



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté d'architecture, de l'urbanisme, de génie civil et de
l'hydraulique
Département d'Architecture

Mémoire de master académique

**Complémentaire dans le cadre de la décision ministérielle n° 1275 pour
l'obtention d'un diplôme universitaire - Projet d'entreprise économique**

Domaine : Architecture, Urbanisme et Métiers de la Ville

Filière : Architecture

Spécialité : Architecture

Thématique : Architecture, Environnement et Technologies

Présenté et soutenu par :
Mokhtari Rima

Le : Mercredi 02 Juillet 2025

**Le Thème : Les systèmes de refroidissements intelligents
adaptables aux climats chauds**

Le projet : Immeubles de bureaux

Jury

Dr	Zine Eddin Sara	MC(B)	Université de Biskra	Président
Dr	Besbes Yasmina	MC(B)	Université de Biskra	Examineur
Dr	Saadi Mohamed Yacin	MC(A)	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2024 - 2025

Remerciements

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, source de toute force et de toute réussite, pour m'avoir guidée et soutenue tout au long de ce parcours.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie sincèrement mon encadrants, Dr, Saadi Mohamed Yacin, Dr. Daaich Safa

Pour son accompagnement précieux, sa disponibilité constante et ses conseils éclairés qui ont enrichi ma recherche et affiné ma réflexion. Sa rigueur scientifique et sa bienveillance ont été pour moi une réelle source d'inspiration.

Je tiens également à adresser mes remerciements les plus chaleureux aux membres du jury :

Dr, Zine Eddine Sarah président du jury,

Dr, Besbes Yasmina, rapporteur(e),

Pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce travail, ainsi que pour leurs remarques pertinentes et enrichissantes, qui ne manqueront pas d'approfondir ma compréhension et d'éclairer mes perspectives futures.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des enseignants du département d'architecture, pour la richesse de leur enseignement et l'ouverture intellectuelle qu'ils m'ont apportée au fil des années.

Un merci tout particulier à ma famille, et surtout à ma chère mère, pour son amour inépuisable, ses sacrifices silencieux et son soutien indéfectible.

À toutes et à tous, je vous adresse ma plus sincère reconnaissance. Ce travail vous appartient aussi.

Dédicace

À moi-même, tout d'abord...

À celle qui a veillé tard, défié la fatigue et avancé sur des chemins souvent semés d'embûches...

À toi, âme patiente, qui as marché dans l'obscurité du doute à la recherche de l'aube de la
connaissance,

Cet effort est le fruit de tes mains, cette réussite est la couronne de ta persévérance... sois fière de
ce que tu as accompli.

À ma chère mère...

Toi qui fus mon étoile dans les nuits d'incertitude, et mon appui silencieux dans la tempête,

Tu as tant peiné, tant veillé en silence pour que j'arrive là où je suis aujourd'hui,

Chaque mot que j'ai écrit, chaque pas que j'ai franchi, je les dois à tes prières, à ta présence.

Merci du fond du cœur, un merci que les mots ne sauraient contenir.

À mes frères et sœurs bien-aimés [Mouhamed, Yousra]

Vous êtes le pilier qui ne chancelle pas,

À mes petits anges (Assil, Ghaith, Anfal, Islam)

Et à celui dont la présence discrète m'a apporté sérénité et espoir,

[Chems-eddine]

Merci d'avoir été là, tout simplement, avec une douceur qui ne se dit pas mais qui se ressent
profondément.

Et à tous mes amis [Malak, Noura, Aridj, Romaïssa, Hanin, Abir Amira, Tesnim, Badra, Ilyas,]

Vous êtes le souffle qui m'a accompagnée durant ce voyage académique,

Le sourire qui a allégé les jours les plus lourds,

Une épaule lorsque j'en avais besoin, une parole douce quand tout se taisait.

Je vous considère comme les plus beaux cadeaux de cette aventure.

Merci à tous ceux qui ont été une lumière sur mon chemin. Grâce à vous, cette réussite a un goût
encore plus doux.

Résumé

Dans un contexte marqué par le changement climatique, la raréfaction des ressources et la hausse continue de la consommation énergétique, la quête de solutions architecturales durables est devenue une nécessité incontournable, en particulier dans les zones à climat chaud et aride comme la ville de Biskra.

Ce mémoire s'inscrit dans cette dynamique, en s'intéressant à l'intégration du puits canadien en tant que système de refroidissement passif et intelligent au sein d'un bâtiment administratif multifonctionnel.

La première partie du travail a été consacrée à l'étude théorique des différents systèmes de refroidissement passif et des contraintes climatiques spécifiques aux zones arides, avec une attention particulière portée sur les caractéristiques techniques, les principes de fonctionnement et les avantages environnementaux du puits canadien.

La deuxième partie a permis de mener une analyse approfondie du site d'implantation, du climat local, et de plusieurs exemples de réalisations architecturales intégrant des solutions bioclimatiques. Cette phase a abouti à l'élaboration d'un programme architectural cohérent, en parfaite adéquation avec les besoins fonctionnels et les contraintes du terrain.

Enfin, la dernière partie a consisté à appliquer ces concepts théoriques et analytiques à un projet architectural concret, à travers la conception d'un bâtiment administratif intégré.

Les résultats de cette démarche confirment la pertinence environnementale, énergétique et fonctionnelle de l'intégration du puits canadien dans les bâtiments publics en climat chaud. Au-delà des aspects techniques, ce travail démontre que l'architecture bioclimatique, alliée aux nouvelles technologies, peut offrir des réponses concrètes aux enjeux du développement durable, tout en améliorant la qualité de vie des usagers.

المخلص

في ظل التغيرات المناخية المتسارعة، وتناقص الموارد الطبيعية، وارتفاع استهلاك الطاقة، أصبحت الحاجة إلى حلول معمارية مستدامة أمرًا لا مفر منه، خاصة في المناطق ذات المناخ الحار والجاف مثل مدينة بسكرة.

تأتي هذه المذكرة في هذا الإطار، حيث تركز على دمج نظام البئر الكندي كحل تبريد سلبي وذكي داخل مبنى إداري متعدد الوظائف.

خصص الجزء الأول من البحث لـ الدراسة النظرية لمختلف أنظمة التبريد السلبي ولمتطلبات المناخ المحلي في المناطق الجافة، مع التركيز بشكل خاص على الخصائص التقنية وآليات العمل والمزايا البيئية لنظام البئر الكندي.

أما الجزء الثاني، فقد تناول تحليلًا معمقًا لموقع المشروع والمناخ المحلي ودراسة عدة نماذج معمارية مشابهة، مما مكن من إعداد برنامج معماري متكامل يتماشى مع الاحتياجات الوظيفية وظروف الموقع.

وفي المرحلة الأخيرة، تم تطبيق المفاهيم النظرية والتحليلية على مشروع معماري فعلي من خلال تصميم مبنى إداري متكامل.

أكدت نتائج هذه الدراسة مدى جدوى وفعالية إدماج نظام البئر الكندي في المباني العامة بالمناخات الحارة، موضحة أن العمارة البيوكليماتية المدعومة بالتكنولوجيا الحديثة يمكن أن تقدم حلولاً ملموسة لتحديات التنمية المستدامة، مع تحسين جودة حياة المستخدمين.

Table des matières

Chapitre I : Introductif.....	1
Introduction	1
Problématique.....	1
Question de recherche	2
Hypothèses	2
Objectifs 2	
Etat de l’art	3
Méthodologie.....	4
Structure de la recherche	4
Conclusion.....	6
Chapitre II : Etude Conceptuelle	7
Présentation des systèmes de refroidissements	8
1.1 Introduction générale au refroidissement des bâtiments :.....	8
1.2 Classification des systèmes de refroidissement :	8
1.2.1 Les systèmes de refroidissement actifs :	8
1.2.2 Les systèmes de refroidissement passifs :	9
1.3 Focus sur le puits canadien :	11
1.3.1 Définition puits canadien	11
1.3.2 Principe de fonctionnement du puits canadiens.....	12
1.3.3 Dimensionnement et mise en œuvre	13
1.3.4 Placement conception des puits canadien	15
1.3.5 Eléments de conception	15
1.3.6 Avantages et limites du puits canadien	16
1.3.7 Des exemples pratique de l'intégration de puits canadien	16
Zones chaudes et contraintes climatiques.....	19
1.4 Analyse des caractéristiques des zones chaudes (Biskra).....	20
1.5 Impacts des conditions climatiques sur les bâtiments.....	21
1.5.1 Durabilité des Matériaux.....	21
1.5.2 Impact sur la Conception Architecturale	22
1.5.3 Résilience Face aux Événements Climatiques Extrêmes.....	22
Systèmes intelligents dans les technologies de refroidissement.....	22
1.6 Introduction aux systèmes intelligents.....	22
1.7 Définition et concepts clés	22
1.8 Technologies utilisées (capteurs, IoT, IA)	22
1.8.1 Capteurs intelligents.....	22
1.8.2 L’Internet des Objets (IoT) : Capteurs Intelligents pour la Surveillance Continue	23
1.8.3 Intelligence Artificielle (IA)	23
1.9 Applications dans les systèmes de refroidissement	23
1.10 Cas d’étude : Intégration d’un système intelligent dans un puits canadien.	24
Étude de cas et conception.....	25
1.11 Objectif général.....	25
1.12 Surveillance de l'humidité du sol :	25
1.13 Principe de fonctionnement :	25
1.14 Description technique	25
1.15 Mise en œuvre.....	27
1.16 Prototype Physique	28
1.17 Objectifs futurs.....	29
Chapitre III : Etude analytiques.....	31
Bâtiments administratifs	32

1.18	Définitions.....	32
1.19	Climatisation	33
1.20	Intérêt des bâtiments administratifs multifonctionnels	33
1.21	Choix des fonctions à intégrer dans le projet.....	34
Analyses des exemples :		34
1.22	Fiche technique :	34
1.23	L'étude externe :	35
1.24	Étude interne :	44
1.25	Synthèses d'analyses	51
Analyses du terrain		51
1.26	Présentation de la ville Biskra :.....	52
1.26.1	Situation et accessibilité de la ville :	52
1.26.2	Hydrographie de la ville de Biskra :	52
1.26.3	Situation démographique :	52
1.26.4	Analyse climatologique :	52
1.27	Choix du terrain :	52
1.28	Présentation du site :	54
1.28.1	Situation géographique et accessibilité :.....	54
1.28.2	Les limites du terrain :	55
1.28.3	La morphologie :	56
1.28.4	Analyses57	
1.29	Les points forts et faibles au terrain	59
Eléments du passage.....		60
Chapitre IV : Architectural		63
Introduction		64
Programme surfacique :		64
Approche conceptuelle		66
Présentation du projet		70
Conclusion Général		76
Conclusion générale		77
Annexe		

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : MODELE UNIDIMENSIONNEL DU SYSTEME D'ÉCHANGEUR AIR-SOL (EAHE). SOURCE : [GEOTHERMAL ENERGY 2015-SEP 12 VOL. 3 ISS. 1] BISONIYA, TRILOK SINGH - DESIGN OF EARTH-AIR HEAT EXCHANGER SYSTEM (2015) [10.1186_s40517-015-0036-2] - LIBGEN.LI.PDF.....	3
FIGURE 2: VUE AERIENNE DES MAISONS A REFROIDIR PAR CONTACT DIRECT AVEC LE SOL. BELLOUFI, YOUSEF.PDF.....	4
FIGURE 3 : SCHEMA DE METHODO	6
FIGURE 4 : VENTILATION PAR CHEMINEE. SOURCE : BEN_AOUN_CHARAFEDDINE.PDF	9
FIGURE 5: VENTILATION MONO-EXPOSEE OUVERTURE DOUBLE. SOURCE : BEN_AOUN_CHARAFEDDINE.PDF	9
FIGURE 6: FONCTIONNEMENT THERMIQUE D'UNE FAÇADE VENTILEE DURANT UNE JOURNEE CHAUDE. SOURCE : ETUDE-EXPERIMENTALE-DU-COMPORTEMENT-THERMIQUE-D'UNE-FAÇADE-VENTILEE-DANS-UN-CLIMAT-CHAUD-ET-ARIDE.PDF	10
FIGURE 7: LES COMPOSANT D'UN PUIITS. SOURCE : GUIDE_PUIITS_CANADIENS.PDF	10
FIGURE 8: SCHEMA REPRESENTATIF DU SYSTEME. SOURCE : MERGE.PDF	11
FIGURE 9: ECHANGEUR AIR SOL (SYSTEME A BOUCLE OUVERTE). SOURCE : BELLOUFI, YOUSEF.PDF.....	11
FIGURE 10; ECHANGEUR AIR SOL (SYSTEME A BOUCLE FERMEE). SOURCE : BELLOUFI, YOUSEF.PDF.....	12
FIGURE 11 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU SOL EN FONCTION DE LA PROFONDEUR. SOURCE : MERGE.PDF	12
FIGURE 12: PROPRIETE THERMIQUE DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS D'UN SOL. SOURCE : GUIDE_PUIITS_CANADIENS.PDF	12
FIGURE 13: SCHEMA DE PUIITS CANADIEN. SOURCE : TERCHA_HOCINE.PDF	13
FIGURE 14: LA PRISE D'ENTREE DE L'AIR NEUF. SOURCE : TERCHA_HOCINE.PDF	13
FIGURE 15: DES PHOTOS REALES D'INSTALLATION PUIT CANADIEN. PUIITS CANADIEN FEDE 2019.PDF	14
FIGURE 16 : PRESENTATION DES DIFFERENTES CONFIGURATIONS FREQUEMMENT UTILISEES POUR LES PUIITS SOURCE : GUIDE_PUIITS_CANADIENS.PDF	14
FIGURE 17: : PERFORMANCE DES ECHANGEURS DE CHALEUR AIR-SOL A L'UNIVERSITE DE IOANNINA.....	17
FIGURE 18: POINT D'ENTREE DE L'AIR PROVENANT DU TUBE GEOTHERMIQUE DANS LE BATIMENT. SOURCE : USE OF EARTH TO AIR HEAT EXCHANGERS FOR COOLING.PDF	18
FIGURE 19: VUE EXTERIEURE DU BATIMENT DE L'ENTREPOT DE PAPIER AGGELIDIS. SOURCE: USE OF EARTH TO AIR HEAT EXCHANGERS FOR COOLING.PDF	18
FIGURE 20: TEMPERATURES A L'ENTREE ET A LA SORTIE DE L'UN DES ECHANGEURS DE CHALEUR PENDANT LA PERIODE ESTIVALE. SOURCE : USE OF EARTH TO AIR HEAT EXCHANGERS FOR COOLING.PDF	18
FIGURE 21: REPARTITION DES TEMPERATURES INTERIEURES DANS L'ENTREPOT PENDANT LA PERIODE ESTIVALE. SOURCE: USE OF EARTH TO AIR HEAT EXCHANGERS FOR COOLING.PDF	18
FIGURE 22: TUBE PREFABRIQUE D'UN DIAMETRE DE 750 MM SOURCE : FR-ÉTUDEDECAS5.PDF.....	18
FIGURE 23: MODELE DU SYSTEME DE TUBES SOUTERRAINS. SOURCE : FR-ÉTUDEDECAS5.PDF	19
FIGURE 24: CONFIGURATION DES TUBES. SOURCE : FR-ÉTUDEDECAS5.PDF	19
FIGURE 25 : PERFORMANCE ENERGETIQUE DU SYSTEME, 2015. SOURCE : FR-ÉTUDEDECAS5.PDF.....	19
FIGURE 26: LES DONNEES TECHNIQUES SOURCE : FR-ÉTUDEDECAS5.PDF.	19
FIGURE 27 : LA TEMPERATURE MINIMALE ET MAXIMALE DE LA VILLE DE BISKRA, SOURCE : (METEO BISKRA - METEOBLUE).....	20
FIGURE 28: LA PRECIPITATION DE LA VILLE DE BISKRA, SOURCE : (METEO BISKRA - METEOBLUE).....	20
FIGURE 29: ENSOLEILLEMENT PAR MOIS, BISKRA (METEO BISKRA - METEOBLUE).....	20
FIGURE 30: LE DIAGRAMME DE BISKRA MONTRE LES JOURS PAR MOIS (METEO BISKRA - METEOBLUE).	21
FIGURE 31: LA ROSE DES VENTS POUR BISKRA (ETE, HIVER) (METEO BISKRA - METEOBLUE).	21
FIGURE 32 : L'HUMIDITE MINIMALE ET MAXIMALE DE LA VILLE DE BISKRA SOURCE : (WILAYA-BISKRA.GOV.DZ)	21
FIGURE 33: ARDUINO UNO	26
FIGURE 34: CAPTEUR DE TEMPERATURE DS18B20	26
FIGURE 35: CAPTEUR D'HUMIDITE DU SOL	26
FIGURE 36: SERVO MOTEUR	26

