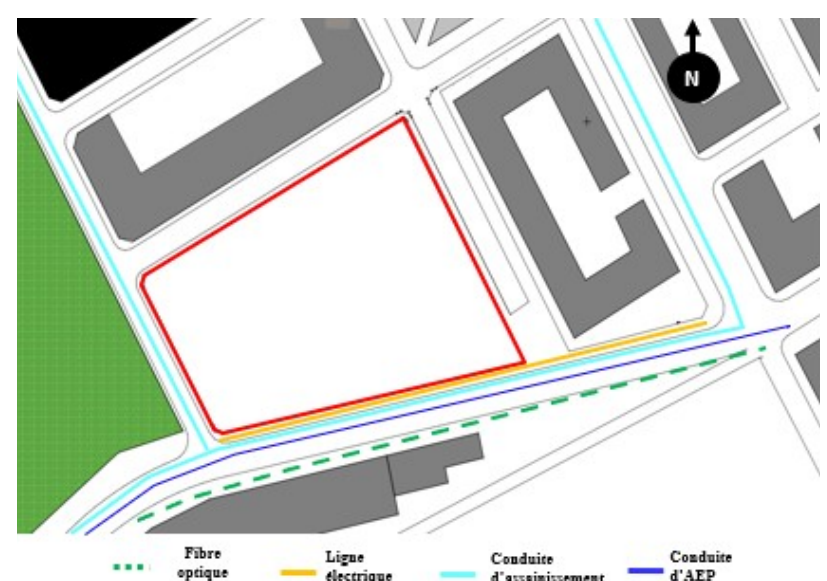


Figure 55: Analyse des réseaux divers

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs

9. Analyse de perception visuelle

Sur le plan de la perception visuelle, le site bénéficie d'une excellente visibilité grâce à sa situation stratégique à l'entrée du quartier. Son ouverture sur les différentes voies environnantes lui confère une forte présence urbaine et facilite l'identification du projet, tout en assurant une mise en valeur optimale de son image architecturale.



Figure 56: La carte de la perception visuelle

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs

10. Analyse des nuisances sonores

La présence de la voie principale à fort flux de circulation génère d’importantes nuisances sonores au niveau du site, tandis que les zones situées à proximité des habitats collectifs sont marquées par des nuisances sonores moyennes.

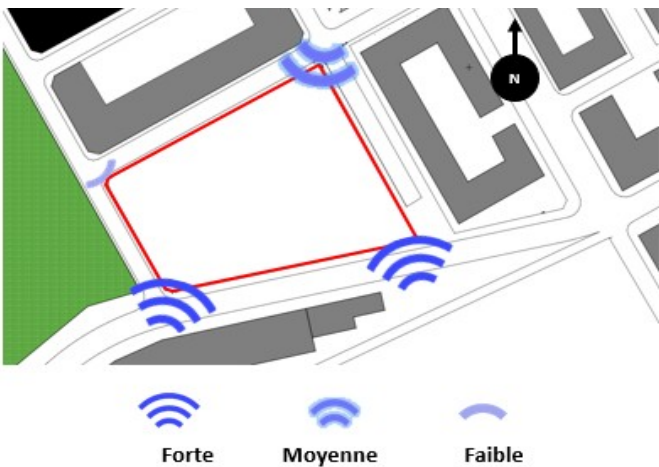


Figure 57: Carte des nuisances sonores

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs

8. La genèse du projet

1.1. Schéma de principe

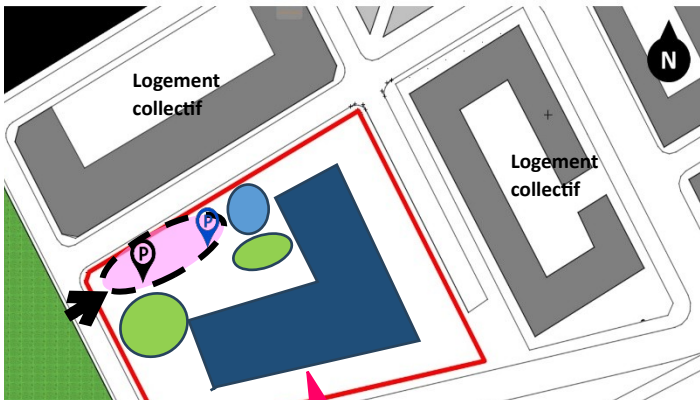
Suite à l’étude établit, nous avons élaboré les grandes lignes de notre projet par un schéma de principe, tout d’abord pour assurer la continuité urbaine, nous intégrons le bâti le long de toute la façade sud, en laissant un recul végétal de tous les côtés. Dans ce cas nous traitons les angles est et ouest, en préservant la partie Nord pour créer un parking et les espaces extérieurs autour du bâti afin d’assurer la continuité avec l’environnement et avoir une bonne connectivité entre l’intérieur et l’extérieur, pour avoir une circulation fluide on prévoit un accès piéton principal sur la façade sud et permettant la création d’une esplanade d’entrée tandis que l’accès mécanique au ouest afin d’avoir accessibilité directe au parking public.

Figure 58 : Schéma de principe

1.2. Zoning

Le zoning du projet repose sur une organisation fonctionnelle claire et hiérarchisée, permettant une répartition optimale des différentes entités selon leurs usages et leurs niveaux d’accessibilité. L’accès principal a été implanté au niveau de la voie la plus fréquentée afin d’assurer une meilleure visibilité et une fluidité des flux.

Les espaces bâtis s’organisent autour d’espaces extérieurs aménagés et de zones de transition favorisant la circulation et les interactions entre les différentes fonctions du projet. Les zones



de stationnement ont été positionnées à proximité des accès pour faciliter l'accueil des usagers, tandis que les espaces verts participent à l'amélioration du confort visuel et environnemental du site.

Cette organisation permet de créer une composition cohérente, lisible et fonctionnelle, tout en assurant une bonne relation entre les différentes composantes du projet et leur environnement urbain.

Figure 59 : Zoning de fonctionnement

Source : PDAU d'Oran, traité et adapté par les auteurs

1.3. Concept du projet

Le projet s'inscrit dans une volonté de créer un espace vivant et évolutif, répondant aux besoins sociaux, culturels et environnementaux du contexte urbain. Il repose sur une fusion entre architecture, nature et innovation, où le bâtiment devient un lieu d'échange, d'expérimentation et de rencontre. La forme architecturale s'inspire d'une dynamique et fluide traduisant le mouvement, la connexion et renforçant le lien entre l'intérieur et l'extérieur

1.4. L'évolution de la forme

L'évolution de notre forme passe par 06 phases essentielles :

1.4.1. Phase 01

On a adopté une forme qui suit les axes du terrain, en l'implantant et en la développant le long de tout le site

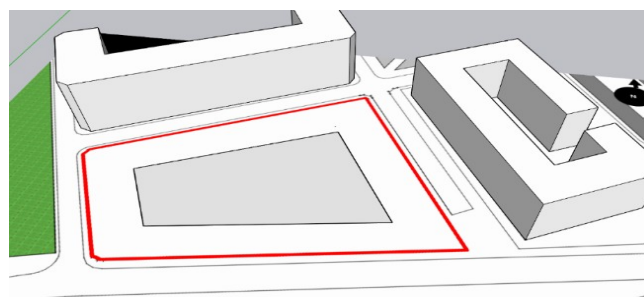


Figure 60: Phase 1

1.4.2. Phase 02

La forme initiale est conservée, puis une soustraction volumétrique est réalisée sur une partie afin de créer un parking extérieur et un espace de détente, tout en réduisant la masse du bâtiment.

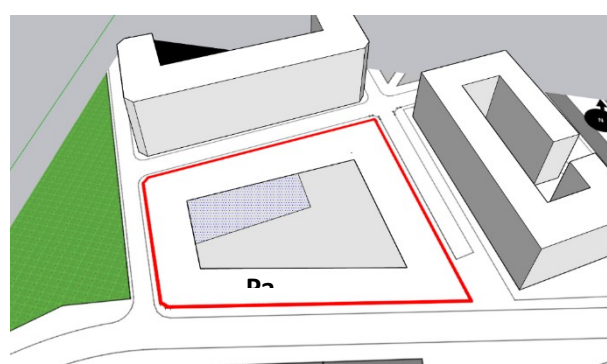


Figure 61: Phase 2

1.4.3. Phase 03

Ensuite on a généré un patio central, conçu comme un espace social et un lieu de rencontre

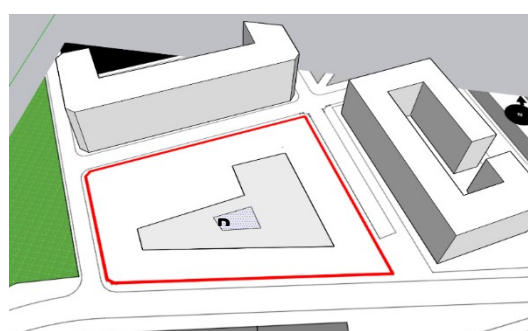


Figure 62: Phase 3

1.4.4. Phase 04

Ce cœur de projet organise la répartition de trois fonctions principales : **Exposition, ateliers créatifs et projection.**

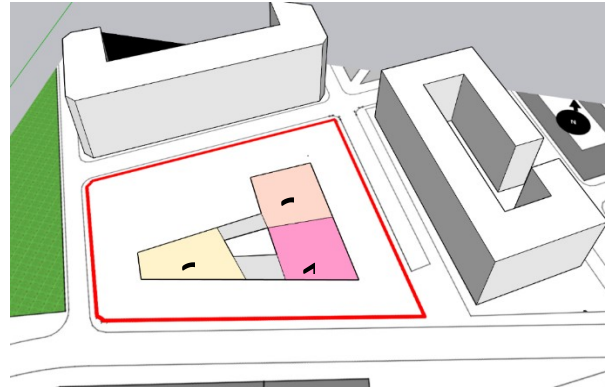


Figure 63: Phase 4

1.4.5. Phase 05

Cette organisation génère trois volumes distincts de hauteurs équivalentes, dont les soustractions volumétriques ont permis de créer des espaces de détente extérieurs, contribuant à l'amélioration du confort des usagers tout en mettant en valeur la composition architecturale et les différentes fonctions du centre.

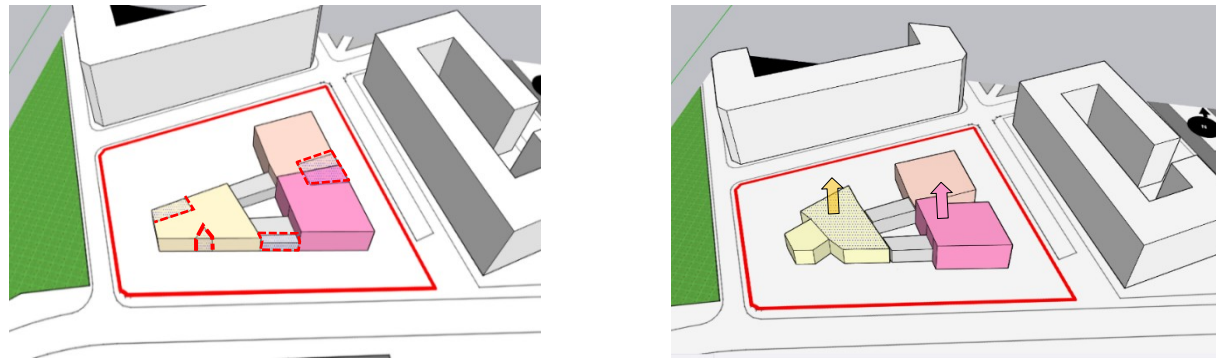


Figure 64: Phase 5

1.4.6. Phase 06

Enfin, on a fait des soustractions au sein des volumes (patios) permet d'alléger d'avantage la masse bâtie et d'adopter une structure plus fluide, aérée et cohérente à l'ensemble.