FIGURE 37: RESISTANCES.....	26
FIGURE 38: DES FILS DE CONNEXION	26
FIGURE 39: ALIMENTATION BATTERIE ARDUINO	26
FIGURE 40: TUYAU EN PVC	27
FIGURE 41: RACCORD DE TUYAU	27
FIGURE 42: SOL NATUREL	27
FIGURE 43: LED OU ECRAN LCD	27
FIGURE 44: TELECHARGER LE CODE SOURCE VIA L'ARDUINO.....	28
FIGURE 45 : APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE.	28
FIGURE 46: LE PROTOTYPE	29
FIGURE 47: ESQUISSE AXONOMETRIQUE DU PROTOTYPE. SOURCE : AUTEUR.....	29
FIGURE 48: SOURCE NEUFERT	33
FIGURE 49: SITUATION ET ACCESSIBILITE DE VILLE BISKRA ; SOURCE : AUTEUR, FOND DE CARTE GOOGLE MAP	52
FIGURE 50: LES TERRAINS LIBRES REPERES SOURCE : GOOGLE MAPS TRAITE PAR L'AUTEUR.....	53
FIGURE 52: L'ACCESSIBILITE DE TERRAIN/SOURCE : GOOGLE EARTH, LE POL AMENAGEMENT 2022, TRAITEE PAR L'AUTEUR.....	54
FIGURE 52: LA SITUATION DE TERRAIN/SOURCE : GOOGLE EARTH, TRAITEE PAR L'AUTEUR	54
FIGURE 53: LOCALISATION DU TERRAIN, SOURCE : GOOGLE EARTH, TRAITEE PAR L'AUTEUR	55
FIGURE 54: LES LIMITES DU TERRAIN. SOURCE : POS DE LA NOUVELLE AGGLOMERATION OUEST- BISKRA).....	55
FIGURE 55: LE TERRAIN EN 3D. SOURCE : AUTEUR	55
FIGURE 56 : LES PROJETS FONT PARTIE DU PORTFOLIO DU CONCOURS DUCH, COMPRENANT UNE LISTE DE PROJETS SELECTIONNES ET LEURS CABINETS D'ARCHITECTES RESPECTIFS, DONT QUELQUES-UNS (QAQI NOUR AL-DIN / BELMASOUD ABBAS).....	56
FIGURE 57: PROFILE DU TERRAIN /SOURCE : GOOGLE EARTH, TRAITEE PAR L'AUTEUR.....	56
FIGURE 58: LES POINTS FORTS ET FAIBLES AU TERRAIN SOURCE : GOOGLE EARTH, TRAITEE PAR L'AUTEUR.....	60
FIGURE 59: PLAN DE SITUATION.	70
FIGURE 60: PLAN DE MASSE 1/200.....	70
FIGURE 61: PLAN D'ASSEMBLAGE 1/100.....	71
FIGURE 62:: PLAN RDC 1/100	71
FIGURE 63: PLAN PARKING SOUS-SOL 1/100.....	71
FIGURE 64: PLAN 2EME ETAGE 1/100.....	72
FIGURE 65: PLAN 1ERE ETAGE 1/100.....	72
FIGURE 66: FAÇADE PRINCIPAL NORD-EST 1/100	72
FIGURE 67: FAÇADE NORD-OUEST 1/100.....	72
FIGURE 68 :FAÇADE SUD-EST 1/100.....	73
FIGURE 69/ : FAÇADE SUD-OUEST 1/100	73
FIGURE 70: COUPE A-A 1/100	73
FIGURE 71: COUPE B-B 1/100	73
FIGURE 72: RENDUS EXTERIEURS	74
FIGURE 73: PLAN DE MASS EN COULEUR	74
FIGURE 74: FAÇADES EN COULEUR.....	74
FIGURE 75: RENDUS INTERIEURS.....	74
FIGURE 76: DIFFERENTS VUES.....	75

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : DES EXEMPLES PRATIQUE DE L'INTEGRATION DE PUIT CANADIEN. FICHEREX_PUITSCANADIEN.PDF	16
TABLEAU 2: DONNEES CLIMATOLOGIQUE/SOURCE : (METEO BISKRA - METEOBLUE).....	20
TABLEAU 3: MATERIEL DE PROTOTYPE PUIT CANADIEN	25
TABLEAU 4: LA FICHE TECHNIQUE DES EXEMPLES.	34
TABLEAU 5: ANALYSE DES EXEMPLES.	35

TABLEAU 6: SYNTHESES D'ANALYSES.....	51
TABLEAU 8: DONNEES CLIMATOLOGIQUE/SOURCE : (METEO BISKRA - METEOBLUE).....	52
TABLEAU 9: ANALYSES SITE	57
TABLEAU 10: LES POINTS FORTS ET FAIBLES AU TERRAIN	59
TABLEAU 11: ELEMENTS DE PASSAGES.....	60
TABLEAU 12: PROGRAMME SURFACIQUE. SOURCE : AUTEURE.	64

Chapitre I : Introductif

Introduction

La réalisation du confort thermique intérieur tout en réduisant la consommation d'énergie dans les bâtiments constitue un objectif majeur dans la plupart des pays, et représente un défi particulier dans les climats désertiques. La consommation énergétique liée à la climatisation et à la ventilation continue d'augmenter, cependant, des études récentes indiquent qu'il est possible de réduire, voire de supprimer, l'utilisation des climatiseurs grâce à des techniques passives ou à faible consommation, et avec la croissance rapide de la population et l'essor des économies, ainsi que les préoccupations relatives à la sécurité énergétique et à la pollution, les chercheurs du monde entier cherchent à développer de nouveaux systèmes, marquant une transformation profonde dans les modes de production, de distribution et de consommation d'énergie, dans l'optique d'un avenir énergétique durable. Selon l'Agence internationale de l'énergie (2013), la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation représente environ un tiers de la demande totale d'énergie.

L'intensité énergétique des systèmes classiques de chauffage et de refroidissement, couplée à la hausse continue des prix des combustibles fossiles, a intensifié l'intérêt pour l'utilisation des systèmes passifs, qui permettent de réduire considérablement la demande énergétique.

Ces systèmes, reposant sur des sources d'énergie renouvelable, nécessitent peu d'énergie externe et présentent de faibles coûts d'exploitation et d'entretien, ce qui améliore leur efficacité énergétique et réduit les émissions de CO₂ (Santamouris M. , 2005). Parmi ces systèmes, on retrouve la cheminée solaire, la tour à vent, le mur Trombe/mur solaire, le refroidissement évaporatif, le refroidissement passif à courant descendant, la ventilation croisée, le refroidissement nocturne, le refroidissement par rayonnement nocturne, les matériaux à changement de phase (PCM), l'isolation thermique, et les systèmes de couplage géothermique (Mattheos & Dionysia , Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art, 2013).

La méthode de chauffage/refroidissement géothermique est connue depuis l'Antiquité. Dans cette méthode, le sol est utilisé comme source ou puits de chaleur. À une certaine profondeur, la température du sol reste pratiquement constante tout au long de l'année, équivalente à la température ambiante moyenne annuelle. Cette température constante est plus élevée que celle de l'air ambiant en hiver, et plus basse en été. Elle peut donc être exploitée efficacement pour des applications de chauffage et de refroidissement (Yanwei, Dan, Meijie, Zhuo, & Hongjie, 2022) (Santamouris M., 2005).

Bien que de nombreuses études se soient principalement concentrées sur l'éclairage dans les bâtiments administratifs, notre étude met l'accent sur un autre aspect tout aussi crucial : le refroidissement. Dans des régions chaudes comme la ville de Biskra, le contrôle de la température intérieure devient essentiel pour assurer le confort des usagers, réduire la consommation énergétique et améliorer la performance fonctionnelle du bâtiment.

Donc, l'émergence des systèmes de refroidissement intelligents dans les zones chaudes est une réponse nécessaire aux défis énergétiques contemporains. L'innovation dans les systèmes d'économie d'énergie, illustrée par des exemples comme le puits canadien, est essentielle pour développer des bâtiments durables et résilients face aux changements climatiques.

Problématique

Les systèmes de refroidissement intelligents en zones chaudes, est d'une importance cruciale dans le contexte actuel de changement climatique et de croissance urbaine rapide. Les bâtiments dans des régions arides comme Biskra sont souvent confrontés à des températures extrêmes, ce qui entraîne une demande accrue en énergie pour le refroidissement. L'intégration de systèmes de refroidissement intelligents, qui utilisent des capteurs et des technologies de gestion automatisée, pourrait offrir des solutions efficaces pour répondre à ces besoins tout en réduisant la consommation d'énergie et l'empreinte carbone.

Et puis il est essentiel d'examiner les impacts environnementaux associés à l'implémentation de ces systèmes. Par exemple, l'irrigation et l'augmentation de la végétation peuvent avoir des effets bénéfiques sur la température de surface locale, mais elles nécessitent également une gestion prudente des ressources en eau, particulièrement dans des régions où l'eau est déjà une ressource limitée .De plus, l'impact des aérosols et des particules sur le climat local doit être pris en compte, car ils peuvent

influencer les propriétés microphysiques des nuages et, par conséquent, les régimes de précipitations

En résumé, la mise en œuvre de systèmes de refroidissement intelligents, tels que le puits canadien, dans des bâtiments administratifs à Biskra pourrait offrir des avantages significatifs en matière de confort thermique et d'efficacité énergétique. Toutefois, une évaluation approfondie des impacts environnementaux et une gestion intégrée des ressources sont nécessaires pour garantir la durabilité de ces solutions dans un contexte de changement climatique et de pression sur les ressources naturelles.

- Comment peut-on développer un système d'échangeur thermique géothermique adapté spécifiquement au climat de Biskra ?
- Est-il possible d'adapter le puits canadien au climat chaud et aride de Biskra, et quel serait son apport en termes d'amélioration du confort thermique et de réduction de la consommation énergétique dans les bâtiments administratifs ?

Question de recherche

1. Le développement d'un échangeur thermique géothermique peut-il constituer une solution efficace et durable face au climat de Biskra ?
2. L'utilisation d'un puits canadien à Biskra permet-elle de réduire la consommation énergétique d'un bâtiment ?
3. Dans quelle mesure un puits canadien peut-il améliorer le confort thermique d'un bâtiment administratif à Biskra ?

Hypothèses

Les questions posées dans cette étude ont conduit à la formulation d'hypothèses, à la recherche de solutions innovantes pour le refroidissement et intégrez-le dans la conception architecturale. Visant à atteindre le confort thermique dans les bâtiments et à réduire la consommation d'énergie utilisée pour le refroidissement.

- Le puits canadien peut être efficace à Biskra s'il est bien conçu et intégré à une stratégie bioclimatique.
- Il est possible de réduire la consommation énergétique en réduisant ou limitant le recours à la climatisation.
- Intégrer-le dans un bâtiment administratif à Biskra peut améliorer le confort thermique en stabilisant les variations de température intérieure.

Objectifs

- Amélioration de l'efficacité du refroidissement et réduction de la consommation d'énergie électrique.
- Développer un système adapté au climat chaud de Biskra comme solution aux problèmes de confort thermique et de consommation énergétique dans les bâtiments administratifs.
- Évaluer la faisabilité et l'efficacité de l'intégration du puits canadien comme système de refroidissement passif dans le climat chaud et aride de Biskra, afin d'améliorer le confort thermique et de réduire la consommation énergétique, tout en assurant une approche durable et adaptée aux contraintes environnementales locales.
- Concevoir un bâtiment regroupant les fonctions administratives de base, vise à faciliter l'accès des usagers aux services et à réduire les besoins de transport.

Etat de l'art

Depuis l'Antiquité, l'homme a cherché à maîtriser le climat intérieur de ses habitations en exploitant les éléments naturels environnants. Des systèmes passifs tels que le "malqaf" (prise d'air orientée dans la direction du vent), la "moucharabieh" (élément filtrant en bois favorisant la ventilation tout en assurant l'intimité), ou encore les "tours à vent" (badguirs) utilisées en Perse ancienne, constituaient des stratégies ingénieuses pour rafraîchir les espaces intérieurs en climat chaud et aride. Ces solutions bioclimatiques traditionnelles reposaient essentiellement sur la ventilation naturelle, la gestion de l'ombre, et l'inertie thermique des matériaux locaux. Cependant, avec l'industrialisation et l'évolution de l'architecture vers des formes plus fermées et standardisées, ces systèmes ont été progressivement délaissés, au profit de dispositifs mécaniques gourmands en énergie.

C'est dans ce contexte d'urbanisation croissante, d'augmentation de la demande en climatisation, et de prise de conscience environnementale qu'est apparu le besoin de redécouvrir et moderniser les techniques de refroidissement passif. C'est ainsi que le "puits canadien" – également appelé échangeur air-sol – s'est imposé comme une solution pertinente alliant "technologie contemporaine et principes anciens". Il repose sur l'idée d'utiliser la température stable du sol pour "pré refroidir ou préchauffer l'air entrant", en le faisant circuler à travers des conduites enterrées à 2–3 mètres de profondeur la Fig. 1.

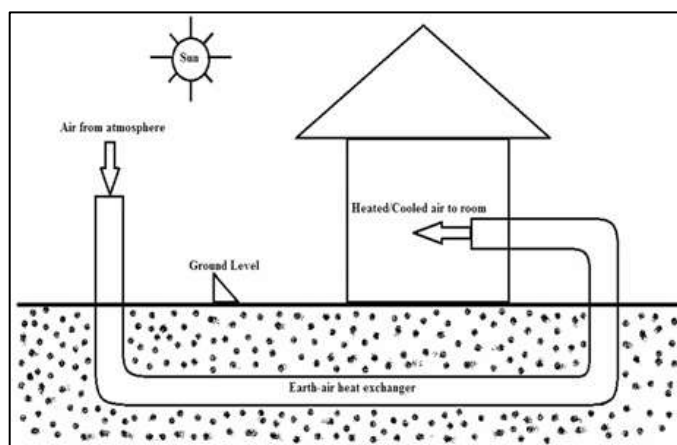


Figure 1 : Modèle unidimensionnel du système d'échangeur air-sol (EAHE). Source : [\[Geothermal Energy 2015-sep 12 vol. 3 iss. 1\] Bisoniya, Trilok Singh - Design of earth-air heat exchanger system \(2015\) \[10.1186_s40517-015-0036-2\] - libgen.li.pdf](#)

Le puits canadien, ou échangeur air-sol (EAHE), constitue une solution de climatisation passive exploitant la stabilité thermique du sol. Le système repose sur un réseau de tuyaux enterrés à 2–3 mètres de profondeur dans lequel circule de l'air extérieur. Grâce à la différence de température entre l'air et la paroi du tuyau, l'air y gagne ou perd de l'énergie, permettant ainsi un préchauffage en hiver et un refroidissement en été (Ramkishore, R.L, I.J, & V.V.N, 2018). Bien que ce principe soit utilisé depuis l'Antiquité, ce n'est qu'à partir des années 1990 que les recherches scientifiques structurées ont émergé. Les travaux fondateurs de (G, M, & D, 1994) ont démontré la constance de température du sol à certaines profondeurs, posant ainsi les bases des modèles thermiques. En parallèle, les études de (Mattheos & Dionysia, Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures : The state of the art., 2013) ont révélé que les EAHE pouvaient engendrer jusqu'à 70 % d'économies d'énergie par rapport à une climatisation conventionnelle, ce qui a renforcé leur intérêt en tant que systèmes passifs à faible consommation (uniquement un ventilateur). De nombreuses recherches théoriques et expérimentales ont suivi, comme celle de (Georgios & Soteris, 2007), qui ont développé des modèles de plus en plus précis allant du 1D au 3D pour simuler la dissipation thermique dans le sol. (Trilok, Anil, & Prashant, 2015) ont évalué la performance annuelle d'un EAHE à Bhopal sous climat chaud et sec, avec un modèle 3D validé par données expérimentales. Ils ont trouvé un rendement thermique total de 1290,53 kWh/an, avec un ROI de 1,29 an et une réduction des émissions de CO₂ de 101,3 tonnes. En parallèle, (Joaquim Vaz Miguel, Sattler Ruth da, Brum Elizaldo, & dos Santos Li'ercio, 2013) ont mené des essais en conditions réelles au Brésil, montrant un potentiel de refroidissement allant jusqu'à 4,2 °C selon la profondeur. (S, S, P, & N, 2013), quant à eux, ont observé que les performances d'un EAHE couplé à une serre en Thaïlande atteignaient un COP de

3,56 en été, indiquant une forte efficacité dans les zones tropicales. Dans les années 2000, le rapport de (Santamouris M., 2006) pour l'Agence Internationale de l'Énergie a confirmé des baisses de température de l'air atteignant 10 °C à la sortie des conduits. Néanmoins, les limites du système ont été soulignées : coût des travaux de terrassement, condensation, choix des matériaux. De plus le concept de l'utilisation du sol comme puits de chaleur a été utilisé plusieurs siècles avant notre ère. Par exemple, les architectes iraniens ont combiné les tours à vent et les échangeurs air-sol comme technique passive de contrôle de la température dans les maisons (Bahadori, 1978). Entre 2010 et 2020, les recherches se sont focalisées sur l'optimisation géométrique des tuyaux (formes spiralées, en grille ou multicouches) pour maximiser la compacité et le rendement (Agrawal, Rohit, & Das Ag, 2019). Plus récemment, (Giouli, et al., 2022) ont insisté sur des paramètres comme l'humidité du sol, l'usage de matériaux à haute conductivité thermique (acier, cuivre) et la configuration géométrique, qui peuvent accroître l'efficacité thermique de plus de 40 %.

Une recherche très prolifique, aussi bien expérimentale que théorique, a été menée sur l'utilisation des EAHE pour le rafraîchissement de l'air dans le bâtiment. (Mattheos & Dionysia, Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures : The state of the art, 2013) Ont réalisé une revue de littérature rapportant plus de 30 projets expérimentaux à travers le monde. Une de leurs conclusions majeures est la forte dépendance des performances à la nature du sol et au climat. (Soni, Pandey, & Bartaria, 2015) Confirment cela en soulignant que l'impact du sol dépasse celui du matériau du conduit. D'autres études comme celles de (Vaz, 2011) au Brésil ou de (Hollmuller, 2001) à Genève ont permis d'identifier les limites, notamment la saturation thermique et la discontinuité de l'écoulement d'air. Ces contraintes ont poussé les chercheurs à modéliser plus finement les échanges thermiques dans le sol avec des modèles 3D transitoires validés dans des outils comme TRNSYS (type 460), permettant de simuler l'interaction dynamique entre bâtiment et EAHE.

Depuis 2020, l'intégration de capteurs, de systèmes de contrôle automatisé et de couplages avec des énergies renouvelables comme la géothermie ou le solaire ont transformé le puits canadien en un système intelligent, hybride et durable, parfaitement adapté aux zones chaudes et arides, en cohérence avec les principes de l'architecture bioclimatique contemporaine.



Figure 2: Vue aérienne des maisons à refroidir par contact direct avec le sol. [BELLOUFI, Yousef.pdf](#)

Méthodologie

La méthodologie de recherche suit plusieurs étapes. Elle commence par étude conceptuelle liés au sujet (Deux partie théoriques et partie pratique), suivie une étude analytique des exemples et du site d'intervention permet d'élaborer le programme du bâtiment administratif, en respectant les normes de confort thermique et en tenant compte des contraintes du terrain. Enfin, des solutions intégrant le système de refroidissement puit canadien sont appliquées à la conception du bâtiment.

Structure de la recherche

Le mémoire est structuré en une introduction générale suivie de trois chapitres principaux :

- Chapitre I - Étude Conceptuelle : a été consacré au contrôle du cadre théorique, à travers des recherches documentaires, dans lesquelles nous nous sommes appuyés sur la présentation de tout ce qui Concepts théoriques pour notre thème qui est les systèmes de refroidissement intelligent adaptable aux climats chauds.

La structure du chapitre se compose de deux parties :

- Parties théoriques : portant respectivement sur les systèmes de refroidissement, les contraintes climatiques propres aux zones chaudes, ainsi que les technologies intelligentes intégrées, avec un accent particulier mis sur le puits canadien.
- Partie pratique : à caractère venant appuyer les fondements théoriques par des applications concrètes.
- Chapitre II - Étude Analytique : Cette phase comporte l'analyse du terrain, et contient dans son intégralité diverses analyses exemples de projet, ainsi qu'une réflexion sur l'application du thème dans le projet. Elle aboutit à un résumé du programme proposé.
- Chapitre III - Étude Appliquée : La partie pratique où les concepts précédemment étudiés sont appliqués à un bâtiment administratif multifonction, incluant une analyse des besoins thermiques, une modélisation, ainsi que l'interprétation des résultats obtenus.

Systèmes de refroidissements intelligents adaptable aux climats chauds

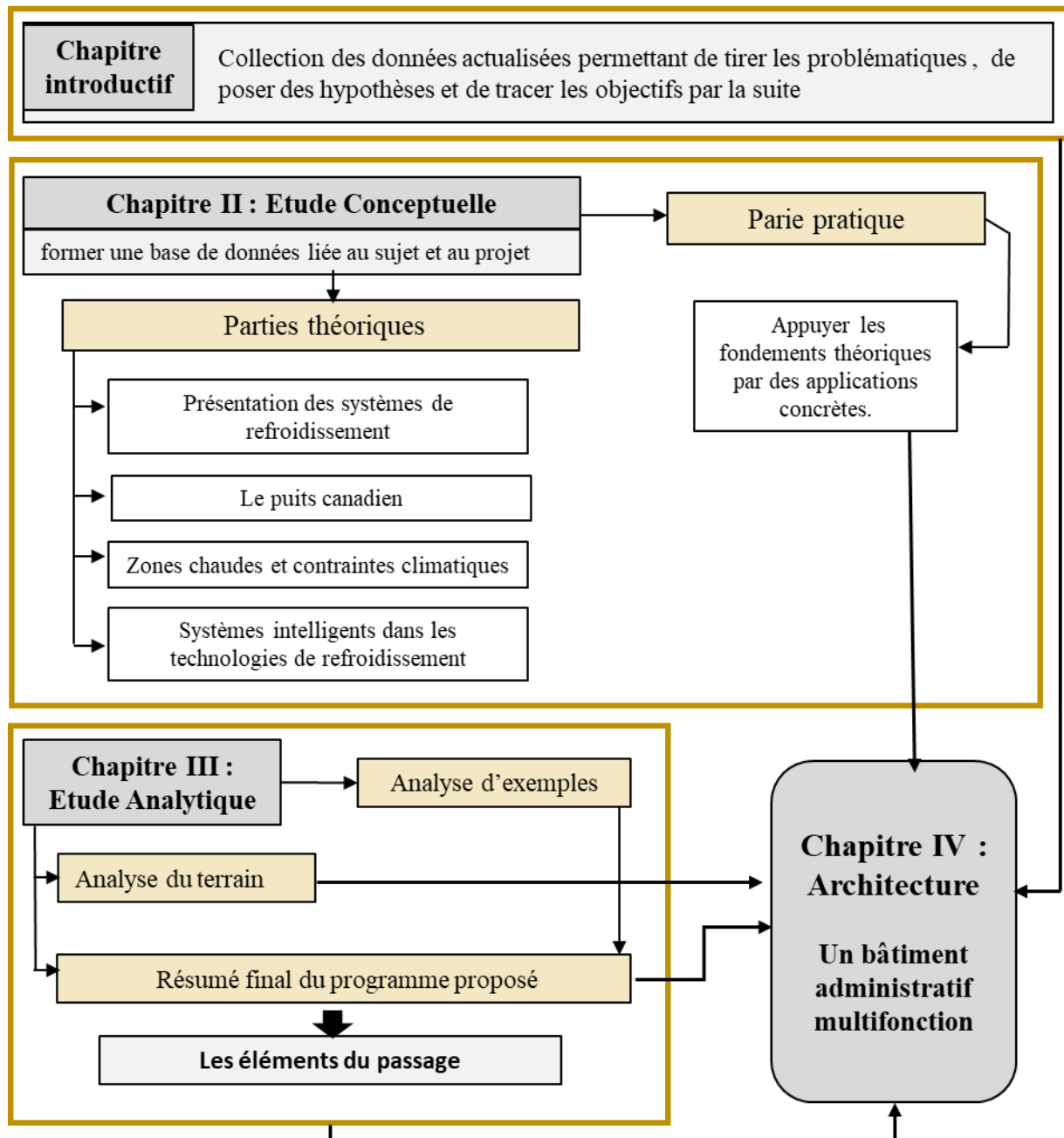


Figure 3 : Schéma de méthode

Conclusion

Face aux défis climatiques et énergétiques auxquels est confrontée la ville de Biskra, cette étude vise à évaluer l'efficacité du puits canadien en tant que solution de refroidissement passif et durable, adaptée aux bâtiments administratifs. En combinant approche théorique, analyse contextuelle et application pratique sur un projet réel, ce travail cherche à offrir une vision globale sur la possibilité d'intégrer ce système dans le contexte local. L'objectif étant de réduire la consommation énergétique, d'améliorer le confort thermique et de promouvoir des bâtiments plus durables et résilients face aux enjeux environnementaux futurs.

Chapitre II : Etude Conceptuelle

Introduction

Dans un contexte mondial marqué par l'augmentation des températures et la raréfaction des ressources énergétiques, les systèmes de refroidissement jouent un rôle essentiel dans la conception des bâtiments, en particulier dans les régions à climat chaud. Ces systèmes, qu'ils soient traditionnels ou modernes, contribuent non seulement au confort thermique des occupants, mais également à l'efficacité énergétique des structures architecturales.

Le présent chapitre explore les différents systèmes de refroidissement en mettant en lumière leurs principes de fonctionnement, leurs avantages et leurs limitations. Il s'attache également à examiner les évolutions technologiques et les approches innovantes, telles que les systèmes intelligents, qui répondent aux exigences croissantes en matière de durabilité et d'adaptabilité dans l'architecture contemporaine.

Présentation des systèmes de refroidissements

1.1 Introduction générale au refroidissement des bâtiments :

Le besoin en refroidissement des bâtiments est devenu un enjeu majeur dans le contexte actuel du réchauffement climatique et de l'urbanisation croissante. Dans les zones à climat chaud et sec, comme les régions sahariennes ou méditerranéennes, la demande énergétique liée à la climatisation représente une part importante de la consommation globale des bâtiments (Givoni, 1994).

Selon l'Institut International du Froid (IIF) (IIF, 2002), plus de 240 millions d'unités d'air conditionné et 110 millions de pompes à chaleur sont installées dans le monde. La même étude montre que les secteurs de la réfrigération et de l'air conditionné utilisent environ 15% de toute l'électricité consommée dans le monde (IIF, 2002). Les ventes annuelles d'équipements d'air approchent les 60 milliards \$ (IIF, 2002), conditionné ce qui correspond à presque 10% des ventes de l'industrie automobile dans le monde (Santamouris M, 2006).

Assurer un confort thermique adéquat est essentiel non seulement pour le bien-être des occupants, mais aussi pour la protection de la santé, l'amélioration de la productivité et la conservation des équipements sensibles.

1.2 Classification des systèmes de refroidissement :

Les stratégies de refroidissement se divisent généralement en deux grandes catégories : les systèmes actifs, comme les climatiseurs, qui consomment de l'énergie électrique, et les systèmes passifs, qui exploitent les conditions climatiques et les caractéristiques architecturales pour réduire la température intérieure. Ces derniers sont particulièrement pertinents dans une approche de conception bioclimatique, visant à réduire la dépendance aux énergies fossiles et à limiter les émissions de gaz à effet de serre.