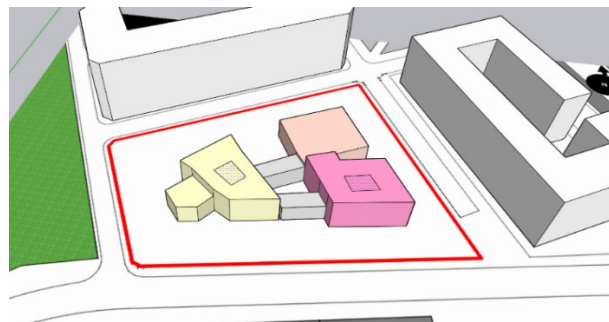


Figure 65: Phase 6

1.5. La forme finale et la répartition fonctionnelle

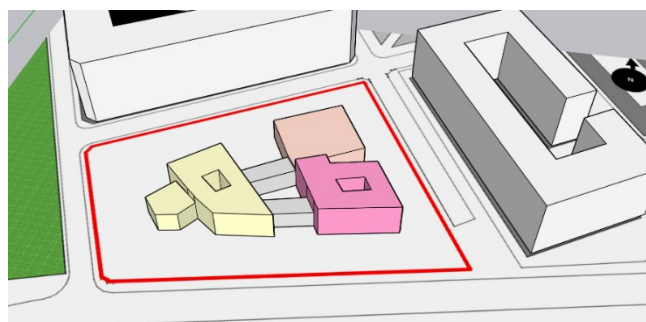


Figure 66: Forme finale de la genèse du projet

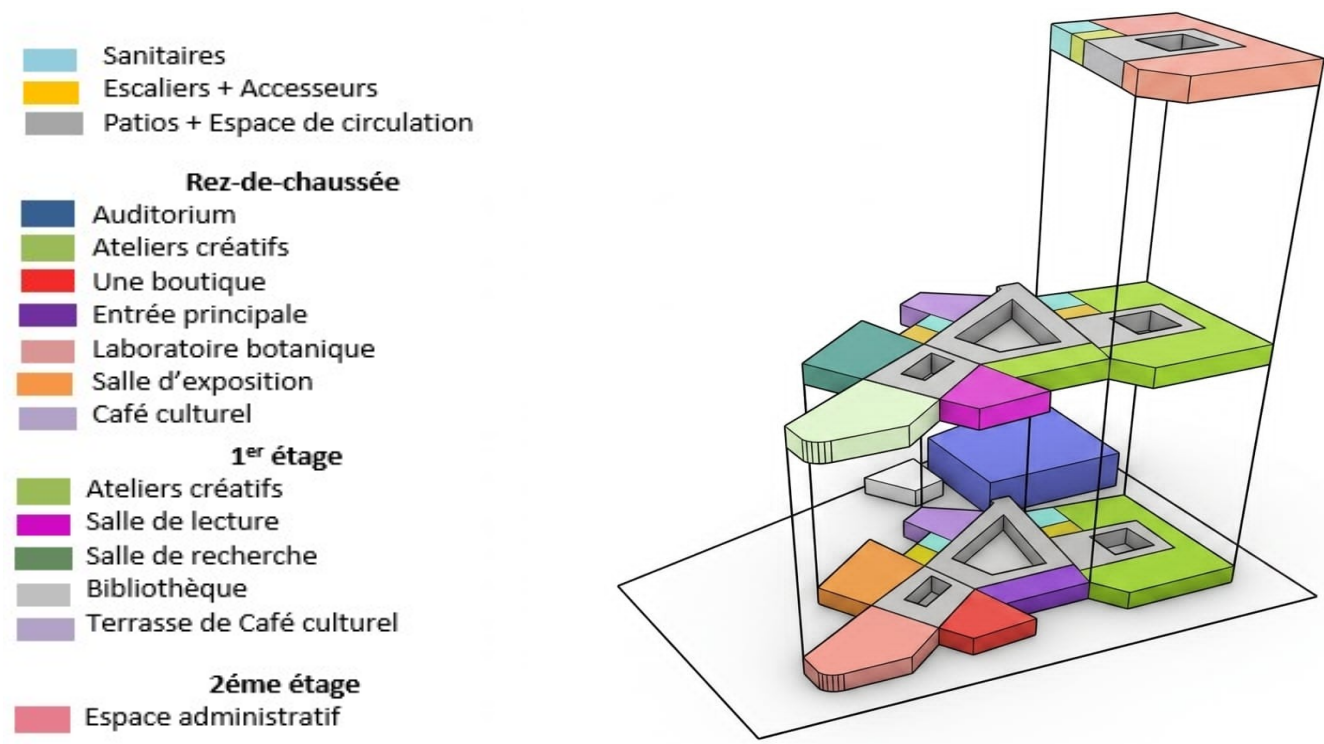


Figure 67: La répartition des fonctions

2. Conclusion

Dans ce chapitre, la programmation architecturale a permis de préciser de manière claire les besoins du projet, en définissant les différentes fonctions, leurs surfaces ainsi que leur organisation au sein du site.

Les espaces ont été hiérarchisés selon leur degré d’accessibilité, afin d’assurer une bonne répartition entre les zones publiques, semi-publiques et privées, tout en garantissant une utilisation fluide et logique.

L’étape d’idéation a ensuite transformé ces données en premières intentions de conception. Elle a permis de tester différentes organisations spatiales et de mettre en place des liens cohérents entre les fonctions, en tenant compte des parcours, des usages et du confort des usagers.

Ainsi, ce chapitre fait le lien entre l’analyse et le projet, en posant les bases concrètes de la conception architecturale à venir.

Chapitre V : Réponse Architecturale

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à la réponse architecturale du projet, qui représente la traduction concrète des réflexions conceptuelles et analytiques développées précédemment. Il met en avant les choix architecturaux adoptés afin de répondre aux besoins fonctionnels, urbains et environnementaux du projet. A travers l'organisation spatiale, le traitement des façades, les principes structurels ainsi que les ambiances créées.

1. Volumétrie et forme

Le Centre des Cultures Vivantes adopte une forme architecturale fluide, composée de trois volumes principaux des mêmes hauteurs marquant les principales fonctions, créant un jeu dynamique de masses et de proportions. Ces volumes s'organisent autour de patios centraux évidés, véritables cœurs du projet, favorisant la lumière naturelle, la ventilation et les échanges visuels entre les espaces. Le patio principal, situé au centre de la composition, est traité comme un jardin intérieur végétalisé, apportant une continuité entre architecture et nature. Cette organisation spatiale permet de renforcer l'expérience des usagers en créant des parcours ouverts, apaisants et immersifs, où la culture s'exprime dans un cadre vivant et connecté à l'environnement.

Voir la volumétrie dans le dossier graphique

➤ Sources d'inspirations



Figure 68 : la forme et les couleurs

Source : https://www.behance.net/gallery/226488685/Multaqa-cultural-center-project?tracking_source=search_projects|multaqa&l=0

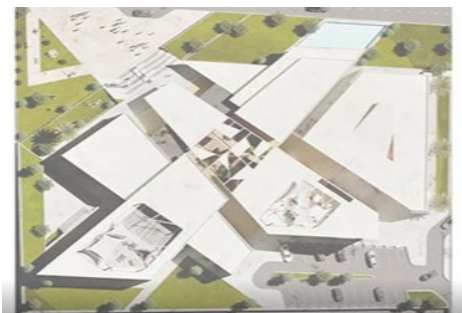


Figure 69 : Implantation du volume et les patios centraux

Source : https://www.behance.net/gallery/226488685/Multaqa-cultural-center-project?tracking_source=search_projects|multaqa&l=0

2. Plan de masse

Le plan de masse présente une implantation dynamique et ouverte du projet, favorisant une relation harmonieuse entre les espaces culturels, les zones de rencontre et les espaces extérieurs. Le projet s'organise autour de volumes fluides suivant les axes du terrain, avec trois volumes plus élevés marquant les fonctions principales du centre des cultures vivantes.

Au cœur du projet, une place centrale structure les circulations et crée un espace de rencontre prolongé par une toiture végétalisée assurant la continuité avec l'espace public et l'intégration paysagère.

L'accessibilité est assurée par une voie principale, une entrée principale mise en valeur au sud ainsi que deux accès secondaires facilitant les flux. Un parking de 27 places est aménagé à proximité, avec des dispositifs adaptés aux personnes à mobilité réduite.

Les espaces extérieurs prolongent les espaces intérieurs et favorisent les échanges, la détente et les activités culturelles en plein air. La partie ouest accueille les espaces d'expérimentation liés au laboratoire botanique et aux activités de recherche.

Des pavés piézoélectriques sont intégrés devant les différents accès du site ainsi que le long de certains cheminements piétons afin de produire de l'énergie grâce aux déplacements des usagers tout en renforçant l'approche durable et innovante du projet.

Voir le plan de masse dans le dossier graphique

3. Plan RDC

Le rez-de-chaussée constitue le niveau le plus accessible et le plus animé du projet. Il regroupe les principales fonctions d'accueil, d'exposition, de création et de rencontre afin de favoriser les échanges entre visiteurs, artistes et usagers.

À l'entrée, un hall d'accueil équipé d'un comptoir interactif et d'un mur digital assure l'orientation des visiteurs et constitue l'espace principal de distribution du projet.

À l'est se développe le pôle des ateliers créatifs et pédagogiques comprenant l'atelier de peinture, de bio-matériaux, de musique, de poterie et l'atelier culinaire, accompagnés d'espaces de production et de stockage. Leur organisation ouverte autour d'un patio favorise les continuités visuelles, fonctionnelles ainsi que l'éclairage naturel.

Au centre du projet, le patio principal joue le rôle d'espace de respiration et de rencontre, apportant lumière naturelle et ventilation tout en reliant les différents pôles du bâtiment.

Au sud-ouest se situent les principaux espaces culturels tels que la salle d'exposition, la boutique et le laboratoire botanique relié aux espaces extérieurs d'expérimentation. Un mur végétal intégré renforce l'identité écologique et immersive du projet.

Au nord, le pôle événementiel regroupe l'auditorium avec la scène, les coulisses, les loges et les espaces techniques associés. Pensé comme un espace dynamique, il accueille spectacles, conférences et projections il fonctionne aussi bien le jour que la nuit, il devient un véritable point lumineux du projet, symbolisant l'activité culturelle continue du Centre des Cultures Vivantes.

La cafétéria, située près du patio central, constitue un espace convivial de rencontre et de détente ouvert sur les espaces extérieurs et prolongé par une terrasse accessible à l'étage.

Enfin, les espaces techniques, de stockage pour les mobiliers urbains ainsi que les matériaux et équipements liés aux installations des pavés piézoélectriques, et de maintenance sont implantés au nord-ouest afin d'assurer le bon fonctionnement du bâtiment tout en séparant les flux techniques des espaces publics.

Voir le plan du Rez-de-chaussée dans le dossier graphique

4. Plan 1^{er} étage

Le premier étage du Centre des Cultures Vivantes prolonge les activités culturelles et pédagogiques du rez-de-chaussée à travers des espaces plus calmes dédiés à l'apprentissage, à la création et à la réflexion. Son organisation s'articule autour du patio central qui apporte lumière naturelle, ventilation et continuité visuelle entre les différents niveaux.

À l'ouest se trouvent la bibliothèque et la salle de lecture, offrant un cadre calme et confortable favorisant la recherche, la concentration et le bien-être des usagers grâce à leur relation avec les espaces végétalisés.

Au centre, les circulations ouvertes et les espaces de transition créent des lieux de rencontre et d'échange. Une terrasse accessible prolonge également la cafétéria du rez-de-chaussée et offre un espace extérieur convivial avec des vues sur les espaces paysagers.

À l'est se développe le pôle des ateliers spécialisés comprenant l'atelier de photographie, l'atelier multimédia ainsi que des espaces de création et de formation favorisant les pratiques artistiques contemporaines. Une salle polyvalente complète ce niveau accueille ateliers, conférences et différentes activités collectives.

Voir le plan du 1^{er} étage dans le dossier graphique

5. Plan du 2^{ème} étage

Le deuxième étage accueille principalement le pôle administratif et les espaces de gestion du Centre des Cultures Vivantes. Son implantation plus calme permet d'assurer un fonctionnement administratif efficace tout en maintenant une connexion visuelle avec les espaces centraux du projet.

À l'est du niveau se trouvent les bureaux administratifs regroupant le secrétariat, le bureau de direction, les bureaux du personnel ainsi que les espaces de réunion et de gestion. L'organisation de ces espaces favorise le travail collaboratif et assure une bonne fluidité entre les différentes fonctions administratives.

Au centre, un espace d'accueil administratif et un patio végétalisé apportent lumière naturelle et confort aux espaces de travail. Ce vide central permet également de maintenir une continuité spatiale et visuelle avec les niveaux inférieurs tout en créant une ambiance plus apaisée et intime.

Les espaces extérieurs aménagés autour du patio prolongent les circulations et offrent des zones de pause végétalisées destinées au personnel et aux visiteurs. La terrasse du deuxième étage constitue un véritable espace de détente et de lecture en plein air. Elle intègre des mini-bibliothèques ainsi que des espaces de lecture confortables permettant aux usagers de profiter d'un cadre calme et agréable. Pensée comme un espace vivant même durant la nuit, la terrasse bénéficie d'un éclairage LED intégré mettant en valeur les parcours, les assises et les éléments paysagers tout en créant une ambiance chaleureuse et immersive.

Enfin, ce niveau marque une transition plus calme dans l'organisation verticale du bâtiment, tout en restant connecté aux espaces culturels et publics situés aux niveaux inférieurs grâce aux circulations ouvertes.

Voir le plan du 2ème étage dans le dossier graphique

II. Recherche stylistique

Afin d'assurer une bonne intégration et une homogénéité de la façade avec son environnement, nous avons opté le style modernisme géométrique et d'architecture biophilique, avec une attention particulière portée aux contrastes de textures et de lumière. Des formes angulaires et des volumes imbriqués qui rappellent le mouvement moderne contemporain. L'éclairage doit agir comme un révélateur de ces volumes en jouant sur les contrastes entre les surfaces lisses beiges et les panneaux texturés gris.

1. Sources d'inspirations des façades



Figure 70: Rendu architectural 3D d'un centre de sport

Source : Rendu architectural 3D, URL : <https://fr.pinterest.com/pin/469218854951097237/>



Figure 71 : Les éléments métalliques en façade

Source : <https://www.protenders.com/companies/ajman-municipality-planning-department/projects/ajman-centre-material-laboratory>

2. Analyse des façades

Les façades adoptent une composition équilibrée entre les surfaces vitrées et les parties pleines, permettant à la fois une bonne ouverture visuelle et un contrôle de l'ensoleillement, surtout que la façade principale est orientée vers le sud. Cette alternance apporte un rythme à la façade et renforce son aspect architectural.

Les volumes pleins, réalisés avec des matériaux solides et massifs, marquent les différentes transitions fonctionnelles du projet et donnent plus de caractère à l'ensemble.

L'entrée principale est clairement mise en valeur grâce à des éléments architecturaux qui attirent l'attention et facilitent la lecture du bâtiment. Placée au centre de la façade, elle constitue le point principal d'accès et d'organisation de la composition.

L'aspect biophilique du projet apparaît également à travers l'intégration de la végétation au niveau de la toiture centrale, apportant une touche naturelle et créant une relation harmonieuse entre l'architecture et son environnement.

La structure diagonale métallique crée une composition dynamique symbolisant le mouvement, l'échange et la diversité culturelle.

Son traitement ajouré apporte également de la légèreté à la façade tout en jouant un rôle climatique grâce au filtrage de la lumière solaire et à l'amélioration du confort intérieur. Elle renforce ainsi l'image contemporaine, interactive et innovante du Centre des Cultures Vivantes.

Enfin, des panneaux intégrés accompagnés d'un éclairage architectural participent à la valorisation esthétique de la façade, notamment durant la nuit, tout en renforçant l'identité visuelle du projet.

Voir les façades dans le dossier graphique

3. Choix des matériaux et des couleurs

Le choix des matériaux du Centre des Cultures Vivantes repose sur une approche à la fois fonctionnelle, esthétique et sensorielle, en relation avec la thématique de l’éclairage intelligent et de la perception de l’espace nocturne. Les matériaux ont été sélectionnés selon leur capacité à dialoguer avec la lumière, à valoriser les formes architecturales du projet et à créer des ambiances variées adaptées aux différentes fonctions du centre.

Le béton architectural en beige clair a été utilisé pour la structure, les volumes principaux, l’auditorium et les murs principaux pour donner un aspect contemporain, il est durable et sobre et afin de souligner les lignes fluides du projet et de créer des jeux d’ombre et de lumière mettant en valeur l’architecture aussi bien de jour que de nuit.

Le bois clair naturel vient adoucir cette écriture contemporaine à travers les espaces de détente, les patios, les terrasses et les espaces de lecture, et même cafétéria apportant une ambiance chaleureuse et conviviale, et équilibrer le coté moderne du béton.

Le verre occupe également une place importante dans le projet afin de renforcer la transparence, la lumière naturelle, la relation entre intérieur et extérieur ainsi que la perception d’un bâtiment vivant et lumineux durant la nuit, intégrés dans les façades, les espaces d’exposition, hall et les patios.

L’intégration du verre sérigraphié dans les zones fortement exposées au soleil comme la bibliothèque, permet d’assurer un contrôle solaire passif tout en apportant une dimension esthétique à la façade.

Des éléments métalliques perforés en gris foncé intégrés aux façades permettent de filtrer la lumière naturelle durant la journée et de transformer certaines parties du bâtiment en surfaces lumineuses animées pendant la nuit grâce à un éclairage LED intelligent.

L’intégration de la végétation à travers les patios, murs végétaux et toitures végétalisées participe à l’identité écologique et sensorielle du projet tout en renforçant son insertion paysagère.

4. Les ambiances intérieures

4.1. Hall d’accueil :

Le hall d’accueil a été conçu comme un espace immersif et dynamique, assurant à la fois l’orientation, l’information et la première expérience sensorielle du visiteur au sein du centre culturel. L’aménagement intérieur repose sur une ambiance contemporaine et interactive, marquée par l’intégration d’un mur numérique interactif diffusant des informations sur les différentes activités, espaces et événements du centre.

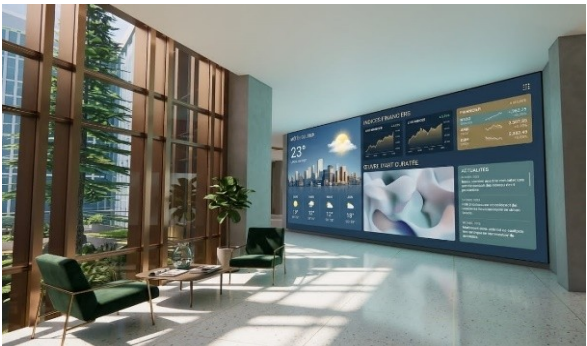


Figure 72: Vue intérieure sur le hall d'accueil

4.2. Café culturel :

Le café culturel a été conçu comme un espace chaleureux et convivial favorisant la détente, la lecture et les échanges. Son ambiance intérieure repose sur des couleurs douces et naturelles, associant des tons clairs à des touches de vert rappelant la végétation. Les matériaux en bois apportent chaleur et confort, tandis que les éléments noirs du mobilier renforcent le caractère moderne de l’espace. De grandes ouvertures vitrées assurent un important apport de lumière naturelle et créent une continuité visuelle avec les espaces extérieurs végétalisés. En complément, un éclairage LED intégré garantit une atmosphère lumineuse, calme et confortable adaptée aux différentes activités culturelles.



Figure 73 : Vue intérieure sur le café culturel

4.3. Patio central :

Le patio central constitue un espace de détente et de respiration au cœur du projet, marqué par une forte présence végétale créant une ambiance naturelle et apaisante. Les plantations et les espaces



verts renforcent le caractère biophilique du lieu tout en apportant fraîcheur et confort. Les matériaux sobres, comme le bois clair et les surfaces minérales aux tons neutres, s’harmonisent avec la végétation pour créer une atmosphère équilibrée et élégante. Grâce à la verrière et aux grandes ouvertures, la lumière naturelle valorise les textures et les espaces de repos, tandis qu’un éclairage nocturne discret intégré au sol et aux jardinières met en valeur les circulations et les éléments paysagers dans une ambiance calme et reposante.

Figure 74 : Vue intérieure sur le patio central

Source : Auteur

➤ Sources d’inspirations



Figure 75: Patio central aménagé comme un espace de détente et de lecture

Source : <https://www.architectural-review.com/buildings/square-the-circle-green-square-library-in-sydney-australia-by-stewart-hollenstein-in-association-with-stewart-architecture>

4.4. Laboratoire botanique

Le laboratoire botanique est conçu dans une ambiance sobre et apaisante, favorisant la concentration et le travail scientifique. Le choix des couleurs claires, dominé par des tons blancs, beiges et verts très doux, crée une atmosphère neutre et sereine, propice à l’observation et à l’expérimentation.

L’éclairage est pensé de manière fonctionnelle et intégrée, avec des sources lumineuses directement incorporées dans les plans de travail et les équipements techniques. Cette lumière homogène limite les ombres et assure une précision optimale lors des manipulations. L’ensemble contribue à un espace à la fois performant, confortable et en lien avec l’univers végétal étudié.



Figure 76: Vue intérieure sur le laboratoire botanique

4.5. Eclairage LED et valorisation de la végétation extérieure

L’aménagement extérieur montre une ambiance nocturne élégante et immersive grâce à une intégration harmonieuse de l’éclairage LED dans le paysage, il contribue à une approche durable grâce à leur faible consommation énergétique et leur longue durée de vie. Les luminaires encastrés au sol et au niveau des assises créent un parcours lumineux qui guide les usagers tout en renforçant la sécurité. Et l’éclairage dirigé vers les arbres permet de mettre en valeur la végétation, créant ainsi une atmosphère dynamique pendant la nuit.

La végétation du projet s’appuie sur une palette adaptée au climat méditerranéen, composée d’arbres d’ombrage comme l’olivier, le palmier et le ficus, associés à des arbres floraux tels que le jacaranda et le grenadier. et met en valeur les éléments existants du site, notamment les cyprès et les palmiers déjà présents sur le terrain. Le sol est enrichi par des plantes aromatiques et ornementales comme la lavande, le romarin et les graminées, créant une ambiance naturelle. Les toitures végétalisées accueillent des espèces peu exigeantes en eau telles que les sedums, les plantes succulentes et certaines graminées basses, contribuant à l’isolation thermique.



Figure 77 : Eclairage LED et valorisation de la végétation extérieure

Source : Auteur

4.6. Tri intelligent et mobilier intelligent

L'aménagement extérieur intègre un système de tri intelligent des déchets afin de renforcer l'approche écologique et durable du projet. Cet équipement moderne permet aux usagers de trier facilement les différents types de déchets grâce à une organisation claire et une interface numérique interactive.

Le mobilier urbain intelligent contribue à améliorer le confort et l'expérience des usagers grâce à des équipements interactifs et durables, combinant éclairage intelligent, espaces de repos et solutions technologiques favorisant un espace public moderne, fonctionnel et connecté.

**Figure 78 :** Aménagement extérieur intelligent et durable

Source : Auteur

4.7. Récupération des eaux pluviales pour l'arrosage

Les eaux pluviales sont récupérées grâce à des gouttières intégrées aux toitures, puis acheminées par un réseau de canalisations vers une citerne enterrée destinée au stockage de l'eau. Après filtration, une pompe assure la distribution de cette eau vers un système d'arrosage automatique alimentant les espaces verts, les patios végétalisés et les toitures végétales du Centre des Cultures Vivantes. Ce dispositif permet de réduire la consommation d'eau potable tout en renforçant l'approche durable et écologique du projet.

**Figure 79:** Gouttières intégrées aux toitures**4.8. L'utilisation des panneaux solaires**

Le projet intègre également des panneaux solaires implantés sur la toiture de l'auditorium. Leur disposition longitudinale permet de maximiser l'exposition au rayonnement solaire afin d'améliorer la performance énergétique du bâtiment et de réduire sa consommation énergétique conventionnelle. L'énergie produite est directement convertie en électricité grâce à un système photovoltaïque, puis injectée dans un circuit électrique dédié alimentant en priorité l'auditorium. Cette intégration des panneaux photovoltaïques s'inscrit dans une démarche architecturale durable et environnementale, en cohérence avec les principes de conception écologique adoptés dans le projet.

5. Conclusion

Ce chapitre de réponse architecturale a permis de finaliser la conception du projet à travers l'élaboration des plans, des façades et des ambiances, en précisant l'ensemble des choix architecturaux et techniques. L'organisation spatiale met en évidence une structuration claire des fonctions ainsi qu'une continuité fluide entre les différents espaces du projet. Une attention particulière a été portée aux ambiances, notamment à la gestion de la lumière naturelle et artificielle, qui joue un rôle essentiel dans la qualité des espaces. L'éclairage a été conçu comme un élément architectural à part entière, permettant de valoriser les parcours, de renforcer les repères et de créer des atmosphères adaptées à chaque usage.

Les façades traduisent cette intention globale à travers une écriture contemporaine et expressive, en cohérence avec le contexte urbain.

Les choix de matériaux et de couleurs participent à l'identité du projet, tout en répondant aux exigences de durabilité et de confort. Enfin, l'intégration de technologies et de détails techniques vient renforcer la dimension intelligente et performante du projet, notamment en matière de gestion énergétique et d'éclairage.

Ainsi, cette étape constitue l'aboutissement de la conception architecturale, en réunissant les aspects fonctionnels, esthétiques, lumineux et techniques dans une réponse globale et cohérente.

Chapitre VI : Approche technique

1. Introduction

Ce chapitre technique présente les différents choix constructifs et technologiques adoptés dans le projet architectural du Centre des Cultures Vivantes. Il met en évidence les solutions mises en œuvre afin d’assurer le bon fonctionnement du bâtiment, son confort spatial ainsi que sa performance environnementale et énergétique.

2. Système constructif

Le projet adopte une structure en béton armé de type poteaux-poutres. La trame structurale a été organisée selon les besoins fonctionnels des différents espaces afin d'assurer une bonne répartition des charges et une grande flexibilité d'aménagement.