1.2.1 Les systèmes de refroidissement actifs :

Les systèmes de refroidissement actifs sont des dispositifs mécaniques qui utilisent de l'énergie, généralement électrique ou thermique, pour extraire la chaleur des espaces intérieurs et assurer un confort thermique constant. Contrairement aux systèmes passifs, ces technologies offrent une performance contrôlée et sont largement utilisées dans les bâtiments modernes, notamment dans les zones climatiques extrêmes. Selon Belkadi, la demande en réfrigération et climatisation a considérablement augmenté, représentant environ 15 % de la demande énergétique globale, et cette demande est majoritairement satisfaite par des systèmes conventionnels. Ces systèmes, bien qu'efficaces, présentent des inconvénients environnementaux significatifs, notamment en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de consommation d'énergie (Belkadi & Smaili, 2015).

- **Climatiseurs et systèmes à compression :**

Les climatiseurs à compression sont les plus répandus. Ils fonctionnent par un cycle frigorifique basé sur la compression et la détente d'un fluide frigorigène. Ce système permet d'abaisser rapidement la température intérieure, mais il est souvent énergivore, ce qui soulève des préoccupations environnementales en lien avec les émissions de CO₂ et la dépendance à l'électricité.

- **Refroidissement mécanique par absorption :**

Le refroidissement par absorption utilise une source de chaleur, comme l'énergie solaire ou la chaleur résiduelle, au lieu d'électricité pour produire du froid. Ce système, basé sur un cycle thermochimique (souvent eau–bromure de lithium), est adapté aux climats chauds et permet de réduire la consommation électrique, bien qu'il soit moins efficace que les systèmes à compression (Herold, Radermacher, & Sanford A, 1996).

- **Systèmes hybrides (combinant passif et actif) :**

Les systèmes hybrides cherchent à combiner les avantages des approches passives (comme la ventilation naturelle, l'inertie thermique, ou le puits canadien) avec ceux des technologies actives. L'objectif est de maximiser l'efficacité énergétique tout en assurant un confort optimal. Cette approche intégrée permet une flexibilité accrue et s'inscrit dans une logique de conception durable, adaptée aux bâtiments intelligents et aux exigences environnementales modernes (Hugues & Potvin, 2008).

1.2.2 Les systèmes de refroidissement passifs :

Les systèmes de refroidissement passifs sont des techniques architecturales et environnementales visant à abaisser la température intérieure des bâtiments sans recourir à des dispositifs mécaniques ou énergivores comme la climatisation. Ils reposent sur des principes physiques naturels tels que la ventilation naturelle, l'évaporation, la convection et la conduction thermique. Ces systèmes permettent de maintenir un confort thermique tout en minimisant la consommation énergétique.

Ils représentent une solution durable et adaptée notamment dans les régions chaudes et arides, où les besoins en rafraîchissement sont élevés. Parmi les techniques les plus utilisées, on peut citer les puits canadiens, les tours à vent, les toitures ventilées, et l'utilisation stratégique des matériaux à forte inertie thermique.

Plusieurs études, notamment dans le contexte saharien algérien, ont démontré l'efficacité de ces systèmes dans l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments (Ben Cheikh & Bouchair, 2004).

- **Refroidissement naturel par ventilation**

La ventilation naturelle repose sur la circulation de l'air extérieur à travers les ouvertures du bâtiment (fenêtres, grilles, cheminées) afin de renouveler l'air intérieur et d'évacuer l'air chaud. Cette stratégie est particulièrement efficace lorsqu'elle est orientée selon les vents dominants (Ben aoun, 2019).

On distingue principalement deux types :

Ventilation traversante, qui favorise un flux d'air entre deux façades opposées Fig4 ;

Effet cheminée, où l'air chaud monte et s'échappe par les ouvertures supérieures, aspirant de l'air plus frais par les niveaux inférieurs Fig3.

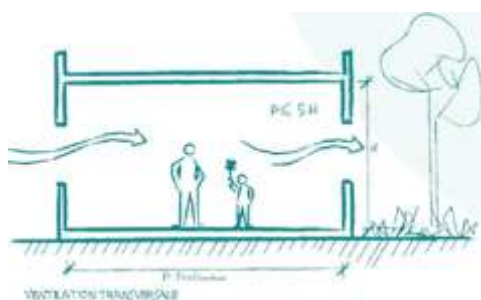


Figure 5: Ventilation mono-exposée ouverture double. Source : [ben_aoun_charafeddine.pdf](#)

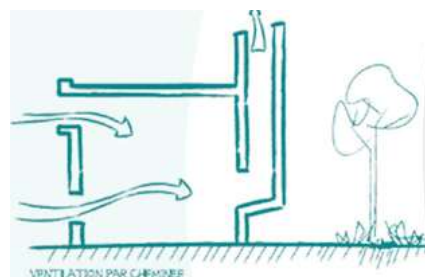


Figure 4 : Ventilation par cheminée. Source : [ben_aoun_charafeddine.pdf](#)

- **Façade ventilée**

La façade ventilée est reconnue comme une solution passive efficace visant à améliorer le comportement thermique des parois extérieures, contribuant ainsi à optimiser l'ambiance thermique intérieure des bâtiments tout en réduisant les besoins en énergie. Ce système repose sur le principe de la double peau, où un espace est aménagé entre la paroi du bâtiment et le bardage extérieur ajouté. Cette cavité d'air agit comme une zone tampon ventilée, mettant à profit le tirage thermique, aussi appelé *effet de cheminée*, pour favoriser le mouvement naturel de l'air.

Le type de ventilation dans cette cavité varie selon son mode d'activation : on distingue ainsi la ventilation naturelle, la ventilation mécanique et la ventilation hybride. En période estivale, notamment durant les journées chaudes, ce dispositif permet de limiter significativement les gains thermiques en évacuant la chaleur accumulée, surtout lorsqu'il est combiné à une isolation thermique performante (Sriti & Khadraoui, 2017).

- **Refroidissement par évaporation**

Ce procédé repose sur le principe selon lequel l'évaporation de l'eau absorbe de la chaleur, abaissant ainsi la température de l'air ambiant. Des techniques comme les bassins d'eau, les fontaines, ou

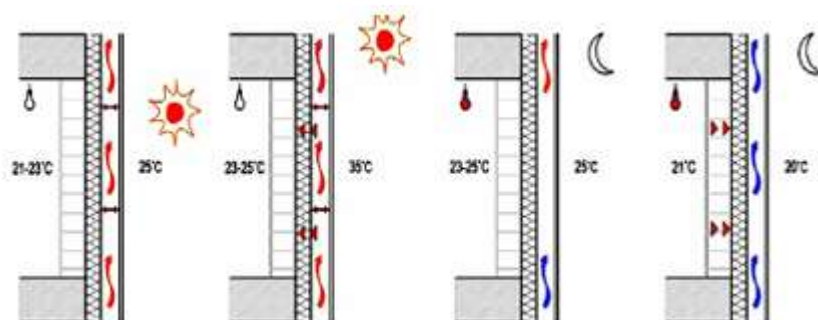


Figure 6: Fonctionnement thermique d'une façade ventilée durant une journée chaude.
Source : [étude-expérimentale-du-comportement-thermique-d'une-façade-ventilée-dans-un-climat-chaud-et-aride.pdf](#)

encore les murs humides sont utilisés.

Dans l'architecture traditionnelle, notamment dans les pays arides, l'eau est placée à proximité des ouvertures pour rafraîchir l'air entrant. Associée à la ventilation, l'évaporation devient une méthode efficace pour améliorer la qualité thermique intérieure.

- **Puits canadien (puits provençal)**

Le puits canadien, utilise la géothermie de surface pour réguler la température de l'air entrant dans un bâtiment. Il s'agit de faire circuler l'air entrant à travers des conduits enterrés à une profondeur de 1,5 à 2,5 mètres, où la température est plus stable. En été, l'air se rafraîchit naturellement avant de pénétrer dans le bâtiment. Moummi a mené une étude sur l'efficacité de cette technologie, démontrant que les performances d'un échangeur air/sol peuvent être optimisées en fonction des propriétés du sol et de la conception du conduit (Moummi, Benfatah, Hatraf, Moummi, & Youcef Ali, 2010).

Ce système est particulièrement adapté aux climats chauds et secs, notamment lorsqu'il est couplé à une ventilation contrôlée.

- **Inertie thermique et isolation**

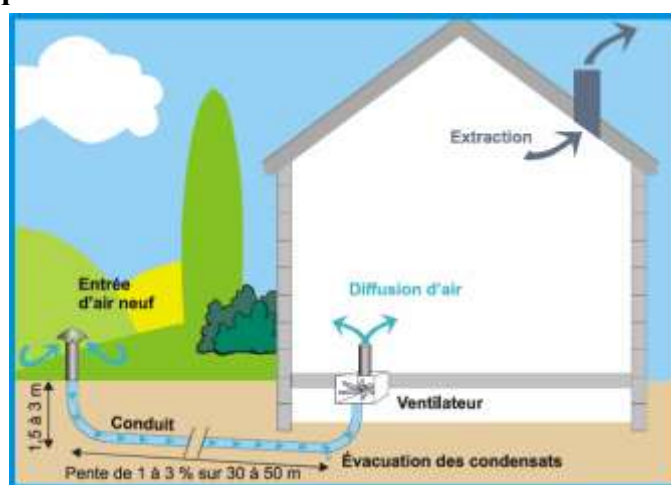


Figure 7: les composants d'un puits. Source : [guide_puits_canadiens.pdf](#)

L'inertie thermique désigne la capacité d'un matériau à emmagasiner la chaleur et à la restituer lentement. Elle joue un rôle essentiel dans le déphasage thermique, permettant aux bâtiments de rester frais durant la journée et de libérer la chaleur accumulée la nuit.

Les matériaux lourds comme le béton, la pierre ou la terre crue sont efficaces pour assurer une forte inertie.

Par ailleurs, une isolation thermique bien conçue limite les échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur, renforçant l'efficacité du refroidissement passif. L'isolation des toitures et des parois opaques est essentielle, notamment dans les régions à fort ensoleillement.

1.3 Focus sur le puits canadien :

1.3.1 Définition puits canadien

Un échangeur air-sol (appelé aussi puits provençal ou puits climatique) est un dispositif de **refroidissement passif** qui exploite la température relativement stable du sous-sol comme source d'énergie thermique, en utilisant l'air comme fluide caloporteur. Sa conception repose sur l'installation d'un conduit, généralement en métal ou en PVC, enterré à une profondeur comprise entre 1 et 4 mètres. Lorsque l'air circule à travers ce conduit souterrain, il échange de la chaleur avec le sol, ce qui permet de refroidir efficacement l'air avant son introduction dans les espaces intérieurs, notamment en période estivale (BELLOUFI, 2017).

On distingue deux types de configurations :

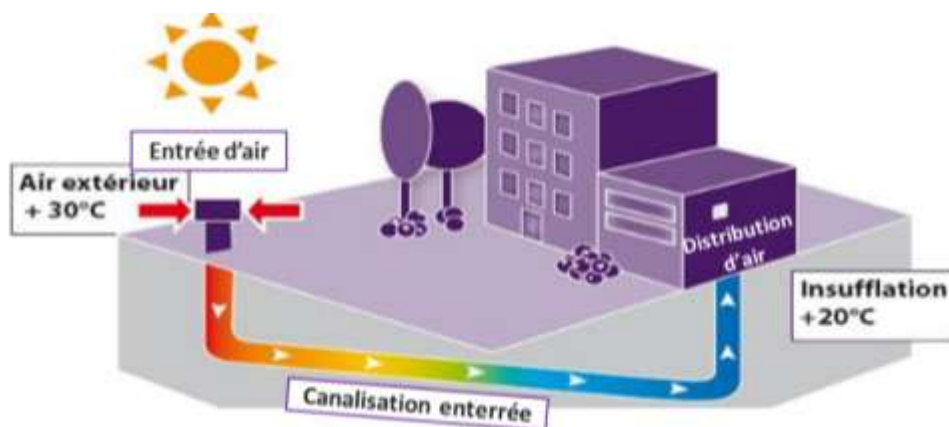


Figure 8: schéma représentatif du système. Source : [merge.pdf](#)

- Le **système à boucle ouverte**, où l'air est prélevé directement de l'extérieur puis dirigé dans les conduits avant d'entrer dans le bâtiment (voir fig. 8).

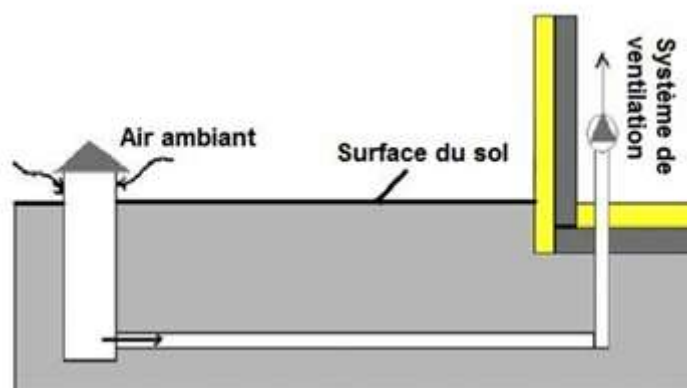


Figure 9: Echangeur air sol (système à boucle ouverte). Source : [BELLOUFI, Yousef.pdf](#)

- Le **système à boucle fermée**, dans lequel l'air est repris de l'intérieur du bâtiment, puis fait circuler dans les tubes pour être à nouveau injecté dans les locaux (voir fig.9).

L'usage de cette technique de refroidissement passif a démontré des bénéfices énergétiques considérables. Par ailleurs, les avancées récentes en matière de modélisation numérique ont permis d'affiner le **dimensionnement** du système en fonction de différentes conditions aux limites, garantissant ainsi une performance optimale.

1.3.2 Principe de fonctionnement du puits canadiens

Le puits canadien repose sur le principe de faire circuler l'air neuf extérieur à travers un réseau de conduits enterrés dans le sol. Grâce à l'échange thermique entre l'air et le sol, l'air est préchauffé en hiver et rafraîchi en été avant d'être introduit dans le bâtiment. À environ 2 mètres de profondeur, la température du sol reste relativement stable, variant généralement entre 17 °C en été et 4 °C en hiver, indépendamment des fluctuations climatiques de surface.

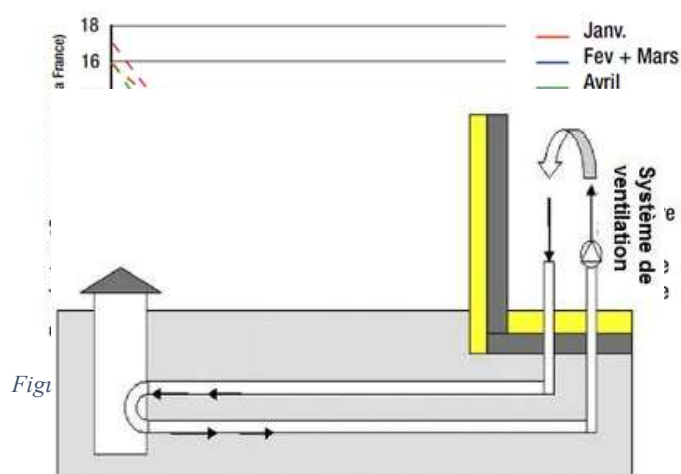


Figure 10; Echangeur air sol (système à boucle fermée). Source : [BELLOUFI, Yousef.pdf](#)

Ce processus permet d'améliorer la qualité de l'air intérieur tout en assurant un confort thermique naturel, avec un air plus chaud en hiver et plus frais en été.