L'auditorium constitue l'espace de plus grande portée du projet, avec une portée d'environ 15,50 m permettant de libérer l'espace intérieur de tout poteau intermédiaire et d'assurer une visibilité optimale. Cette portée est franchie par des poutres principales en béton armé de grande hauteur.
Retombée des poutres principales : 1,20 à 1,50 m

Largeur des poutres : 40 à 60 cm

Les poteaux en béton armé présentent des sections variantes entre 40 × 40 cm et 50 × 50 cm selon les charges et les portées à reprendre.

Selon les zones :

Espaces courants (bureaux, salles, circulation) : 35 × 35 cm à 45 × 45 cm

Zones plus chargées ou avec grandes portées : 40 × 40 cm à 40 × 60 cm

Des voiles en béton armé d'environ 20 à 25 cm d'épaisseur sont disposés au niveau des locaux techniques et des circulations verticales afin d'assurer le contreventement de la structure et la résistance aux efforts horizontaux.

Afin d'optimiser les performances structurelles et économiques du bâtiment, deux types de planchers ont été adoptés. Les espaces courants sont réalisés en dalles à corps creux, permettant de réduire le poids propre de la structure tout en limitant la consommation de béton. Les zones nécessitant une plus grande résistance ou des formes particulières sont réalisées en dalles pleines en béton armé, offrant une meilleure rigidité et une meilleure reprise des charges.

La toiture est dimensionnée pour supporter les charges permanentes et l'installation de panneaux photovoltaïques. La structure est renforcée au niveau des zones recevant les équipements techniques et énergétiques.

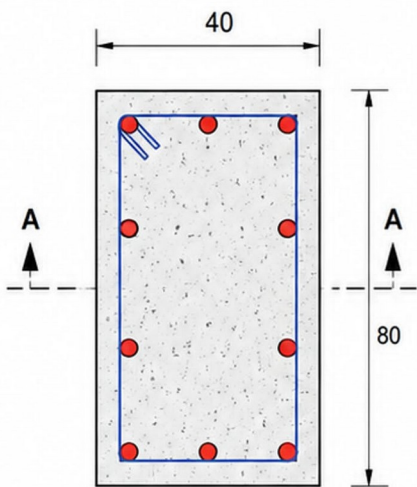
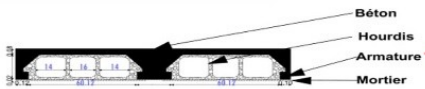
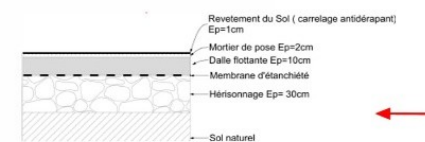


Figure 80: Détails poteau auditorium



Détails hourdis



Détails dalle

hourdis, Dalle

stade du projet, en

3. Type de fondation

Le choix du système de fondations n’a pas été arrêté de manière définitive à ce stade du projet, en raison de l’absence d’études géotechniques approfondies sur la nature exacte du sol. Ainsi, le type de fondations sera déterminé lors des phases ultérieures du projet, après réalisation des investigations de sol nécessaires. Cette étape permettra de définir la solution la plus adaptée en fonction des caractéristiques portantes du terrain ainsi que des contraintes structurelles du bâtiment.

4. Alimentation en eau potable

Le réseau d'Alimentation en Eau Potable (A.E.P) du Centre des Cultures Vivantes fonctionne grâce à une distribution organisée depuis une source principale vers des réservoirs de stockage, puis acheminée par des conduites verticales et horizontales afin d'alimenter efficacement les sanitaires, la restauration, les ateliers et les locaux techniques à chaque niveau. Le système est conçu pour limiter les pertes, assurer une pression stable et faciliter la maintenance grâce à une répartition claire des réseaux.

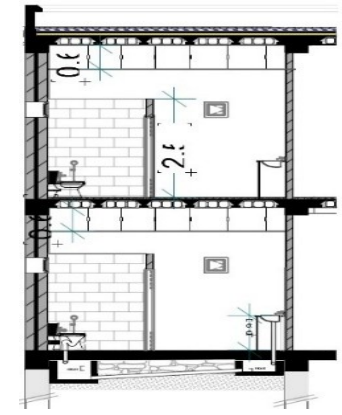


Figure 82 : Coupe technique des blocs sanitaires

Source : Auteur

5. Plan de climatisation

Le Centre des Cultures Vivantes est équipé d'un système de climatisation basé sur des centrales de traitement d'air (CTA) couplées à une ventilation mécanique contrôlée double flux. La CTA assure le traitement de l'air (filtration, chauffage et refroidissement) ainsi que sa distribution dans les différents espaces du bâtiment, tandis que la ventilation double flux garantit un renouvellement constant de l'air avec apport d'air neuf filtré et récupération d'énergie. Ce système permet d'assurer un confort thermique homogène, une bonne qualité de l'air intérieur et une performance énergétique adaptée aux différents usages du projet.

L'auditorium est traité comme un espace spécifique en raison de sa forte occupation et de ses exigences acoustiques et thermiques. Il est climatisé par une centrale de traitement d'air (CTA) associée à une ventilation mécanique contrôlée double flux.

Voir le plan de climatisation dans le dossier graphique

6. Plan d'électricité

Le système électrique du Centre des Cultures Vivantes est alimenté par le réseau public à travers un tableau général basse tension (TGBT) assurant la protection, la gestion et la distribution de l'électricité dans l'ensemble du bâtiment. Il intègre des équipements de sécurité ainsi qu'un système de gestion technique centralisée (GTC) permettant d'optimiser la consommation énergétique, notamment pour l'éclairage et les équipements techniques.

L'électricité est ensuite répartie vers différents tableaux divisionnaires selon les zones fonctionnelles du projet, facilitant ainsi la gestion, la maintenance et la sécurité des installations. Le réseau de câblage est intégré discrètement dans les faux-plafonds, gaines techniques et planchers techniques afin de préserver la qualité architecturale des espaces.

Une attention particulière a été portée au système d'éclairage intelligent, permettant de créer différentes ambiances lumineuses adaptées aux activités culturelles tout en optimisant le confort visuel et la performance énergétique du bâtiment.

Voir le plan d'électricité dans le dossier graphique

7. Plan de toiture

Le plan de toiture du projet présente une composition dynamique et fragmentée, en cohérence avec l'écriture architecturale contemporaine adoptée pour le centre culturel. L'ensemble des toitures est organisé autour d'un volume central paysager, tandis que les différents blocs bâtis sont couverts par des toitures indépendantes, permettant une meilleure gestion des eaux pluviales ainsi qu'une lecture volumétrique plus fluide du projet.

La toiture centrale adopte une forme polygonale irrégulière qui suit la géométrie générale du projet. Elle est composée de plusieurs pans inclinés orientés selon différentes directions, créant un jeu de lignes et de pentes qui dynamise l'aspect architectural de l'ensemble. Les flèches indiquées sur le plan montrent le sens d'écoulement des eaux pluviales des points hauts (PH) vers les points bas (PB) répartis sur les pans de toiture permettent de canaliser les eaux vers les descentes pluviales prévues au niveau des extrémités et des zones de raccordement.

Les différences de niveaux visibles sur le plan (+8.00, +10.00, +12.00, etc.) traduisent une hiérarchisation des espaces intérieurs ainsi qu'une variation volumétrique qui enrichit la composition générale.

L'ensemble du système de toiture a ainsi été conçu dans une logique fonctionnelle, esthétique et environnementale, assurant à la fois la protection climatique du bâtiment, l'optimisation de l'écoulement des eaux pluviales et le renforcement de l'identité architecturale du centre culturel.

Voir le plan de toiture dans le dossier graphique

8. Protection Anti incendie

Le projet intègre un système de sécurité incendie reposant sur deux principes essentiels : la détection et l'évacuation. Afin d'assurer une détection rapide de tout départ de feu, plusieurs dispositifs ont été mis en place, notamment des détecteurs de fumée, des alarmes sonores, des sprinklers automatiques, des extincteurs ainsi que des RIA alimentés par une réserve d'eau dédiée. Des bouches d'incendie extérieures viennent également compléter ce système de protection.

Concernant l'évacuation, le projet prévoit des issues de secours et des escaliers de sécurité clairement signalés afin de garantir une évacuation rapide et sécurisée des usagers en cas d'urgence. L'ensemble de ces dispositifs permet d'assurer la sécurité des occupants tout en répondant aux normes de sécurité incendie en vigueur.

Voir le plan de protection anti incendie dans le dossier graphique

9. Techniques d'éclairage utilisées dans le projet

➤ LED encastré dans des profilés en aluminium

La façade du projet intègre un système d'éclairage architectural linéaire à LED encastré dans des profilés en aluminium intégrés aux joints et aux décrochés des panneaux de façade. Cette technique permet de souligner les lignes géométriques et les volumes fragmentés du bâtiment tout en renforçant son identité architecturale contemporaine.

Les bandes LED sont discrètement intégrées dans les rainures de la façade grâce à des profilés techniques assurant à la fois la fixation, la protection et la diffusion homogène de la lumière. L'éclairage met en valeur les formes polygonales et crée un jeu de lumière dynamique accentuant la profondeur et le relief des façades durant la nuit.

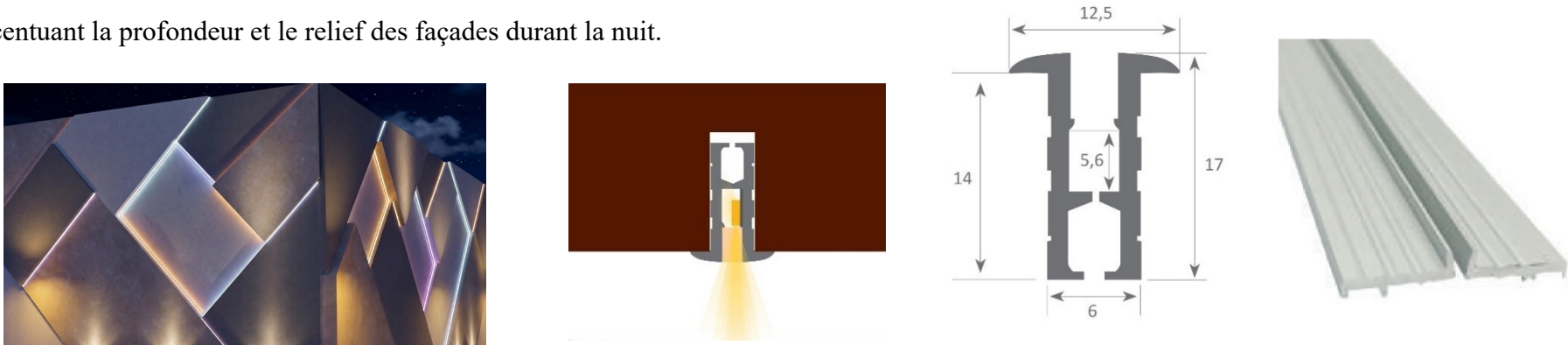


Figure 83: LED encastré dans des profilés en Aluminium

➤ Lampadaire solaire intelligent

Le lampadaire solaire intelligent fonctionne de manière autonome grâce à un panneau photovoltaïque qui capte l'énergie solaire durant la journée. L'électricité produite est contrôlée par un régulateur de charge puis stockée dans une batterie protégée à l'intérieur d'une boîte métallique ventilée. La nuit, cette énergie alimente automatiquement l'éclairage LED du lampadaire. Ce système permet de réduire la consommation énergétique tout en assurant un éclairage extérieur écologique et durable.

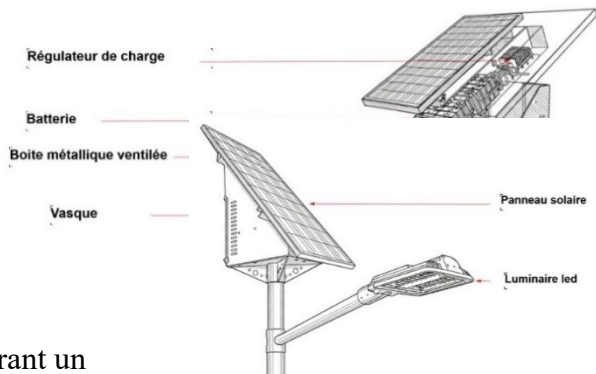


Figure 84: Lampadaire solaire intelligent

➤ Les spots LED encastrés au sol



Les spots LED encastrés au sol assurent un éclairage extérieur discret et esthétique. Ils permettent de mettre en valeur les cheminements, les espaces paysagers et certains éléments architecturaux tout en garantissant sécurité et confort nocturne. Leur faible consommation énergétique, leur résistance aux intempéries et leur intégration harmonieuse dans le sol en font une solution d'éclairage durable et moderne.

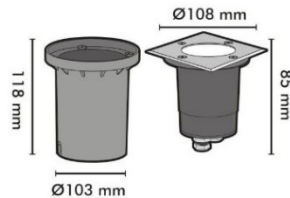


Figure 85: Les spots LED encastrés au sol

➤ Bornes solaires urbaines

Le projet intègre des bancs solaires intelligents constituant un mobilier urbain multifonctionnel permettant à la fois le repos des usagers, la recharge des appareils électroniques et l’alimentation autonome grâce à l’énergie photovoltaïque.

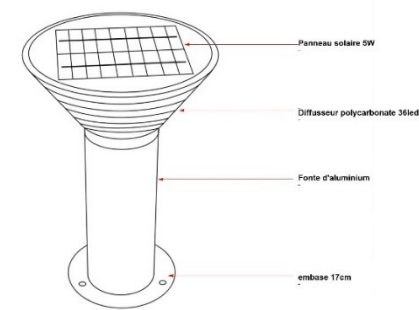


Figure 86: Borne solaire urbaine

Source : Auteurs

➤ L’intégration du pavé piézoélectrique devant les accès

L’aménagement extérieur met en valeur l’intégration des pavés piézoélectriques placés au niveau des accès principaux et secondaires. Grâce à l’énergie produite par les pas des usagers, chaque zone de pavés contribue à alimenter l’éclairage de la partie correspondante du projet, créant ainsi une interaction directe entre le mouvement des visiteurs et la mise en lumière du bâtiment. Cette solution renforce l’aspect innovant, interactif et durable du centre tout en valorisant les circulations nocturnes à travers une ambiance lumineuse dynamique et contemporaine.



Figure 87: L’intégration du pavé piézoélectrique devant les accès

10.Détails techniques

➤ Acrotère

Le détail représente un acrotère de toiture-terrasse assurant la protection et l’étanchéité du bâtiment. Il est composé d’une dalle en béton armé, d’une isolation thermique, d’une forme de pente et d’une étanchéité multicouche protégée par du gravillon. Le relevé d’étanchéité au niveau de l’acrotère permet d’éviter les infiltrations d’eau et d’assurer la durabilité de la toiture.

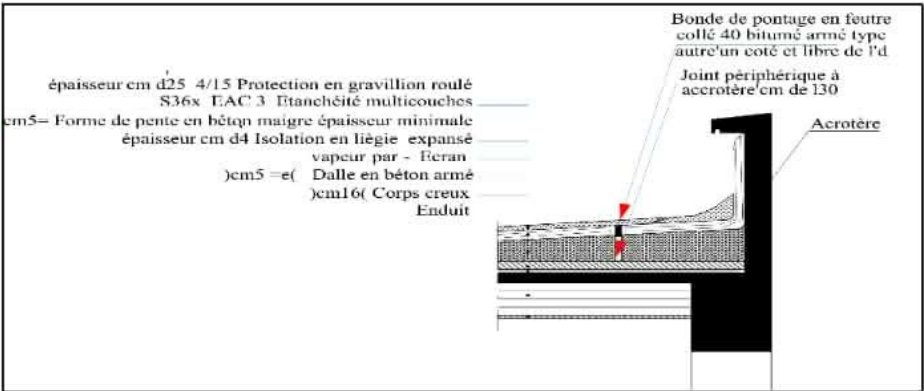
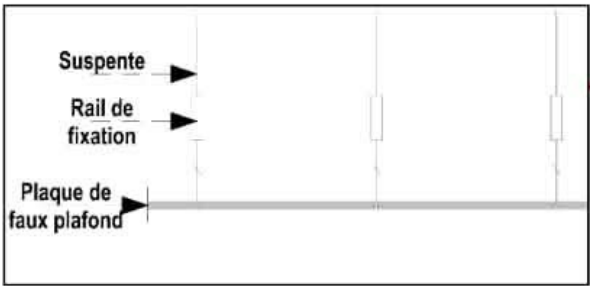


Figure 88: Détail acrotère

Source : Auteurs

➤ Faux plafonds



Ce détail représente un faux plafond suspendu composé de plaques fixées sur des rails métalliques, eux-mêmes maintenus par des suspentes reliées à la structure porteuse. Ce système permet d’améliorer l’esthétique intérieure, de dissimuler les réseaux techniques et de renforcer l’isolation acoustique et thermique du local.

Figure 89 : Détail faux plafond
Source : Auteurs

➤ **Mur végétal**

Un mur végétalisé a été intégré en relation directe avec le laboratoire botanique afin d’exposer les plantes ainsi que les expérimentations réalisées au sein du laboratoire. Cet aménagement participe également à l’amélioration du confort intérieur en contribuant à la régulation thermique et à la qualité de l’air, tout en renforçant l’identité écologique du projet. Le système est constitué d’une structure fixée à la façade comprenant des bacs et un support technique permettant l’intégration des plantes directement sur le mur.

L’arrosage est assuré par un système d’irrigation intégré alimenté par la récupération des eaux usées traitées du projet, réutilisées pour l’entretien des plantations dans une logique durable. Étant orienté au nord, le mur végétal accueille principalement des espèces nécessitant peu d’ensoleillement direct et adaptées aux zones ombragées. Le mur végétal est mis en valeur par un système d’éclairage LED intégré permettant de compléter les besoins lumineux des plantes tout en créant une mise en scène nocturne du laboratoire.

➤ **Toiture végétale**

Dans une démarche durable et respectueuse de l’environnement, le projet intègre une toiture végétalisée au niveau de la partie centrale plate du bâtiment. Le choix s’est porté sur une végétation de type toundra, caractérisée par une couverture végétale résistante et adaptée aux climats secs ou modérés.

Ce type de végétation nécessite peu d’entretien tout en assurant une bonne isolation thermique et acoustique du bâtiment. Il contribue également à la rétention des eaux pluviales ainsi qu’à la réduction des îlots de chaleur, améliorant ainsi le confort environnemental du projet. Elle participe pleinement à l’approche biophilique du Centre en apportant une dimension écologique, sensorielle et paysagère au projet

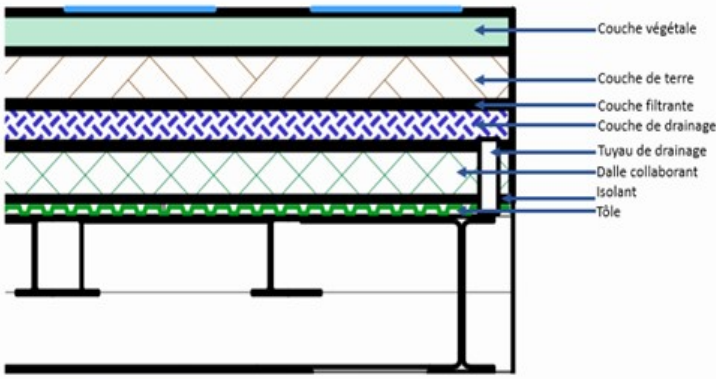


Figure 90 : Détail toiture végétale
Source : Auteur

➤ **La gestion d’énergie**

La gestion de l’énergie du Centre des Cultures Vivantes repose sur une approche durable basée sur l’exploitation des ressources naturelles, l’éclairage LED basse consommation, les équipements solaires et les systèmes intelligents afin de réduire la consommation énergétique et améliorer le confort des usagers.

11.Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter la réponse architecturale du projet à travers ses différents aspects fonctionnels, stylistiques et techniques. L’organisation des espaces a été pensée pour assurer un bon fonctionnement et offrir un cadre confortable et convivial aux usagers.

L’approche stylistique adoptée met en valeur une architecture contemporaine basée sur la lumière naturelle, la transparence et l’intégration de la végétation afin de créer une ambiance agréable et apaisante. Sur le plan technique, plusieurs solutions ont été intégrées pour améliorer le confort thermique, acoustique et énergétique du bâtiment, tout en respectant une démarche durable.

Enfin, les différents détails techniques développés assurent la cohérence et la faisabilité du projet, permettant ainsi d’obtenir une architecture moderne, fonctionnelle et adaptée aux besoins des utilisateurs.

Conclusion générale

Afin de répondre à la problématique du projet, le Centre des Cultures Vivantes a été conçu comme un espace capable d'associer architecture contemporaine, confort des usagers et innovation environnementale à travers une réflexion approfondie sur l'éclairage. La lumière a été considérée comme un élément fondamental dans la conception du projet, non seulement pour assurer la fonctionnalité des espaces, mais également pour créer une ambiance vivante et immersive adaptée aux activités culturelles.

Le travail réalisé a permis de démontrer que l'intégration maîtrisée de l'éclairage naturel et artificiel contribue directement à améliorer la qualité spatiale et l'expérience des utilisateurs. Les patios, les ouvertures et les espaces végétalisés favorisent une diffusion optimale de la lumière naturelle, réduisant ainsi les besoins énergétiques du bâtiment tout en assurant un meilleur confort visuel et thermique. Parallèlement, les solutions d'éclairage artificiel, notamment les LED, les spots intégrés et les équipements solaires extérieurs, participent à la mise en valeur architecturale du centre, de la végétation et des espaces publics, tout en s'inscrivant dans une démarche durable et économique.

Ainsi, ce projet montre que l'éclairage dépasse sa fonction technique pour devenir un véritable outil de conception architecturale. Il permet de renforcer l'identité du Centre des Cultures Vivantes, de créer des espaces attractifs et interactifs, et d'assurer un équilibre entre esthétique, performance énergétique et bien-être des usagers. Le projet répond donc à la problématique en proposant une architecture sensible à son environnement, capable d'offrir une expérience culturelle enrichissante tout en intégrant les principes du développement durable.

Références bibliographiques

Ouvrages / Livres

1. Abbas R., L'aménagement du territoire et urbain en Tunisie, éd. Latrach, 2024.
2. Auby J.-B. et De Gregorio V., Données urbaines et Smart Cities, Berger-Levrault, 2017.
3. Christopher Cuttle, Lighting by Design: The Art and Science of Architectural Lighting, Architectural Press, 2010.
4. Mohsen Mostafavi & Gareth Doherty, Ecological Urbanism, Harvard University Graduate School of Design, 2016.
5. Trommenschlager M., La ville intelligente, entre utopies numériques et réalités, L'Harmattan, 2021.

Articles scientifiques et revues

1. Auby J.-B., « Algorithme et Smart Cities : données juridiques », Revue générale de droit en ligne, 2018.
2. Gérardin H. et Poirot J., « L'attractivité des territoires : un concept multidimensionnel », Mondes en développement, 2010.
3. Kalfèche G., « Les enjeux de la fabrication de la ville intelligente : la création d'un nouveau modèle urbain », Droit et ville, 2022.
4. Sustainable Energy Harvesting Using Piezoelectric Tiles.
5. Smart Piezoelectric Road and Footstep Energy Generation.
6. Application of Piezoelectric Materials in Urban Spaces.
7. Piezoelectric Energy Generation Floor System.
8. Smart Lighting for Smart Cities, ScienceDirect.
9. The Urban Light Plan : vers des villes durables (MDPI).
10. Article « Oran : des terres agricoles sacrifiées pour un urbanisme sauvage », revue Belgeo.
11. Article sur l'éclairage intelligent et la ville intelligente.
12. Article général sur les Smart Cities et technologies connectées.
13. Articles IEEE sur les Smart Street Lighting Systems.
14. Études ScienceDirect sur les effets de l'éclairage sur la biodiversité et la santé.
15. Études publiées sur Preprints.org concernant les prototypes d'éclairage IoT.
16. Étude JISEM Journal sur les systèmes d'éclairage intelligents.
17. Étude Jelene.org sur l'intégration LED et IoT dans l'éclairage urbain.
18. Pavegen Systems.

Thèses et travaux universitaires

1. Thèse de doctorat : Mobilités résidentielles et périurbanisation dans l'agglomération d'Oran, Université Oran 1.

Normes et organismes internationaux

1. CIE 115:2010 – Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic.
2. Commission Internationale de l'Éclairage (CIE).
3. EN 13201:2015 – Road Lighting Standards.
4. International Electrotechnical Commission (IEC), publications sur les systèmes d'éclairage intelligents.
5. International Energy Agency (IEA), efficacité énergétique et Smart Lighting.

Rapports, institutions et documents officiels

1. Agence de Développement et d'Urbanisme de Lille Métropole, Cahier n°7 : L'éclairage urbain, 2017.
2. CORDIS — Éclairage urbain adaptatif.
3. Direction de l'urbanisme et de la construction de la Wilaya d'Oran.
4. Direction de la Wilaya d'Oran (site officiel).
5. Ministère de l'Énergie et des Mines – Algérie.
6. Ministère de la Transition écologique.
7. ONS, RGPH 2008 et estimations communales 2014, Wilaya d'Oran.