La conductivité thermique d'un sol dépend non seulement de sa composition mais également de la disposition et de la forme de ses particules constitutives, des liaisons entre ces particules ainsi que de sa teneur en eau. Le sol sera d'autant plus conducteur de chaleur qu'il sera humide. La conductivité thermique d'un sol peut donc varier dans le temps, notamment en fonction des évolutions de sa teneur en eau dues aux variations climatiques et au changement de saison.

La figure suivante montre la conductivité thermique de différents types de sols en fonction de leur teneur en eau :

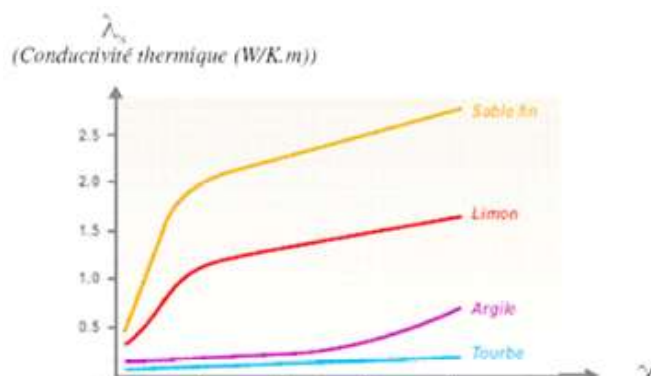


Figure 12: Propriété thermique des principaux constituants d'un sol. Source : [guide puits canadiens.pdf](#)

1.3.3 Dimensionnement et mise en œuvre

La performance thermique de ce type de système dépend de plusieurs paramètres : la température initiale de l'air, les propriétés thermiques du sol et du matériau du tube, la vitesse d'écoulement de l'air, la géométrie du conduit ainsi que sa profondeur d'enfouissement.

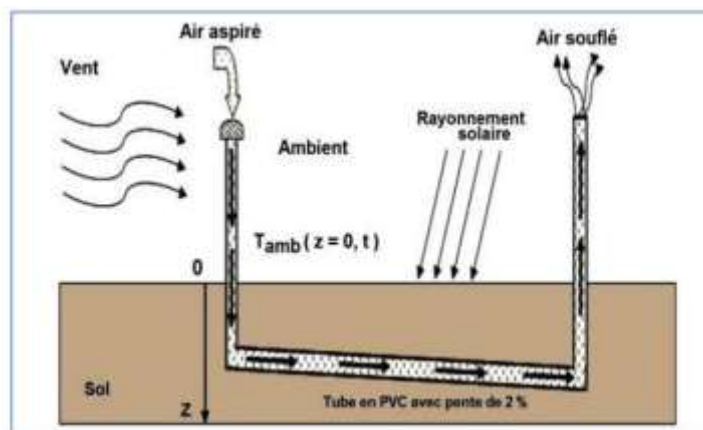


Figure 13: Schéma de puits canadien. Source : [tercha_hocine.pdf](#)

1.3.3.1 Prise d'air neuf

Le premier élément du système est l'entrée d'air neuf, généralement sous la forme d'une colonne cylindrique ou carrée. Placée au-dessus du sol, elle permet l'admission de l'air extérieur dans le réseau. Ses dimensions dépendent de celles des conduits du système. L'entrée d'air doit être suffisamment haute, avec une hauteur minimale de 1,20 m, afin d'éviter l'infiltration de contaminants comme l'eau stagnante. Un chapeau de protection est souvent ajouté pour empêcher l'entrée d'insectes et de débris, assurant ainsi un flux d'air propre et ininterrompu.

Parmi les matériaux utilisés dans la fabrication : L'acier inoxydable, l'acier galvanisé et le béton pour le tertiaire ; le béton, le polyéthylène, le polypropylène ou le PCV pour le résident individuel.



Figure 14: La prise d'entrée de l'air neuf. Source : [tercha_hocine.pdf](#)

1.3.3.2 Échangeur géothermique (conduit)

Les tubes du système jouent un rôle clé dans l'échange thermique entre la terre et l'air avant d'alimenter le bâtiment. Leurs caractéristiques essentielles incluent le diamètre, la longueur et le matériau, qui est choisi en fonction des contraintes mécaniques et des performances thermiques recherchées.

Matériaux courants :

- Secteur tertiaire : polypropylène, acier galvanisé, béton, grès vitrifié.
- Résidentiel : polyéthylène, polypropylène, gaines PTC, PVC, terre cuite.

Installation et dimensionnement :

- L'échangeur doit être éloigné de la dalle pour éviter les pertes thermiques.
- Profondeur : 4-6 m pour le tertiaire, 1-2 m pour le résidentiel.
- Inclinaison : 2-3 % pour évacuer les condensats.
- Le nombre et le diamètre des tubes déterminent la section totale disponible pour la circulation de l'air, ce qui influence à la fois la vitesse de l'écoulement et la surface d'échange thermique avec le sol. Les tubes de petit diamètre offrent de meilleures performances thermiques, mais engendrent des pertes de pression plus importantes (M & A, 2003). Pour éviter ces pertes, la vitesse de l'air dans les conduits ne doit pas dépasser 3 m/s. Bien que la qualité de l'échange thermique varie peu avec le diamètre, un compromis efficace entre débit et performance est atteint avec des diamètres compris entre 15 et 25 cm. Le débit d'air optimal dépend du mode de fonctionnement : il est plus faible en hiver (préchauffage) et plus élevé en été.

(rafraîchissement). En cas de débits importants, il est nécessaire d'augmenter la longueur des tubes pour maintenir un échange efficace.

- **Longueur optimale :** La longueur des tubes du puits canadien détermine la surface d'échange et le temps de séjour de l'air dans les tubes. Il a été démontré par plusieurs études qu'en dessous de 25 mètres de longueur, le puits canadien ne permet pas d'obtenir une température de sortie proche de celle du sol, car le rendement de l'échange est moyen. En revanche au-delà de 40 mètres le rendement n'augmente plus de manière significative. Il est préférable d'employer plusieurs tubes de longueur raisonnable (20 m à 40 m) plutôt qu'un tube de longueur importante (Stéphane & Bruno, 2008).

Configurations des tubes :



Figure 15: des photos réelles d'installation puits canadien. [PuitsCanadienFede2019.pdf](#)

Il existe quatre configurations principales pour positionner l'échangeur, adaptées aux contraintes du site et aux performances souhaitées.

1.3.3.3 Système d'évacuation des condensats

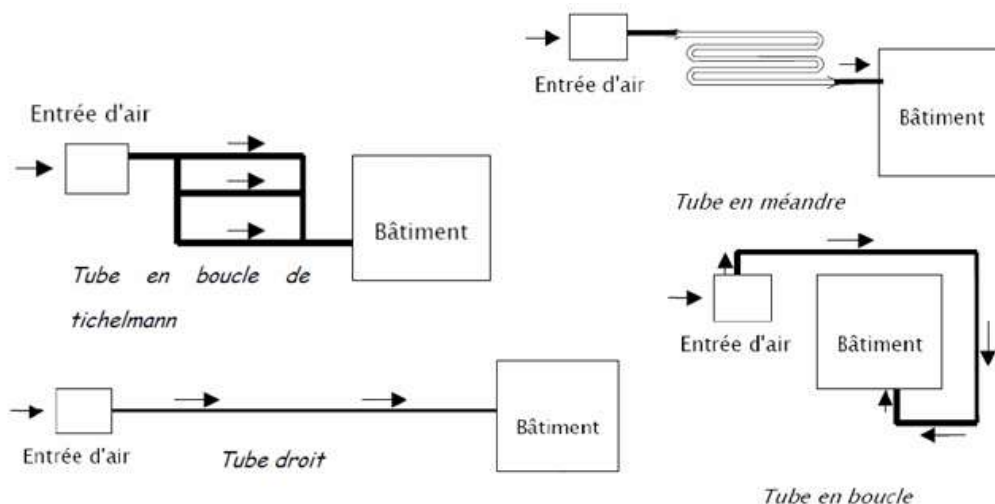


Figure 16 : Présentation des différentes configurations fréquemment utilisées pour les puits source : [guide_puits_canadiens.pdf](#)

Lorsque l'air chaud entre en contact avec des surfaces froides ou inversement, un phénomène de condensation se produit à l'intérieur des conduits. Il est donc essentiel de mettre en place un système d'évacuation des condensats pour éviter leur accumulation. Trois solutions principales existent :

1. Bâtiment avec sous-sol :

- Le point bas de l'installation est situé au niveau du sous-sol.
- Les condensats sont récupérés grâce à une pente de 2 à 3 %.
- Un siphon raccordé au réseau d'évacuation des eaux usées assure leur drainage.

2. Sol imperméable et topographie adaptée :

- Un filtre est installé au point bas du système pour évacuer les condensats naturellement.

3. Sol non drainant ou risque de remontée d'eau :

- Une fosse est aménagée au point bas du système.
- Une pompe est installée pour évacuer l'eau vers le réseau d'eaux usées.

Ces solutions garantissent une évacuation efficace des condensats et assurent le bon fonctionnement du système.

1.3.3.4 Température de sortie

La température de sortie de l'air dans un puits canadien dépend directement de celle du sol, qui devient plus stable en profondeur. Ainsi, un enfouissement suffisant permet de mieux exploiter l'inertie thermique du sol. De plus, tant que le débit d'air reste modéré et que l'échangeur est constitué d'un seul tube, le type de sol n'influence que très faiblement la performance du système. (Woodson, Coulibaly, & Traoré, 2013) une étude de cas menée au Burkina Faso a permis d'analyser le gradient thermique du sol ainsi que les performances des échangeurs air-sol (EAHX). Des essais ont été réalisés à différentes profondeurs d'enfouissement (0,5 m, 1,0 m et 1,5 m). Il a été observé qu'un conduit de 25 mètres de long, enterré à 1,5 m de profondeur et associé à un ventilateur d'un débit de 95 m³/h, permettait une réduction d'environ 7,6 °C de la température extérieure. Par ailleurs, la température du sol est restée relativement basse, même lorsque la température extérieure atteignait ses valeurs maximales.

1.3.3.5 Ventilateur

Le système de puits canadien nécessite l'intégration d'un ventilateur pour assurer un apport suffisant d'air neuf, dimensionné en fonction des débits réglementaires. Deux configurations sont possibles :

1. Ventilateur en entrée du puits :

- Le conduit est en **surpression**, ce qui éloigne le bruit du ventilateur des occupants.
- Cette configuration réduit le risque d'intrusion de polluants du sol, ce qui la rend plus intéressante d'un point de vue sanitaire.
- Cependant, elle est peu utilisée car elle nécessite généralement **deux ventilateurs**.

2. Ventilateur en sortie du puits :

- Le conduit est en **dépression**, et le ventilateur peut être le même que celui utilisé pour la **VMC double flux**.
- Cette solution est la plus couramment adoptée car elle ne requiert qu'un **seul ventilateur**, réduisant ainsi les coûts et la complexité d'installation.

Le choix de la configuration dépend des besoins en ventilation et des contraintes du projet.

1.3.4 Placement conception des puits canadien

L'emplacement du puits canadien dépend de l'espace disponible autour du bâtiment. Plusieurs options sont envisageables :

- Jardins
- Voiries
- Sous la construction
- Aires de stationnement
- Aires de jeux

Cependant, le meilleur emplacement est celui qui permet une exploitation optimale du rayonnement solaire, car cela améliore les performances thermiques du système en facilitant l'échange de chaleur avec le sol.

1.3.5 Eléments de conception

Pour une conception performante d'un puits canadien il y'a 6 points essentiels à vérifier

- Nature du sol
- Profondeur des conduits
- Situation (localisation) géographique
- Disponibilité de surface pour l'enfouissement du conduit et coût
- Type de bâtiment et ventilation hygiénique

- Besoins en chauffage et refroidissement

1.3.6 Avantages et limites du puits canadien

Le puits canadien est une solution efficace pour la gestion thermique des bâtiments, offrant des économies d'énergie en réduisant le recours à la climatisation et au chauffage. Il améliore également la qualité de l'air intérieur en filtrant naturellement l'air extérieur et constitue une alternative écologique, utilisant la chaleur du sol comme ressource renouvelable. Cependant, il présente certaines limites, notamment le risque de pollution de l'air, le coût élevé des études préalables et une efficacité variable selon les conditions climatiques. Malgré ces défis, il reste une option durable et performante lorsqu'il est bien conçu et installé.

1.3.7 Des exemples pratique de l'intégration de puits canadien

Le puits canadien ou puits climatique est une technique très utilisée dans le sud de la France. C'est un système qui a fait son apparition assez massivement dans l'ensemble des autres régions françaises en 2003 suite à la canicule. Les concepteurs cherchaient à l'époque une solution innovante pour rafraîchir les bâtiments sans ajout de climatisation, système érogivore.

Voici les retours d'expériences sur 4 puits canadiens installés en Lorraine :

ESPACE YVES COPPENS À VANDOEUVRE-LÈS- NANCY (54)	ECOLE PÉRISCOLAIRE À CUTRY (54)	CONSEIL DÉPARTEMENTAL À EPINAL (88)	CITÉ DE L'ARTISANAT ET DE L'ENTREPRISE À EPINAL (88)
Type de bâtiment : Culturel Maître d'ouvrage : Commune de Vandœuvre- lès-Nancy Architecte : Patrice LEDUC (54) BET: Eole (54) Entreprise : C.P.I.S. (88) Livraison : 2010 Performance énergétique : Niveau BBC	Type de bâtiment : Enseignement Maître d'ouvrage : Commune de Cutry Architecte : Husser Architecte (67) BET : R.2.A (57) Entreprise : Lorry (57) Livraison : 2014 Performance énergétique : Niveau passif	Type de bâtiment : Bureaux Maître d'ouvrage : Conseil Départemental des Vosges Architecte : Lucien COLIN (54), Dominique HENRIET (75) BET : BECSI EIC (54) et ADAM (88) Entreprise : AEP (88) Livraison : 2010 Performance énergétique : Niveau passif	Type de bâtiment : Bureaux Maître d'ouvrage : Chambre des Métiers et de l'Artisanat des Vosges Architecte : ASP Architecture (88) BET : IOSIS GRAND EST (54) Entreprise : Imhoff (88) Livraison : 2011 Performance énergétique : Niveau BBC
			

Tableau 1 : Des exemples pratique de l'intégration de puits canadien. [ficherex_puitscanadien.pdf](#)

Dans la plupart des projets, il est évident que la température de sortie des tubes est assez basse et contribue grandement à satisfaire les besoins de refroidissement des bâtiments.