8. Vie-publique.fr — données sur la pollution lumineuse.

Sites web et ressources numériques

1. Climate-Data.org, données climatiques de la ville d’Oran.
2. Metalesa — éclairage adaptatif dans les villes intelligentes.
3. Schröder — solutions d’éclairage dynamique et adaptatif.
4. Wikipédia — « Éclairage public ».
5. Wikipédia — « Oran ».
6. <https://www.okbob.net/2020/03/decoupage-administratif-de-la-wilaya-d-oran.html>
7. <https://woha.net/project/punggol-digital-district/>
8. <https://arquitecturaviva.com/works/masdar-city-3>
9. <https://www.archdaily.com/tag/masdar-city>
10. : <https://www.archdaily.com.br/br/887710/centro-cultural-el-tranque-bis-arquitectos>
11. <https://www.arkitectureonweb.com/fr/-/projets/cultural-centre>
12. <https://www.archiliste.fr/projets/dominique-coulon-et-associes/pole-multiculturel-mediatheque-et-salle-de-spectacles-a-isbergues>

Sources techniques et technologiques

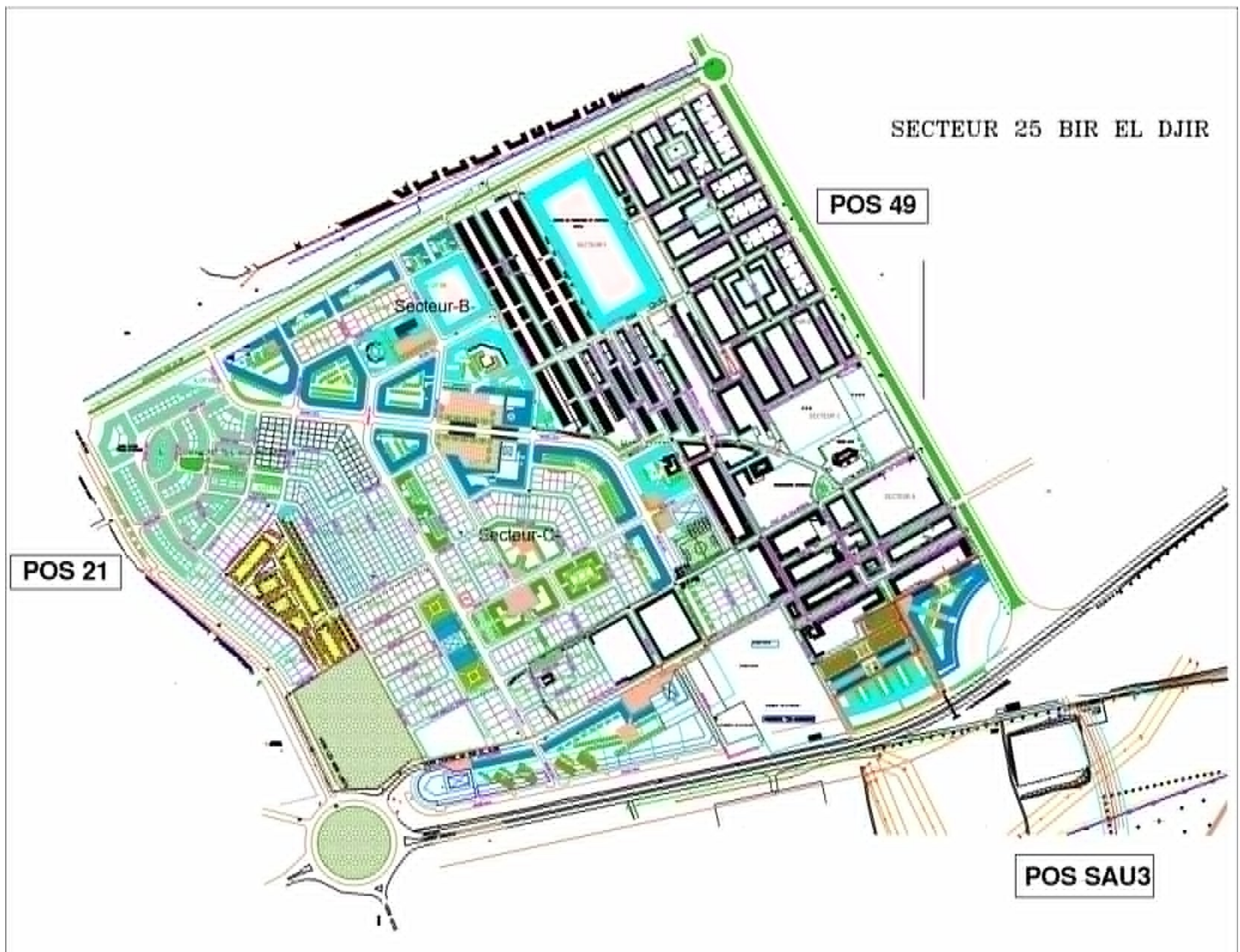
1. Analyse des bénéfices des LED et de l’éclairage intelligent pour l’environnement — IEEE.
2. Smart Lighting & technologies urbaines.
3. Solutions IoT et capteurs pour l’éclairage intelligent.

Annexes

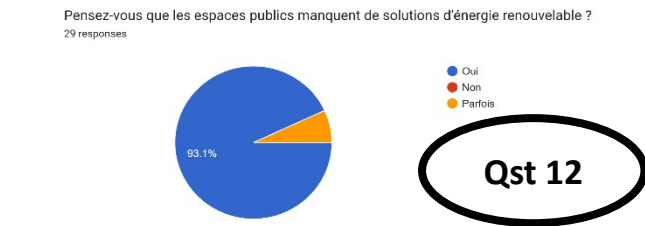
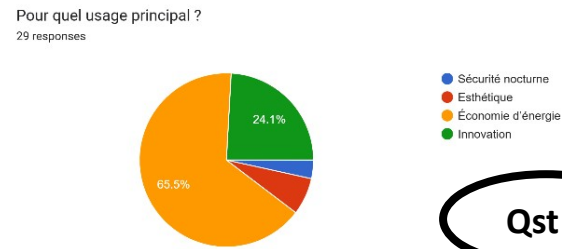
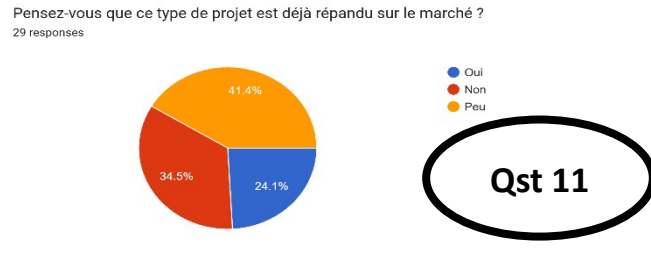
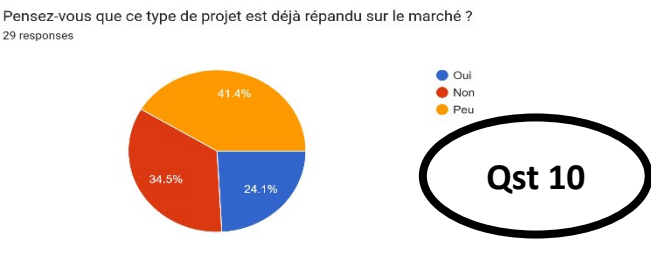
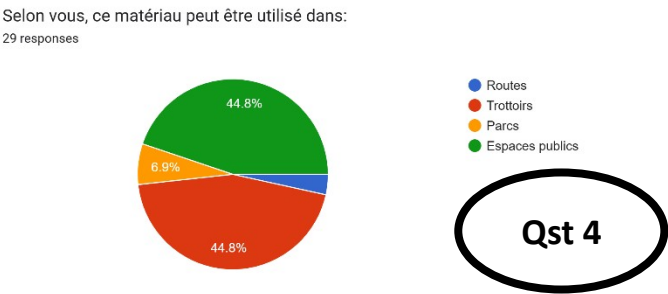
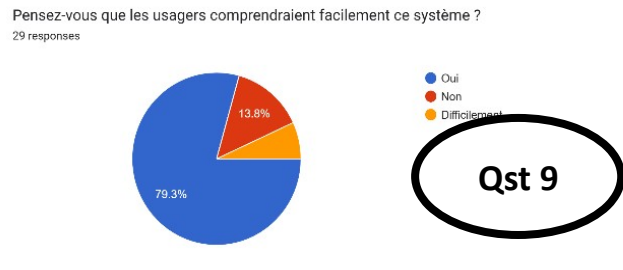
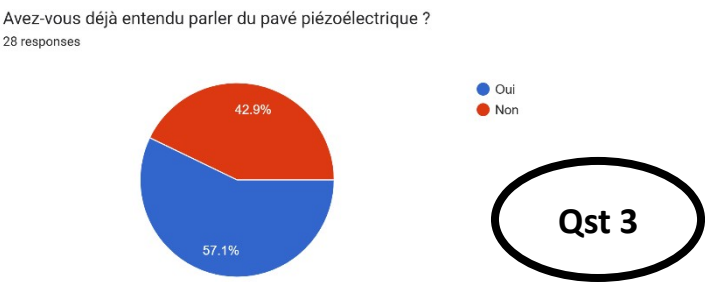
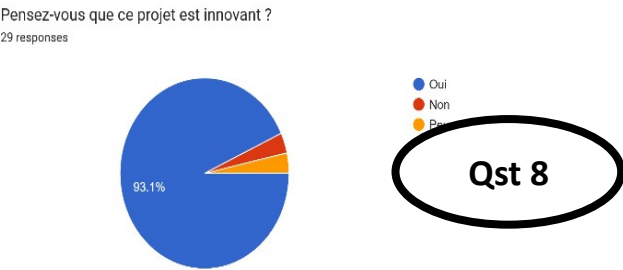
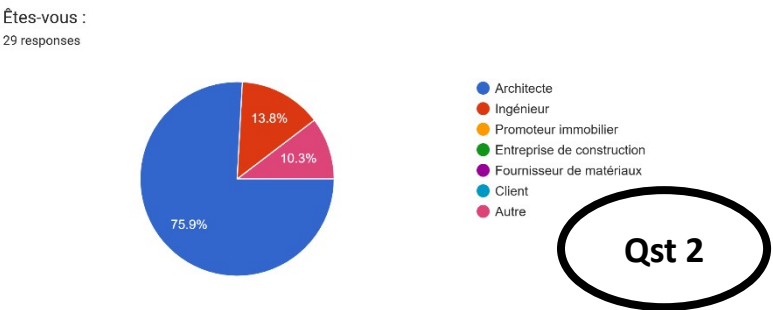
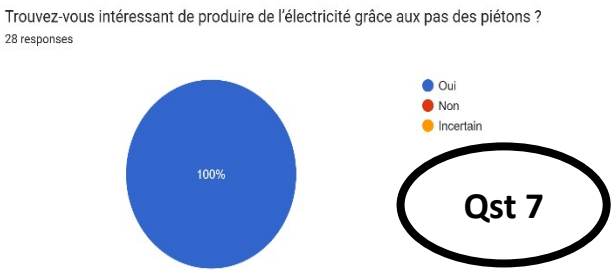
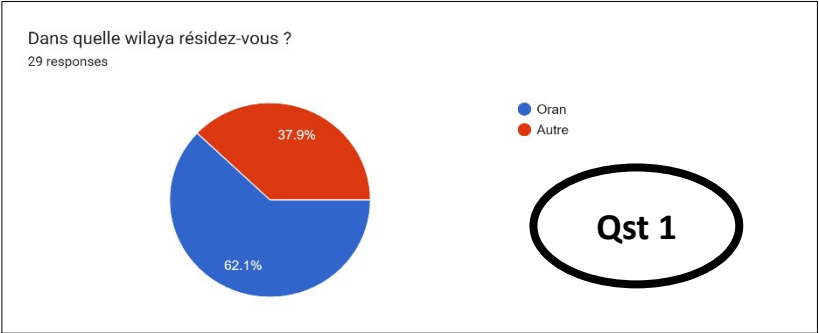
Annexe 1 : PDAU de Bir El Djir



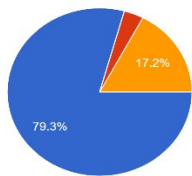
Annexe 2: POS de Bir El Djir



Annexe 3: Questionnaire

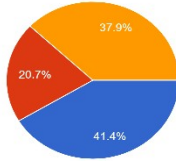


Pensez-vous que ce type de technologie est utile dans les espaces publics (rues...) ?
29 responses



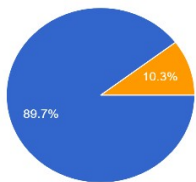
Qst 14

Pensez-vous que ce projet nécessite des technologies avancées pour fonctionner ?
29 responses



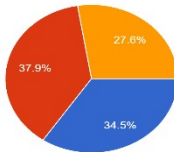
Qst 21

Pensez-vous que ce projet peut contribuer à améliorer l'éclairage public ?
29 responses



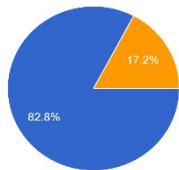
Qst 15

Les fournisseurs de matériaux électroniques sont-ils faciles à trouver ?
29 responses



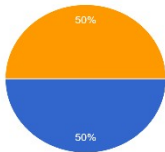
Qst 22

Seriez-vous plus intéressé(e) si l'énergie produite alimentait directement l'éclairage urbain ?
29 responses



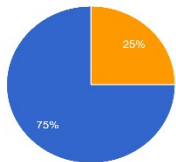
Qst 16

Pensez-vous que les collectivités seraient prêtes à financer ce type de projet ?
28 responses



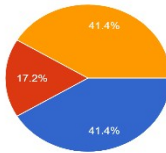
Qst 23

Seriez-vous intéressé(e) si le pavé affichait l'énergie produite en temps réel ?
28 responses



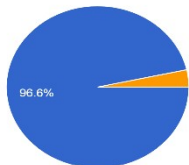
Qst 17

Selon vous, qui devrait investir dans ce type de technologie ?
29 responses



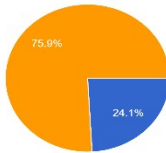
Qst 24

Pensez-vous que ce projet peut générer des économies d'énergie pour les villes ?
29 responses



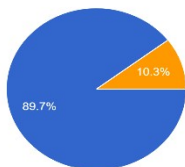
Qst 18

Selon vous, quels sont les partenaires essentiels pour ce projet ?
29 responses



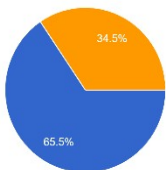
Qst 25

Ce projet présente-t-il, selon vous, un avantage par rapport aux systèmes d'énergie classiques ?
29 responses



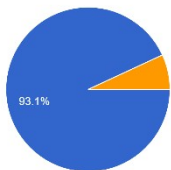
Qst 19

Pensez-vous que ce projet doit être présenté à travers des maquettes ou prototypes ?
29 responses



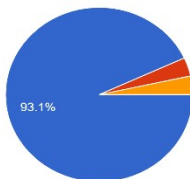
Qst 26

Ce projet est-il adapté aux zones très fréquentées (centres culturels, rues principales) ?
29 responses



Qst 20

Seriez-vous favorable à l'installation de pavés piézoélectriques dans votre ville ?
29 responses



Qst 27

Annexe 4: *Business Model Canvas* (*BMC*)

Nom du projet : Pavé piézoélectrique- Produire de l'électricité à partir de la pression des pas des usagers.

1- Proposition de valeur (Value Proposition) القيمة المقترحة

a. Quels problèmes résolvons-nous pour nos clients ?

ما هي المشاكل التي نحلها لعملائنا ؟

- ❖ **Production d'énergie renouvelable** : Notre pavé piézoélectrique transforme la pression des pas et des mouvements en énergie électrique utilisable, ce qui permet de produire une énergie propre dans les espaces publics.
- ❖ **Réduction de la consommation énergétique** : Le système permet d'alimenter des équipements urbains comme l'éclairage LED, réduisant ainsi la dépendance aux réseaux électriques classiques.
- ❖ **Valorisation des espaces urbains** : Nous proposons une solution innovante qui modernise les espaces publics et améliore l'image écologique des villes et infrastructures.
- ❖ **Contribution au développement durable** : Le projet participe à la réduction des émissions de carbone grâce à l'utilisation d'une énergie renouvelable et écologique.

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

ما هي الاحتياجات التي يلبّيها منتجاتنا أو خدماتنا لعملائنا؟

- ❖ **Besoin d'innovation technologique** : Les collectivités et entreprises recherchent aujourd'hui des solutions intelligentes et modernes pour leurs infrastructures urbaines.
- ❖ **Besoin d'économie d'énergie** : Notre solution aide les clients à réduire les coûts liés à l'éclairage et à la consommation énergétique.
- ❖ **Besoin de durabilité environnementale** : Les clients souhaitent intégrer des technologies respectueuses de l'environnement afin d'améliorer leur impact écologique.
- ❖ **Besoin d'attractivité urbaine** : Les espaces intégrant des technologies innovantes deviennent plus attractifs pour les utilisateurs et visiteurs.

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

في ماذا تختلف عروضنا عن تلك التي يقدمها منافسونا؟

- ❖ **Technologie innovante** : Notre projet utilise l'énergie générée par les mouvements humains pour produire de l'électricité de manière autonome.
- ❖ **Intégration urbaine facile** : Les pavés peuvent être installés dans plusieurs espaces comme les trottoirs, places publiques, universités ou centres commerciaux.
- ❖ **Solution écologique** : Contrairement aux systèmes énergétiques classiques, notre technologie exploite une énergie propre et renouvelable.
- ❖ **Double fonction** : Le pavé assure à la fois une fonction de circulation et une production énergétique.

d. Quelles est notre proposition unique de valeur ?

ما هو العرض الفريد للقيمة لدينا؟

Notre proposition unique de valeur consiste à transformer les mouvements quotidiens des utilisateurs en énergie électrique exploitable grâce à un système piézoélectrique innovant, tout en améliorant l'efficacité énergétique et l'aspect durable des espaces urbains.

2- Segments de clients (Customer Segment) : أنواع العملاء

a. Quels sont nos clients principaux ?

من هم العملاء أو الزبائن الرئيسيون؟

- ❖ **Collectivités locales et municipalités** : Elles recherchent des solutions innovantes pour moderniser les espaces publics et réduire les dépenses énergétiques.
- ❖ **Entreprises de construction** : Elles peuvent intégrer notre technologie dans les projets urbains et les nouvelles infrastructures.
- ❖ **Promoteurs immobiliers** : Ils cherchent des équipements modernes et écologiques pour valoriser leurs projets.
- ❖ **Centres commerciaux et espaces publics** : Ces espaces à forte fréquentation représentent des zones idéales pour exploiter l'énergie des déplacements.
- ❖ **Universités et institutions publiques** : Elles peuvent utiliser cette technologie dans un objectif énergétique et pédagogique.

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

ما هي الفئات المختلفة من العملاء التي تستهدفها؟

- ❖ **Secteur public :** Municipalités, administrations et institutions publiques intéressées par les smart cities.
- ❖ **Secteur privé :** Entreprises et investisseurs cherchant des solutions énergétiques innovantes.
- ❖ **Espaces commerciaux et touristiques :** Centres commerciaux, hôtels et zones touristiques souhaitant améliorer leur attractivité.
- ❖ **Secteur éducatif :** Universités et centres de recherche travaillant sur les énergies renouvelables.

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

ما هي الاحتياجات الخاصة لكل فئة من العملاء؟

- ❖ **Municipalités :** Réduire les coûts d'éclairage public et moderniser les infrastructures urbaines.
- ❖ **Promoteurs immobiliers :** Ajouter une valeur écologique et technologique à leurs projets.
- ❖ **Centres commerciaux :** Créer une expérience innovante et réduire les coûts énergétiques.
- ❖ **Universités :** Utiliser le projet comme support technologique et expérimental.

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

كيف يمكن تصنيف عملائنا إلى مجموعات مختلفة؟

- ❖ **Selon le secteur d'activité :** Public, privé, commercial ou éducatif.
- ❖ **Selon le type de projet :** Espaces publics, infrastructures urbaines, centres commerciaux ou projets smart city.
- ❖ **Selon le budget :** Clients à grande capacité d'investissement ou projets à budget limité.
- ❖ **Selon les besoins énergétiques :** Clients recherchant l'éclairage autonome ou la production énergétique durable.

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

-

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

اي نوع من العلاقة يتوقعه كل فئة من العملاء منا؟

- ❖ **Accompagnement technique :** Les clients attendent un suivi professionnel avant et après l'installation.
- ❖ **Fiabilité du système :** Ils recherchent une solution durable et performante.
- ❖ **Support continu :** Un service de maintenance et d'assistance rapide est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement du système.
- ❖ **Collaboration à long terme :** Les collectivités et entreprises préfèrent établir des partenariats durables pour leurs futurs projets.

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

كيف نحافظ حاليًا على العلاقات مع عملائنا؟

- ❖ **Présentations et démonstrations :** Nous réalisons des essais pratiques et des démonstrations du prototype.
- ❖ **Communication numérique :** Utilisation des réseaux sociaux, e-mails et plateformes numériques pour informer les clients.
- ❖ **Suivi technique :** Assistance lors des phases de test et d'installation.
- ❖ **Participation aux événements :** Présence dans les salons et activités liés aux technologies innovantes et à l'énergie durable.

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

كيف يمكننا تحسين أو تخصيص تفاعلاتنا مع عملائنا؟

- ❖ **Personnalisation des solutions :** Adapter le système selon les besoins énergétiques de chaque projet.
- ❖ **Amélioration du service après-vente :** Mettre en place un suivi régulier et une maintenance efficace.
- ❖ **Communication proactive :** Informer régulièrement les clients des nouvelles améliorations technologiques.
- ❖ **Formation et sensibilisation :** Former les utilisateurs et partenaires à l'utilisation optimale du système.

4- Canaux de distribution (Channels) قنوات التوزيع :

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

من خلال أي قنوات يفضل عملاؤنا أن يتم التواصل معهم؟

- ❖ **Site web professionnel** : Les clients souhaitent consulter les informations techniques, les démonstrations et les services via une plateforme numérique accessible.
- ❖ **Réseaux sociaux** : Les plateformes comme Facebook, Instagram et LinkedIn permettent de présenter le projet, partager les innovations et communiquer rapidement avec les clients.
- ❖ **Salons et expositions** : Les événements technologiques et environnementaux représentent une occasion importante pour présenter le prototype et attirer des partenaires.
- ❖ **Communication directe** : Les réunions, appels et e-mails permettent un échange professionnel plus précis avec les collectivités et entreprises.

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

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

- ❖ **Collectivités et institutions publiques** : Les réunions professionnelles et les présentations directes sont les moyens les plus efficaces pour présenter le projet.
- ❖ **Secteur privé et investisseurs** : Les salons technologiques, les conférences et LinkedIn facilitent le développement des partenariats.
- ❖ **Grand public** : Les réseaux sociaux et les campagnes numériques permettent de sensibiliser les utilisateurs à l'importance des énergies renouvelables.
- ❖ **Universités et centres de recherche** : Les événements scientifiques et collaborations académiques sont particulièrement efficaces.

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

كيف يمكننا دمج مختلف القنوات لتحسين تجربة العملاء؟

- ❖ **Combinaison des outils numériques et physiques** : Associer la communication en ligne avec des démonstrations réelles du prototype améliore la compréhension du projet.
- ❖ **Suivi multicanal** : Permettre aux clients de communiquer via téléphone, e-mail, réseaux sociaux ou rencontres directes selon leurs préférences.
- ❖ **Diffusion des résultats et innovations** : Partager régulièrement les performances et évolutions du système sur plusieurs plateformes afin de maintenir l'intérêt des clients.

5-Partenaires clés (Key Partnerships) : الشراكة الرئيسية :

a. Qui sont nos partenaires clés ?

من هم شركاؤنا الرئيسيون؟

- ❖ **Fournisseurs de composants électroniques** : Ils fournissent les capteurs piézoélectriques, batteries, câblages et systèmes électroniques nécessaires au fonctionnement du projet.
- ❖ **Entreprises de construction** : Elles participent à l'intégration des pavés dans les infrastructures urbaines et les espaces publics.
- ❖ **Universités et laboratoires de recherche** : Ces partenaires contribuent au développement technologique et à l'amélioration des performances du système.
- ❖ **Collectivités locales** : Elles représentent des partenaires essentiels pour tester et installer les pavés dans les espaces publics.
- ❖ **Entreprises spécialisées en énergie renouvelable** : Elles apportent une expertise technique et facilitent le développement du projet.

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

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

- ❖ **Partenariats universitaires** : Ils permettent d'accéder à des laboratoires, recherches et compétences techniques à moindre coût.
- ❖ **Partenariats industriels** : Collaborer avec des entreprises locales réduit les coûts de fabrication et de transport.
- ❖ **Subventions et soutien public** : Les aides gouvernementales favorisent le financement des projets liés aux énergies renouvelables.
- ❖ **Partenariats commerciaux** : Les collaborations avec les entreprises de construction facilitent l'accès au marché et augmentent la visibilité du projet.