❖ Bâtiment universitaire

La figure 18 présente les températures ambiantes minimale et maximale ainsi que la température de sortie d'un échangeur air-sol installé à l'Université de Ioannina, en Grèce. La longueur des conduits était d'environ 30 mètres et ceux-ci étaient enterrés à une profondeur d'environ 3 mètres. Le suivi a été réalisé durant la période estivale, et la figure 18 montre les données relevées pendant 31 jours consécutifs au mois de juillet. Comme le montre la figure, la baisse maximale de température obtenue à la sortie des conduits a atteint près de 10 °C par rapport à la température ambiante maximale (Santamouris M., 2006).

❖ Entrepôt de papier

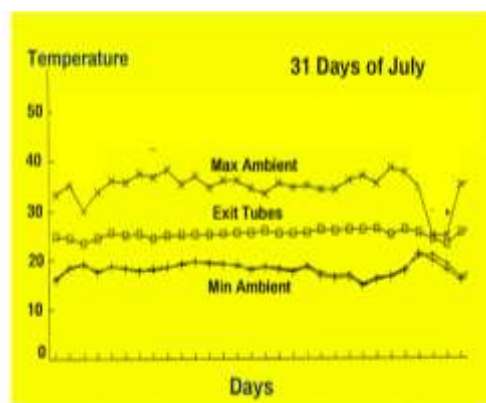


Figure 17: : Performance des échangeurs de chaleur air-sol à l'Université de Ioannina

Le bâtiment Aggelidis est un entrepôt de papier situé sur un terrain de 10 900 m², à 21 km du centre d'Athènes, le long de l'autoroute Athènes-Thessalonique. Il se compose de trois niveaux :

- Un sous-sol où se trouvent le parking et les équipements mécaniques centraux,
- Un rez-de-chaussée dédié à la salle principale de stockage et aux plateformes de levage,
- Un premier étage abritant un espace de stockage pour les produits spéciaux, une plateforme et des bureaux (voir Figures 19 et 20).

Le bâtiment utilise des techniques d'économie d'énergie telles que :

- Des échangeurs de chaleur air-sol,
- Un bardage pare-soleil et pare-vent,
- Des pompes à chaleur de type VRV (Volume de Réfrigérant Variable), combinés à de simples ventilateurs de plafond pour la climatisation dans les bureaux.

L'échangeur de chaleur air-sol est constitué de deux tubes de 0,315 m de diamètre, enterrés à une profondeur de 2 m autour du bâtiment. Chaque tube mesure 50 m de long. Ils sont conçus pour fournir un débit d'air de 4500 m³/h (avec une vitesse de l'air de 8 m/s).

Le bâtiment est surveillé depuis novembre 2004 afin d'évaluer l'efficacité des techniques d'économie d'énergie utilisées.

Le bâtiment utilise des techniques d'économie d'énergie telles que les échangeurs air-sol, des protections solaires et pare-vent en façade, ainsi que des pompes à chaleur de type VRV (Volume de Réfrigérant Variable), combinées à de simples ventilateurs de plafond pour la climatisation des bureaux.

L'échangeur air-sol est constitué de deux tubes de 0,315 m de diamètre, enterrés à 2 m de profondeur autour du bâtiment. La longueur de chaque tube est de 50 mètres. Ils sont conçus pour fournir un débit d'air de 4500 m³/h (vitesse de l'air égale à 8 m/s). Le bâtiment est suivi depuis novembre 2004 afin d'évaluer l'efficacité des techniques d'économie d'énergie mises en œuvre (Santamouris M., 2006).



Figure 19: Vue extérieure du bâtiment de l'entrepôt de papier Aggelidis. Source: [Use of Earth to Air Heat Exchangers for Cooling.pdf](#)



Figure 18: Point d'entrée de l'air provenant du tube géothermique dans le bâtiment. Source : [Use of Earth to Air Heat Exchangers for Cooling.pdf](#)

La température moyenne journalière maximale à l'entrée et à la sortie de l'un des échangeurs de chaleur air-sol est présentée dans la Figure 10. Comme le montre la figure, la baisse moyenne de température à la sortie de l'échangeur est proche de 5 °C. L'utilisation des échangeurs de chaleur air-sol a permis de maintenir la température intérieure dans les niveaux de confort sans recourir à la climatisation.

La Figure 11 montre la répartition de la température intérieure dans l'entrepôt pendant la période estivale.

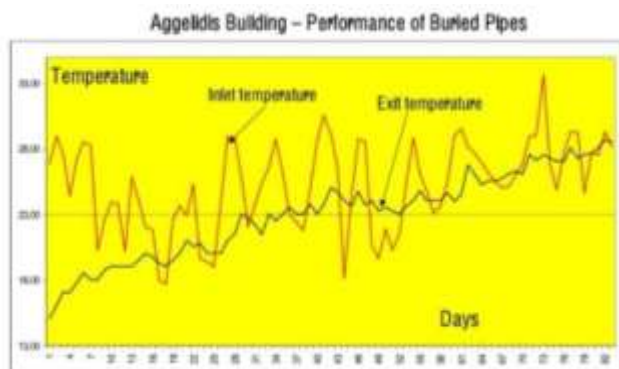


Figure 20: Températures à l'entrée et à la sortie de l'un des échangeurs de chaleur pendant la période estivale. Source : [Use of Earth to Air Heat Exchangers for Cooling.pdf](#)

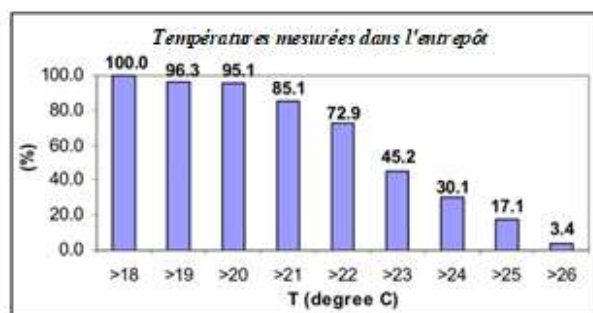


Figure 21: Répartition des températures intérieures dans l'entrepôt pendant la période estivale. Source: [Use of Earth to Air Heat Exchangers for Cooling.pdf](#)

❖ Bureau commercial, Kelowna (Colombie-Britannique)

Ce bureau commercial nouvellement construit comprend 601 m² de nouveaux locaux pour le personnel municipal – y compris des vestiaires, des cuisines ou cantines, des salles de conférence ainsi que des espaces de bureaux. Le système de tubes souterrains fournit un air d'appoint tempéré à l'ensemble du bâtiment.



Figure 22: Tube préfabriqué d'un diamètre de 750 mm Source : [FR-Étudedecas5.pdf](#)

Description du système

Le système de tubes souterrains fournit 100 % d'air extérieur tempéré à un système d'air d'appoint desservant le bâtiment. Le système comprend un tube de béton préfabriqué d'un diamètre de 750 mm qui contourne l'extérieur des murs de fondation sous un remblayage de 3,3 à 3,6 mètres. Voir Figures 23, 24 et 25.

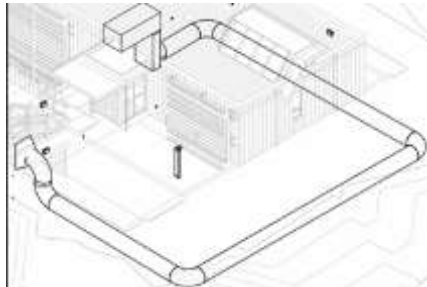


Figure 23: Modèle du système de tubes souterrains.

Source : [FR-Étudedecas5.pdf](#)

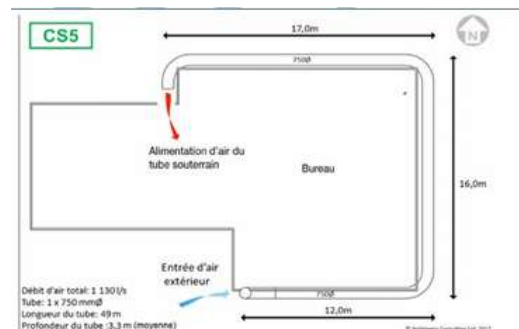


Figure 24: Configuration des tubes. Source : [FR-Étudedecas5.pdf](#)

Le système d'air d'appoint fournit de l'air tempéré aux sorties de rejet autour du bâtiment et équilibre l'air évacué absorbé par le système de toilettes à compostage – une des nombreuses initiatives écologiques du bâtiment. Le système a fait l'objet d'une surveillance et les données enregistrées en 2015 comprennent la température de l'air du tube souterrain (TATS) et la température de l'air extérieur (TAE) (FICHE TECHNIQUE DE L'ÉTUDE DE CAS, Étude de cas 5 – Bureau commercial, Kelowna, 2021).

Données techniques pour les tubes souterrains	
Nombre de tubes	1
Profondeur des tubes	3,0 à 3,6 m
Longueur des tubes	49,0 m
Diamètre intérieur des tubes	750 mm
Matériau	Béton préfabriqué
Débit d'air (l/s)	1 130 l/s au total
Type de bâtiment	Bureau commercial
Emplacement géographique	Kelowna (Canada)
Chauffage maximal delta T ¹	10 °C
Refroidissement maximal delta T	-7 °C
Distance entre les tubes	5,0 m

Figure 26: Les données techniques Source : [FR-Étudedecas5.pdf](#)

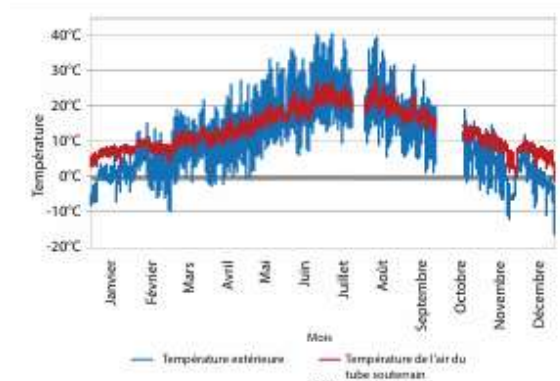


Figure 25 : Performance énergétique du système, 2015.
Source : [FR-Étudedecas5.pdf](#)

Zones chaudes et contraintes climatiques

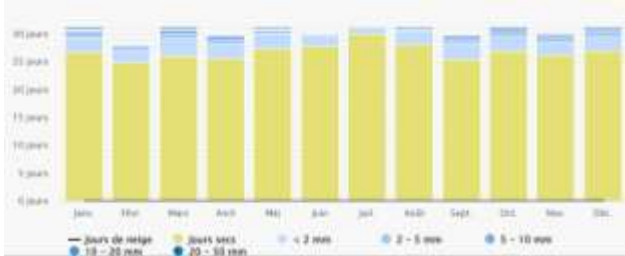
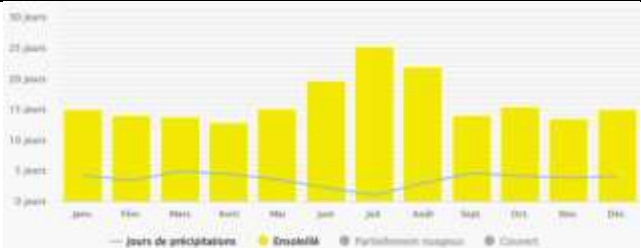
Les zones chaudes du globe se caractérisent par des conditions climatiques extrêmes qui posent de nombreux défis à la conception et à la construction architecturale. Avec des températures élevées, une forte radiation solaire et, dans certains cas, une faible humidité, ces environnements nécessitent des solutions innovantes pour garantir le confort thermique des occupants tout en limitant la consommation énergétique.

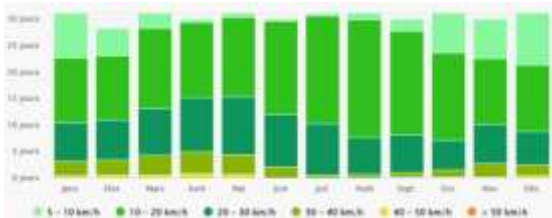
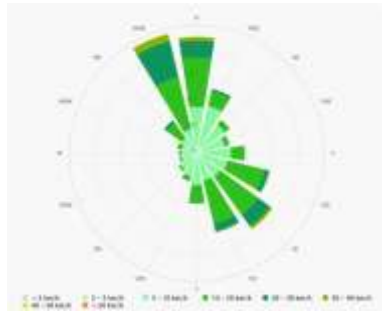
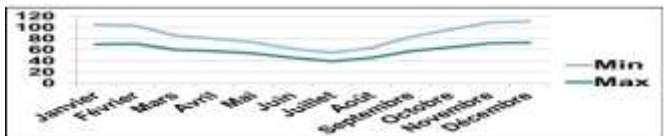
Ce chapitre examine les spécificités climatiques de zone Biskra et leurs impacts sur les stratégies de conception architecturale. Il met en lumière les contraintes liées aux besoins en refroidissement, à la gestion des ressources naturelles, et aux exigences de durabilité. L'objectif est d'identifier les éléments clés qui influencent le choix des solutions techniques et des systèmes de refroidissement adaptés à ces environnements exigeants.

1.4 Analyse des caractéristiques des zones chaudes (Biskra)

Biskra, située au nord-est de l'Algérie en bordure du désert du Sahara, est caractérisée par un climat désertique chaud (classification BWh de Köppen). Cette région est l'une des plus chaudes du pays, avec des étés longs et extrêmement chauds et des hivers doux.

Tableau 2: données climatologique/source : (Météo Biskra - meteoblue).

	Observations	Graphes
La température	Le climat de Biskra est de type désertique subtropical, caractérisé par des hivers doux avec des nuits parfois froides, et des étés extrêmement chauds et ensoleillés. Synthèse : La température du mois le plus froid (janvier) est de 17 °C, celle du mois le plus chaud (juillet) est de 41 °C. Voici les températures maximums.	 Figure 27 : la température minimale et maximale de la ville de Biskra, Source : (Météo Biskra - meteoblue).
Précipitation	Le diagramme de la précipitation pour Biskra indique depuis combien de jours par mois, une certaine quantité de précipitations est atteinte. Dans les pluies tropicales et la mousson peut être sous-estimée. Synthèse : Les précipitations annuelles s'élèvent à 155 mm, ce qui correspond au niveau des régions désertiques. Le mois le moins pluvieux est juil. Avec seulement 2 mm de précipitations.	 Figure 28: la précipitation de la ville de Biskra, Source : (Météo Biskra - meteoblue).
Ensoleillement	Un climat ensoleillé, avec un grand nombre de journées ensoleillées tout au long de l'année. Elle est caractérisée par des étés chauds et secs, et des hivers modérés. En général, la majorité des jours sont ensoleillés, avec quelques journées nuageuses pendant la saison hivernale. Synthèse : Il est essentiel de maximiser l'utilisation de la lumière naturelle tout en prenant des mesures pour se protéger des rayons directs, notamment pendant les mois les plus chauds.	 Figure 29: Ensoleillement par mois, Biskra (Météo Biskra - meteoblue).