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

كيف يمكننا مزامنة مصالحنا مع تلك لشركائنا؟

- ❖ **Collaboration à long terme :** Développer des relations durables basées sur la confiance et les objectifs communs.
- ❖ **Partage des bénéfices et résultats :** Créer des partenariats avantageux pour toutes les parties impliquées.
- ❖ **Participation commune aux projets :** Travailler ensemble dans les projets urbains et environnementaux renforce la coopération.
- ❖ **Innovation collective :** Encourager les échanges d'idées et les améliorations techniques afin de développer des solutions plus performantes.

6-Activités clés (Key Activities) : الأنشطة الرئيسية:

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

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

- ❖ **Recherche et développement :** Améliorer continuellement le rendement énergétique et la durabilité du système.
- ❖ **Fabrication du prototype :** Concevoir et assembler les pavés piézoélectriques avec les composants nécessaires.
- ❖ **Tests et expérimentations :** Réaliser des essais pour vérifier l'efficacité et la résistance du système.
- ❖ **Installation et maintenance :** Assurer l'intégration des pavés dans les espaces publics et garantir leur bon fonctionnement.
- ❖ **Promotion du projet :** Présenter le projet aux investisseurs, collectivités et partenaires potentiels.

b. Quelles sont les opérations essentielles pour notre entreprise ?

ما هي العمليات الأساسية لشركتنا؟

- ❖ **Gestion des fournisseurs :** Assurer l'approvisionnement des composants et matériaux nécessaires.
- ❖ **Contrôle qualité :** Vérifier la performance et la sécurité des pavés avant installation.
- ❖ **Gestion financière :** Organiser les budgets, les coûts et les investissements du projet.
- ❖ **Gestion technique :** Superviser les opérations de fabrication, d'installation et de maintenance.
- ❖ **Gestion des ressources humaines :** Coordonner les équipes de recherche, technique et commerciale.

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

ما هي الأنشطة التي تخلق أكبر قيمة لعملائنا؟

- ❖ **Innovation technologique :** Offrir une solution énergétique moderne et intelligente.
- ❖ **Réduction des coûts énergétiques :** Permettre aux clients d'utiliser une énergie renouvelable locale.
- ❖ **Fiabilité du système :** Garantir une technologie durable et performante.
- ❖ **Accompagnement technique :** Fournir un suivi et une assistance adaptés aux besoins des clients.

7- Ressources clés (Key resources) : الموارد الرئيسية

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

ما هي الأصول المادية وغير المادية والبشرية الأساسية لدينا؟

- ❖ **Actifs matériels :**
 - **Capteurs piézoélectriques :** Élément principal du système permettant de convertir la pression exercée par les pas des usagers en énergie électrique exploitable. Ils assurent la production d'une énergie renouvelable destinée à alimenter certains équipements urbains.
 - **Équipements électroniques :** Comprennent les batteries de stockage, les LED, les câblages, les convertisseurs et les systèmes de gestion énergétique nécessaires au fonctionnement et à la distribution de l'énergie produite.
 - **Outils de fabrication et de test :** Ensemble des machines, équipements techniques et dispositifs de contrôle utilisés pour la conception, l'assemblage et l'évaluation des performances du prototype avant son installation.

- ❖ **Actifs immatériels :**

- **Concept innovant** : Une solution technologique durable intégrée dans une vision de smart city, visant à produire une énergie propre à partir des déplacements piétons tout en améliorant les espaces publics.
- **Connaissances techniques** : Expertise développée dans les domaines de l'énergie renouvelable, de l'électronique, des systèmes intelligents et de l'intégration urbaine durable.
- **Image écologique** : Le projet valorise une approche respectueuse de l'environnement, favorisant l'innovation verte, la réduction de la consommation énergétique et la sensibilisation au développement durable.

❖ **Ressources humaines :**

- **Ingénieurs et techniciens** : Responsables de la conception technique, du développement des systèmes électroniques, des essais de performance ainsi que de l'installation et de la maintenance des pavés piézoélectriques.
- **Équipe de recherche et développement** : Chargée de l'amélioration continue du système, des expérimentations techniques et de l'optimisation du rendement énergétique afin d'assurer une meilleure efficacité et durabilité du projet.
- **Équipe marketing et communication** : Responsable de la promotion du projet, de la sensibilisation autour des solutions énergétiques durables, de la recherche de partenaires et investisseurs ainsi que de la gestion de l'image innovante et écologique de l'entreprise.

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

ما هي الأدوات والتكنولوجيا أو الشراكات التي نحتاجها لتحقيق النجاح؟

❖ **Outils et technologies :**

- **Logiciels de conception et simulation** : Utilisés pour modéliser et optimiser le système.
- **Technologies électroniques avancées** : Nécessaires pour le stockage et la gestion de l'énergie produite.

❖ **Partenariats :**

- **Partenariats scientifiques** : Collaborations avec universités et laboratoires de recherche.
- **Partenariats industriels** : Aident à produire et développer le système à plus grande échelle.

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

ما هي المزايا التنافسية الرئيسية لمواردنا؟

- ❖ **Innovation énergétique** : Utilisation d'une technologie moderne de récupération d'énergie.
- ❖ **Flexibilité d'intégration** : Le système peut être installé dans différents espaces urbains.
- ❖ **Dimension écologique** : Contribution à la transition énergétique et au développement durable.
- ❖ **Possibilité d'évolution** : Le projet peut être amélioré et adapté à plusieurs applications futures.

8- Charges et coûts (Coste structure) : التكاليف

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

ما هي التكاليف الثابتة والمتغيرة المرتبطة بنموذجنا الاقتصادي؟

❖ **Coûts fixes :**

• **Équipements et matériels :**

Achat des machines, outils de fabrication et équipements de test nécessaires à la conception des pavés piézoélectriques.

Estimation : 8 000 DA / m²

• **Recherche et développement :**

Dépenses liées aux essais techniques, à l'amélioration du rendement énergétique et au développement du système intelligent.

Estimation : 5 000 DA / m²

• **Locaux et espaces de travail :**

Coûts des ateliers, laboratoires et espaces de conception utilisés pour le développement du projet.

Estimation : 3 000 DA / m²

- **Salaires et gestion :**

Rémunération des ingénieurs, techniciens, équipes administratives et gestion du projet.

Estimation : 4 000 DA / m²

- ❖ **Coûts variables :**

- **Composants électroniques :**

Achat des capteurs piézoélectriques, batteries, LED, convertisseurs et câblages nécessaires au fonctionnement du système.

Estimation : 25 000 DA / m²

- **Fabrication et assemblage :**

Dépenses liées à la production, au montage et à l'intégration des composants dans les pavés.

Estimation : 10 000 DA / m²

- **Transport et installation :**

Frais de livraison, déplacement et mise en place des pavés sur le site d'implantation.

Estimation : 6 000 DA / m²

- **Maintenance et réparation :**

Coûts liés au suivi technique, à l'entretien et au remplacement des composants usés.

Estimation : 4 000 DA / m²

- ❖ **Coût total estimatif :**

Le coût total estimatif pour la réalisation et l'installation de 1 m² de pavé piézoélectrique est d'environ **65 000 DA**, selon la qualité des matériaux et les performances du système choisi.

1 m² ≈ 65 000 DA

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

ما هي التكاليف الأكثر أهمية لشركتنا؟

- ❖ **Les composants piézoélectriques** : Ils représentent l'élément principal et le plus coûteux du système.
- ❖ **La recherche et développement** : Les essais, améliorations et tests techniques nécessitent un investissement important.
- ❖ **Les équipements de fabrication** : Les outils et machines de production demandent des ressources financières élevées.
- ❖ **L'installation et la maintenance** : Les coûts liés à l'intégration du système dans les espaces publics restent importants.

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

كيف يمكننا خفض التكاليف أو تحسين كفاءة عملياتنا ؟

- ❖ **Utilisation de matériaux locaux** : Réduire les coûts d'importation et de transport.
- ❖ **Optimisation du design** : Concevoir un système plus simple et plus facile à installer.
- ❖ **Partenariats industriels** : Collaborer avec des entreprises locales pour réduire les coûts de fabrication.
- ❖ **Amélioration du rendement énergétique** : Produire davantage d'énergie avec moins de composants et moins de pression mécanique.
- ❖ **Maintenance préventive** : Réduire les coûts de réparation grâce à un suivi régulier du système.

9- Revenus (Revenue) : مصادر الدخل

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

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

- ❖ **Installation des pavés piézoélectriques** : Les clients sont prêts à investir dans des infrastructures énergétiques innovantes et durables.
- ❖ **Solutions d'éclairage autonome** : Les systèmes d'éclairage alimentés par l'énergie produite représentent un service attractif.
- ❖ **Maintenance et assistance technique** : Les clients recherchent un accompagnement et un suivi professionnel du système.
- ❖ **Études et conception personnalisées** : Développement de solutions adaptées aux besoins spécifiques des projets urbains.

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

ما هي الطرق المختلفة التي يمكننا من خلالها تحقيق الدخل؟

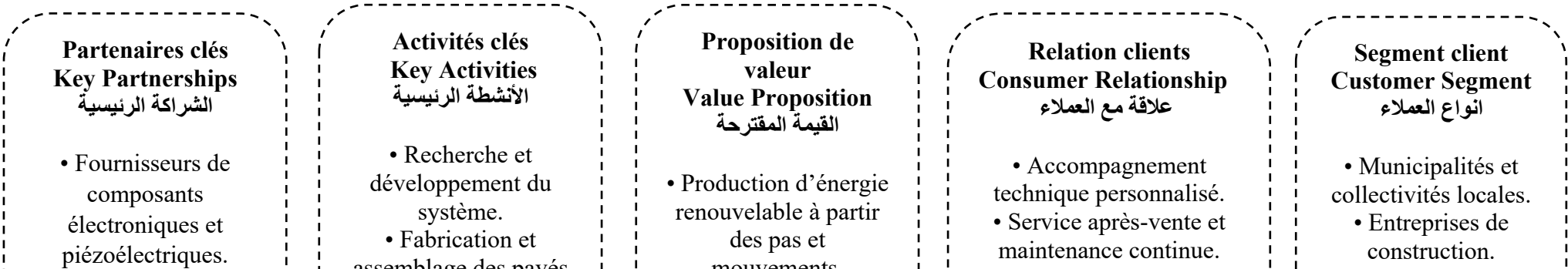
- ❖ **Vente directe des pavés** : Commercialisation du produit auprès des collectivités et entreprises.
- ❖ **Contrats d’installation** : Revenus générés par l’intégration des systèmes dans les projets urbains.
- ❖ **Services de maintenance** : Contrats de suivi technique et d’entretien des installations.
- ❖ **Partenariats et collaborations** : Financement à travers les projets smart city et les programmes environnementaux.
- ❖ **Subventions et aides publiques** : Soutien financier des organismes liés aux énergies renouvelables et au développement durable.

c. Quel est notre modèle de tarification ?

ما هو نموذج التسعير لدينا؟

- ❖ **Tarification selon la surface installée** : Le prix dépend du nombre de pavés et de la taille du projet.
- ❖ **Offres personnalisées** : Adaptation des coûts selon les besoins énergétiques et techniques du client.
- ❖ **Contrats complets** : Prix incluant fabrication, installation, maintenance et assistance technique.
- ❖ **Tarification durable** : Le modèle économique repose sur les économies d’énergie et le retour sur investissement à long terme.

Business Model Canevas: BMC



9

Ressources clés Key resources الموارد الرئيسية

- Capteurs piézoélectriques et composants électroniques.
- Outils de fabrication et équipements de test.
 - Logiciels de conception et simulation.
- Équipe technique et de recherche.
- Image innovante et écologique du projet.

Coûts Coste structure التكاليف

- Achat des composants électroniques et piézoélectriques.
- Recherche et développement.
- Fabrication et assemblage des pavés.
- Transport, installation et maintenance.
- Salaires et gestion des équipes.

Canaux de distribution Channels قنوات التوزيع

- Site web et plateformes numériques.
- Réseaux sociaux.
- Salons et expositions technologiques.
 - Réunions et présentations professionnelles.
- Communication directe par téléphone et e-mail.

Canaux de distribution Channels قنوات التوزيع

- Vente des pavés piézoélectriques.
- Contrats d'installation dans les projets urbains.
- Services de maintenance et suivi technique.
- Partenariats et projets smart city.
- Subventions et financements liés aux énergies renouvelables.

Annexe 5: Rendus architecturaux

Vue 3D extérieure du projet



Vue 3D extérieure du projet



Perspective du mur végétal et des espaces verts



Perspective nocturne avec mise en lumière



Façade principale



Façade latérale



Système de pavage piézoélectrique des cheminements extérieurs



Mise en lumière du mobilier urbain et des espaces verts



Aménagement écologique des espaces extérieurs



Vue intérieure du patio central



Vue intérieure du hall d'accueil



Vue intérieure du laboratoire botanique



Vue intérieure du café culturel