Les vents	Le vent à Biskra est principalement sec et chaud, soufflant fréquemment du sud, notamment en été. Il est souvent associé à des conditions de chaleur extrême et de poussière, impactant la visibilité et la qualité de l'air. Ce phénomène est particulièrement marqué par le vent du “Khamsin”, qui peut rendre les journées très désagréables, surtout pendant la saison chaude. Synthèse : Les vents à Biskra sont principalement influencés par la proximité du désert. En général, les vents soufflent du sud et du sud-est (vents sahariens), particulièrement en été, apportant chaleur et sécheresse. En hiver, des vents peuvent souffler du nord ou du nord-ouest, plus frais et moins intenses. Ces vents ont un impact significatif sur le climat local et la qualité de l’air.	 Figure 30: Le diagramme de Biskra montre les jours par mois (Météo Biskra - meteoblue).  Figure 31: La Rose des Vents pour Biskra (été, hiver) (Météo Biskra - meteoblue).																																																				
L'humidité	Biskra se caractérise par un faible niveau d'humidité tout au long de l'année en raison de son climat désertique sec. L'humidité relative est souvent très basse pendant les mois d'été, atteignant parfois moins de 20 %, ce qui accentue la sensation de chaleur sèche. En hiver, l'humidité est relativement plus élevée, notamment pendant les périodes de pluie, mais elle reste modérée par rapport aux régions humides, se situant généralement entre 40 % et 60 %. Synthèse : Ce faible niveau d'humidité entraîne une atmosphère sèche, impactant le confort des habitants et favorisant une évaporation rapide de l'eau.	<table><tr><th>MOIS</th><th>J</th><th>F</th><th>M</th><th>A</th><th>M</th><th>J</th><th>J</th><th>A</th><th>S</th><th>O</th><th>N</th><th>D</th></tr><tr><td>Humidité Rel. Max</td><td>79.1</td><td>69.5</td><td>63.8</td><td>52.7</td><td>51.8</td><td>46.2</td><td>41.5</td><td>46.3</td><td>58.6</td><td>64.9</td><td>73.3</td><td>79.3</td></tr><tr><td>Humidité Rel. Min</td><td>39.0</td><td>29.4</td><td>24.9</td><td>20.7</td><td>20.6</td><td>17.6</td><td>16.0</td><td>17.8</td><td>25.7</td><td>29.8</td><td>36.1</td><td>40.3</td></tr><tr><td>Humidité Rel. Moy</td><td>59.3</td><td>47.9</td><td>41.9</td><td>38.1</td><td>35.1</td><td>28.8</td><td>26.0</td><td>29.6</td><td>39.6</td><td>46.5</td><td>53.5</td><td>60.8</td></tr></table>  Figure 32 : L'humidité minimale et maximale de la ville de Biskra Source : (wilaya-Biskra.gov.dz)	MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Humidité Rel. Max	79.1	69.5	63.8	52.7	51.8	46.2	41.5	46.3	58.6	64.9	73.3	79.3	Humidité Rel. Min	39.0	29.4	24.9	20.7	20.6	17.6	16.0	17.8	25.7	29.8	36.1	40.3	Humidité Rel. Moy	59.3	47.9	41.9	38.1	35.1	28.8	26.0	29.6	39.6	46.5	53.5	60.8
MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D																																										
Humidité Rel. Max	79.1	69.5	63.8	52.7	51.8	46.2	41.5	46.3	58.6	64.9	73.3	79.3																																										
Humidité Rel. Min	39.0	29.4	24.9	20.7	20.6	17.6	16.0	17.8	25.7	29.8	36.1	40.3																																										
Humidité Rel. Moy	59.3	47.9	41.9	38.1	35.1	28.8	26.0	29.6	39.6	46.5	53.5	60.8																																										

1.5 Impacts des conditions climatiques sur les bâtiments

Biskra, située dans une région aride et chaude, est soumise à des conditions climatiques extrêmes qui influencent la conception et la durabilité des bâtiments. Ces impacts concernent principalement la durabilité des matériaux, l'architecture et la résilience face aux événements climatiques extrêmes.

1.5.1 Durabilité des Matériaux

1.5.1.1 Effet des Températures Extrêmes

Les températures peuvent dépasser 50°C en été. Cela provoque :

- La dégradation rapide des matériaux comme le béton et les revêtements plastiques exposés aux UV.
- Des fissurations dues à la dilatation thermique, affectant l'intégrité structurelle.

1.5.1.2 Impact des Vents de Sable

Les vents de sable transportent des particules abrasives qui érodent les surfaces des bâtiments (Thèse Univ. Biskra, 2015).

- Usure des vitrages et des revêtements.

- Blocage des systèmes de ventilation.

1.5.1.3 Solutions Adaptées

- Utilisation de béton à haute performance et de matériaux résistants aux UV.
- Revêtement protecteur pour limiter l'érosion par le sable.
- Filtres sur les systèmes de ventilation.

1.5.2 Impact sur la Conception Architecturale

1.5.2.1 Orientation et Morphologie

- L'orientation Nord-Sud minimise l'exposition au soleil.
- Les formes compactes réduisent l'échange thermique avec l'extérieur.

1.5.2.2 Stratégies de Rafraîchissement Passif

- Puits Canadiens : Utilisation de l'inertie thermique du sol pour rafraîchir l'air entrant.
- Tours à vent : Favorisent la ventilation naturelle.
- Brise-soleil et moucharabiehs : Limitent l'ensoleillement direct et améliorent le confort thermique.

1.5.2.3 Matériaux de Façade

- Peintures réfléchissantes et revêtement en terre cuite pour limiter l'absorption thermique.
- Toitures végétalisées pour la régulation thermique.

1.5.3 Résilience Face aux Événements Climatiques Extrêmes

1.5.3.1 Vagues de Chaleur

- Nécessité d'isolation thermique adaptée et de systèmes de refroidissement passif.

1.5.3.2 Inondations et Précipitations Intenses

- Drainage efficace pour éviter l'accumulation d'eau sur les toitures et les routes.

1.5.3.3 Vents Violents

- Conception aérodynamique des bâtiments pour réduire la prise au vent.
- Plantation d'arbres coupe-vent pour limiter l'impact sur les structures.

En conclusion, les conditions climatiques de Biskra exigent une approche architecturale et technologique spécifique pour assurer la durabilité et le confort des bâtiments. L'utilisation de matériaux résistants, une conception optimisée et l'intégration de solutions passives permettent d'atténuer les effets des températures extrêmes, des vents de sable et des précipitations irrégulières. Cette étude constitue une base pour le développement de bâtiments plus résilients et adaptés aux conditions arides.

Systèmes intelligents dans les technologies de refroidissement

1.6 Introduction aux systèmes intelligents

Les systèmes intelligents transforment les technologies de refroidissement en intégrant des capteurs avancés, l'Internet des Objets (IoT) et l'Intelligence Artificielle (IA) pour optimiser l'efficacité énergétique et améliorer le confort des occupants. Cette section explore les concepts clés, les technologies utilisées, leurs applications dans les systèmes de refroidissement, et présente une étude de cas sur l'intégration d'un système intelligent dans un puits canadien.

1.7 Définition et concepts clés

Un *système intelligent* est un ensemble intégré de technologies capables de collecter, traiter et réagir aux données environnementales en temps réel. Dans le contexte des technologies de refroidissement, ces systèmes ajustent automatiquement les paramètres pour optimiser la performance énergétique et le confort thermique.

1.8 Technologies utilisées (capteurs, IoT, IA)

1.8.1 Capteurs intelligents

Le capteur intelligent correspond principalement à l'intégration dans le corps du capteur d'un organe de calcul interne (microprocesseur, microcontrôleur), d'un système de conditionnement du signal (programmable ou contrôlé) et d'une interface de communication... Plus largement, le concept de capteur intelligent se décompose ainsi :

- Un ou plusieurs transducteur(s).
- Des conditionneurs spécifiques.
- D'une mémoire.
- D'une alimentation.
- D'un organe intelligent interne permettant un traitement local et l'élaboration d'un signal numérique.
- D'une interface de communication.

Deux définitions de capteur intelligent semblent être répandues. La première fait référence à la présence d'un microprocesseur embarqué. Celui-ci peut avoir comme objectif de modifier le comportement interne du capteur afin d'optimiser sa capacité à collecter les données, ou simplement pour effectuer localement des traitements et des calculs. La seconde définition se focalise sur la capacité de communication bidirectionnelle du capteur, avec des systèmes extérieurs et des opérateurs humains. Le capteur reçoit et traite des commandes extérieures, et envoie des mesures et des informations de statut (M'hidi, 2020).

1.8.2 L'Internet des Objets (IoT) : Capteurs Intelligents pour la Surveillance Continue

L'IoT désigne un réseau d'objets connectés capables de collecter, d'analyser et de transmettre des données en temps réel. Pour les systèmes de refroidissement, cela signifie que chaque composant essentiel — compresseurs, évaporateurs, condenseurs, circulateurs — peut être équipé de capteurs IoT. Ces capteurs mesurent divers paramètres critiques, tels que :

- Température : Contrôle la température des fluides frigorigènes et de l'eau glacée.
 - Pression : Surveille les pressions de condensation et d'évaporation, essentielles pour le bon fonctionnement du système.
 - Vibrations : Détecte les anomalies mécaniques dans les compresseurs et autres composants rotatifs.
 - Débit : Mesure le débit de l'eau glacée pour assurer un refroidissement optimal.
 - Humidité et qualité de l'air : Pour les systèmes qui utilisent des tours de refroidissement, surveiller l'humidité et la qualité de l'air est essentiel pour prévenir les dépôts et la corrosion (Fabrice, 2024).
- L'installation de capteurs IoT dans des systèmes de refroidissement permet de recueillir des données en continu et de fournir des informations précises sur l'état des équipements, ce qui améliore la réactivité en cas de problème.

1.8.3 Intelligence Artificielle (IA)

Les systèmes d'intelligence artificielle fonctionnent en traitant une grande quantité de données, souvent étiquetées, appelées données d'entraînement. Ces données sont analysées pour identifier des modèles et des corrélations, qui servent ensuite à effectuer des prédictions ou à prendre des décisions. Par ailleurs, une nouvelle classification des innovations en IA a été proposée, répartissant les avancées en quatre catégories principales :

- IA centrée sur les données : Amélioration et enrichissement des données utilisées pour le perfectionnement des algorithmes.
- IA centrée sur les modèles : Développement de modèles d'IA plus performants et adaptés à diverses applications.
- IA centrée sur les applications : Intégration de l'IA dans des solutions pratiques répondant à des besoins spécifiques.
- IA centrée sur l'humain : Conception de systèmes d'IA prenant en compte les interactions et les besoins humains (R, 2024).

1.9 Applications dans les systèmes de refroidissement

Les applications des systèmes intelligents dans le refroidissement couvrent un large éventail de technologies. Parmi celles-ci, le refroidissement radiatif émerge comme une technologie clé qui exploite les échanges thermiques avec l'environnement pour dissiper la chaleur sans consommation d'énergie. Des études montrent que des matériaux conçus spécifiquement pour le refroidissement radiatif peuvent réduire la température de surfaces exposées au soleil en réfléchissant la chaleur. La

mise en œuvre de telles technologies dans les bâtiments peut considérablement diminuer la dépendance aux systèmes de climatisation énergivores.

1.10 Cas d'étude : Intégration d'un système intelligent dans un puits canadien.

L'intégration d'un système intelligent dans un puits canadien représente une avancée significative dans le domaine de la gestion énergétique et de l'efficacité des bâtiments. Un puits canadien, peut bénéficier d'une intégration intelligente pour optimiser son fonctionnement. L'intelligence artificielle (IA) peut être utilisée pour surveiller et ajuster les paramètres du système en temps réel, en tenant compte des conditions climatiques, des besoins en chauffage et en climatisation, ainsi que de la qualité de l'air intérieur. Cela permet non seulement d'améliorer le confort des occupants, mais aussi de réduire la consommation énergétique globale du bâtiment.

L'historique du puits canadien montre qu'il a été développé dans les années 1980, mais son intégration avec des technologies intelligentes est relativement récente.

Les applications dans le domaine du bâtiment durable sont nombreuses. Par exemple, l'intégration d'un système intelligent dans un puits canadien peut permettre une automatisation des processus de ventilation et de contrôle climatique, ce qui augmente l'efficacité opérationnelle et réduit les erreurs humaines. En utilisant des algorithmes d'apprentissage automatique, le système peut apprendre des comportements des occupants et ajuster les paramètres de ventilation pour maximiser le confort tout en minimisant la consommation d'énergie. De plus, l'utilisation de capteurs pour surveiller la qualité de l'air et les conditions environnementales peut également contribuer à créer un environnement intérieur plus sain.

En conclusion, l'intégration d'un système intelligent dans un puits canadien représente une opportunité prometteuse pour améliorer l'efficacité énergétique et le confort des bâtiments. En combinant les principes de la géothermie de surface avec des technologies intelligentes, il est possible de créer des systèmes de gestion énergétique qui non seulement répondent aux besoins des occupants, mais qui sont également durables et respectueux de l'environnement.

- Ce chapitre a permis d'établir les fondements théoriques nécessaires à la compréhension des systèmes de refroidissement adaptés aux climats chauds. En distinguant entre les approches actives et passives, il met en évidence l'intérêt croissant pour les solutions à faible consommation énergétique, telles que le puits canadien. À travers une exploration détaillée de ce système, son fonctionnement, ses composantes, son implantation et ses performances ont été clarifiés. L'analyse des contraintes climatiques spécifiques à Biskra souligne la nécessité d'adopter des solutions architecturales adaptées à un environnement extrême. Enfin, l'introduction des technologies intelligentes, notamment l'intégration de capteurs et de l'IA, ouvre la voie à une architecture plus performante, capable de s'autoréguler et de s'ajuster aux besoins en temps réel. Ainsi, ce cadre conceptuel pose les bases solides pour la réflexion architecturale appliquée dans les chapitres suivants.

Partie Pratique

Étude de cas et conception

À partir des bases théoriques posées dans le premier chapitre, cette partie présente la réalisation d'un système de refroidissement passif de type puits canadien, contrôlé par un microcontrôleur Arduino Uno. Le dispositif réagit automatiquement ou manuellement selon la température ambiante, afin d'optimiser la consommation énergétique.

Ce système sera ensuite intégré dans le bâtiment administratif conçu dans le cadre de ce projet, en tenant compte des principes développés dans les deux premiers chapitres.

1.11 Objectif général

Ce prototype vise à démontrer la faisabilité d'un système de refroidissement passif de type puits canadien, piloté par un microcontrôleur Arduino. Il permet une gestion intelligente de l'ouverture/fermeture du circuit d'air en fonction de la température de sole, afin d'optimiser le confort thermique tout en réduisant la consommation énergétique.

1.12 Surveillance de l'humidité du sol :

- Un capteur d'humidité du sol est utilisé pour mesurer le niveau d'humidité de la terre où passe le tuyau.
- Les données sont affichées sur un petit écran LCD ou OLED, afin de savoir si la terre a besoin d'être humidifiée ou non.

1.13 Principe de fonctionnement :

- Le système repose sur un capteur de température de type DHT22 qui mesure la température du sol. Lorsque celle-ci dépasse un seuil déterminé (par exemple : 18°C), le microcontrôleur ferme automatiquement l'électrovanne, interrompant ainsi la circulation de l'air à travers le conduit simulant l'échangeur thermique canadien.
 - **Si la température dépasse 18°C : le volet se ferme** → Pour éviter l'entrée d'air chaud
- Le système se réactive automatiquement dès que la température descend en dessous du seuil minimal (par exemple : 18 °C), ce qui permet de maintenir une température stable du sol. Ce fonctionnement autonome contribue à une gestion énergétique optimale et renforce l'efficacité du système en tant que solution de refroidissement passif intelligente.
 - **Si la température est inférieure à 18°C : le volet s'ouvre** → L'air frais entre dans le bâtiment
- Pour améliorer davantage la performance du système, un capteur d'humidité du sol peut être ajouté. Ce dernier permet de surveiller en temps réel le taux d'humidité du sol dédié au dispositif ; lorsqu'un seuil critique est atteint, des alertes peuvent être générées afin de prendre les mesures nécessaires, telles que l'irrigation ou le renforcement des conditions du sol.

1.14 Description technique

Afin de concevoir un programme permettant l'automatisation d'un système de refroidissement passif basé sur le puits canadien, il est nécessaire d'intégrer à la fois des éléments matériels et logiciels. Cela comprend un capteur de température du sol, un actionneur tel qu'un servo moteur, ainsi qu'un système de contrôle comme le microcontrôleur Arduino Uno. Ce dispositif permet de réguler l'ouverture ou la fermeture du conduit d'air en fonction des variations de la température du sol, assurant ainsi une gestion intelligente et autonome du flux d'air.

Le tableau ci-dessous présente les composants utilisés dans ce prototype ainsi que la fonction de chacun dans le système :

Tableau 3: Matériel de prototype puit canadien

Composant	Fonction	Image
-----------	----------	-------

Arduino Uno	C'est le microcontrôleur qui agit comme le « cerveau » du système. Il reçoit les données du capteur, traite les conditions, et active ou désactive le servo moteur selon la température lue.	 Figure 33: Arduino Uno
Capteur de température de sol DS18B20	Capteur de température qui mesure la température du sol avec précision. Il transmet les données numériques à l'Arduino.	 Figure 34: Capteur de température DS18B20
Capteur d'Humidité du sol	Capteur de d'humidité qui mesure l'humidité du sol avec précision.	 Figure 35: Capteur d'Humidité du sol
Servo moteur	Actionne mécaniquement un clapet fixé sur le tuyau. Selon le signal de l'Arduino, il pivote à 0° pour fermer le conduit ou à 90° pour l'ouvrir.	 Figure 36: Servo moteur
Résistances	Ils servent à limiter ou contrôler le passage du courant électrique dans un circuit pour protéger les composants contre les surtensions.	 Figure 37: Résistances
Fils de connexion	Les fils de connexion servent à relier deux points sans soudure pour transmettre l'énergie et les informations.	 Figure 38: Des fils de connexion
Alimentation	Fournit l'énergie nécessaire pour faire fonctionner l'Arduino et le servo moteur de manière continue.	 Figure 39: Alimentation batterie Arduino

Tuyau	Simule le conduit d'un puits canadien enterré. L'air circule à l'intérieur selon l'ouverture ou la fermeture du clapet contrôlé par le servo.	 <i>Figure 40: Tuyau en Pvc</i>
Raccord de tuyau	La fonction du raccord de tuyau est d'assurer la liaison étanche et sécurisée entre les différents segments de tuyauterie du prototype.	 <i>Figure 41: Raccord de tuyau</i>
Sol (terre humide)	Représente le terrain naturel dans lequel le tuyau est enterré. Il joue un rôle thermique passif en stabilisant la température de l'air qui y circule.	 <i>Figure 42: Sol naturel</i>
LED ou écran LCD	Sert d'indicateur visuel pour montrer l'état du système : température, humidité, système actif ou non.	 <i>Figure 43: LED ou écran LCD</i>

Phase de test :

Le sol est chauffé progressivement à l'aide d'une eau chaude

Le système réagit automatiquement :

- le clapet ferme le conduit quand le sol devient trop chaud.
- il s'ouvre à nouveau lorsque la température baisse.

1.15 Mise en œuvre

Étapes de montage :

1. Préparation de la maquette :
 - Utilisation d'un bac contenant du sol naturel humide.
 - Un **tuyau** est inséré dans ce sol pour simuler un échangeur de puits canadien.
2. Installation du capteur de température DS :
 - Placé dans le sol à une profondeur réaliste pour capter la température réelle.
3. Connexion des composants :
 - DS18B20 relié à Arduino (VCC → 5V, GND → GND, Signal → D2).
 - Servo moteur branché sur D9 de l'Arduino.
4. Fixation du servo :
 - Le servo est positionné de façon à actionner un **clapet** (ou une vanne artisanale) qui ferme ou ouvre mécaniquement le tuyau d'air.
5. Alimentation :
 - L'ensemble est alimenté via un adaptateur secteur ou une batterie.
6. Un capteur d'humidité du sol est également intégré afin de surveiller en temps réel le niveau d'humidité du sol dédié au système, avec un affichage direct sur l'écran. Lorsque ce niveau descend en dessous d'un seuil critique, le dispositif génère automatiquement des alertes, permettant ainsi de déclencher les actions nécessaires telles que l'arrosage ou l'amélioration

des conditions du sol, contribuant à une gestion écologique et réactive de l'environnement immédiat du système.

1.16 Prototype Physique

Le prototype que nous concevons représente une version réduite et fonctionnelle du système de puits canadien avec un volet motorisé (SAS) à commande intelligente.

Il est constitué d'un tuyau en PVC de petit diamètre, terminé par un volet mobile qui simule le processus d'ouverture et de fermeture du flux d'air, en fonction des commandes émises par l'unité de contrôle.

Le volet comporte une seule lame mobile, dimensionnée selon l'échelle du modèle réduit.

Tous les composants sont intégrés dans un cube creux aux dimensions définies, rempli de terre, afin de reproduire les conditions du sol réel où les tuyaux sont habituellement enterrés. Cette terre peut être chauffée ou refroidie par de l'eau, pour simuler les variations naturelles de température du sol.

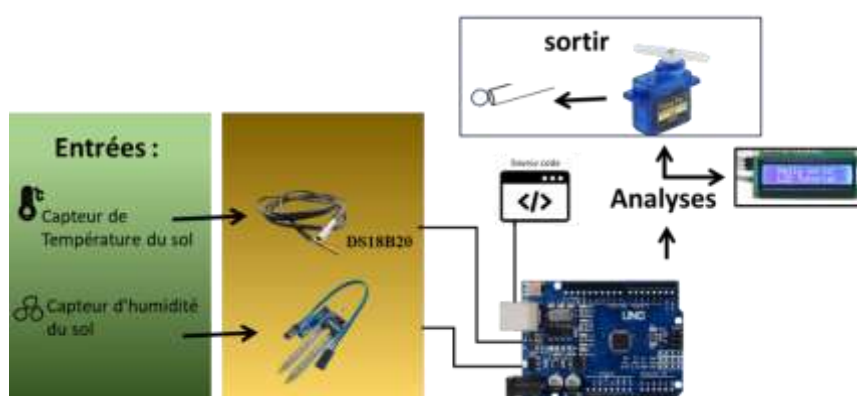


Figure 45 : Apprentissage automatique.

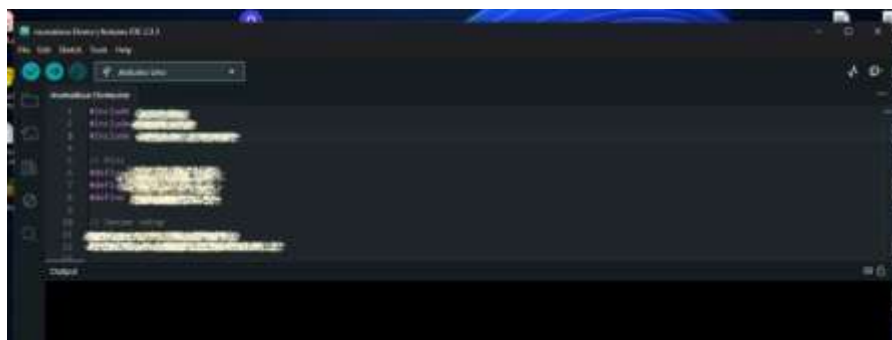


Figure 44: Télécharger le code source via l'Arduino

Capteurs :

- Capteur de température (DHT22) : Enfoui dans la terre pour mesurer sa température.
- Capteur d'humidité du sol : Également inséré dans la terre entourant le tuyau pour mesurer son taux d'humidité.

L'ensemble des capteurs est préalablement connecté à l'**Arduino UNO**, qui se charge de :

- Analyser en temps réel les données collectées
- Prendre des décisions automatiques, en envoyant des commandes vers :
 - Le servo-moteur qui contrôle l'ouverture/fermeture du volet

- L'écran LCD pour l'affichage en temps réel des paramètres (température du sol + taux d'humidité)

Sortie du tuyau :

À l'extrémité du tuyau, celui-ci est fixé dans un modèle miniature représentant le bâtiment, afin de simuler le passage de l'air du sol vers l'espace intérieur du bâtiment.

- ✓ Permet de cacher et de protéger l'Arduino UNO
- ✓ Assure le passage ordonné et sécurisé des câbles électriques

Dimensions approximatives du prototype :

- Longueur apparente du tuyau : 25 cm
- Diamètre du tuyau : 0,25 cm
- Dimensions de la base (cube creux) : 30 × 40 cm, avec une hauteur de 30 cm

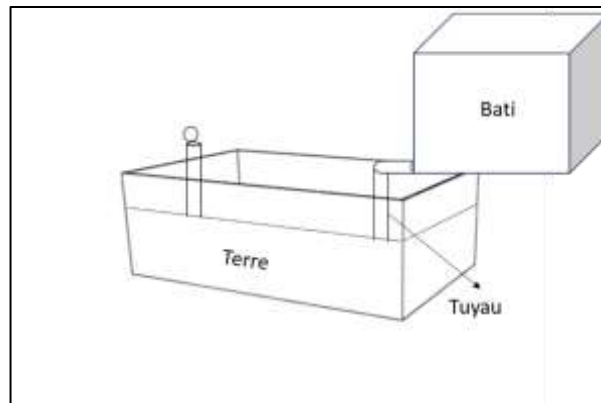


Figure 47: Esquisse axonométrique du prototype. Source : Auteur



Figure 46: Le prototype

1.17 Objectifs futurs

Les perspectives d'évolution du système proposé s'articulent autour des axes suivants :

- **Intégration d'un système de contrôle à distance :**
Mise en place d'une solution de pilotage à distance via des technologies de communication sans fil (Wi-Fi, GSM), permettant à l'utilisateur de surveiller et de contrôler le système en temps réel à partir d'une application mobile ou d'une plateforme web.

- **Ajout d'un système de ventilation assistée :**
Installation de ventilateurs permettant de renforcer le flux d'air frais lorsque les conditions climatiques extérieures sont favorables, avec un déclenchement automatique en fonction des paramètres mesurés.
- **Suivi en temps réel de l'humidité du sol :**
Intégration de capteurs d'humidité permettant de visualiser en continu le niveau d'humidité du sol sur un écran embarqué, afin d'adapter le fonctionnement du système en fonction des besoins.
- **Optimisation énergétique grâce à l'intelligence artificielle :**
Déploiement futur d'algorithmes prédictifs basés sur l'intelligence artificielle, afin d'anticiper les besoins thermiques et de réduire la consommation énergétique du système.
- **Approche éco-responsable et durable :**
L'ensemble de ces améliorations s'inscrit dans une démarche de développement durable visant à minimiser l'impact environnemental tout en maximisant le confort thermique des utilisateurs.

Chapitre III : Etude analytiques

Introduction

Dans ce chapitre, nous adopterons une approche analytique structurée autour des composantes fondamentales de notre projet. Nous commencerons par l'analyse de références architecturales existantes de bâtiments administratifs, afin de mieux comprendre l'organisation spatiale, les principes de fonctionnement et les choix architecturaux adoptés dans des contextes similaires. Ensuite, nous nous pencherons sur l'analyse du contexte spécifique à la ville de Biskra, en intégrant des données climatiques à travers une étude bioclimatique, ainsi qu'une lecture du terrain et de la morphologie urbaine.

L'objectif de cette démarche est de tirer profit des particularités climatiques et territoriales de la région, en vue d'orienter nos choix conceptuels et techniques dès la phase de conception, notamment pour une meilleure intégration du système de rafraîchissement passif par puits canadien.

Bâtiments administratifs

1.18 Définitions

Les bâtiments administratifs sont des structures conçues pour accueillir des services publics, des administrations ou des institutions ayant pour mission de gérer les affaires publiques, de fournir des prestations aux citoyens ou encore de coordonner des activités gouvernementales ou locales. Selon Ernst Neufert, l'organisation fonctionnelle et la lisibilité de l'espace sont fondamentales pour ce type de bâtiment, où efficacité, accessibilité et confort doivent être au cœur du projet architectural.

L'importance de ces bâtiments réside dans leur rôle de médiateur entre l'administration et le citoyen. Ils incarnent la présence de l'État ou de la collectivité dans le quotidien de la population, et doivent répondre à des critères de transparence, de fluidité de circulation, de sécurité et de durabilité.

Une attitude plus sensible envers l'environnement du travail est étroitement liée à la conscience des valeurs prédominantes dans la société, qui se traduit dans l'attitude envers la qualité du poste de travail (lumière du jour, rapport avec l'environnement, consommation d'énergie) et de l'activité (aspects écologiques, consommation de matériaux, recyclage).

Du point de vue de l'utilisateur, le poste de travail est un lieu d'intégration sociale de tout premier ordre, dont l'importance augmente grâce aux structures de travail formalisées (traitement des informations par ordinateur, organisation du travail, etc.). Aux sollicitations physiques et psychiques accrues correspond une plus grande attention à l'environnement du travail (surface suffisante, influence sur la disposition du mobilier, aération, éclairage, protection suffisante contre les dérangements).

75% du travail quotidien se déroule sur le poste de travail restreint et élargi (fig2). Les contacts professionnels nécessaires ainsi que les installations utilisées collectivement sont importants. D'où la demande d'une utilisation mixte sous forme de salles individuelles et salles d'équipes, postes de travail personnels et collectifs (fig3). Mis à part la réhabilitation des constructions existantes, se dessinent de nouvelles conceptions de l'espace sur la base de salles individuelles collectives : la salle collective reliée et partiellement divisée en zones, le bureau mixte, le poste de travail multiple ou polyvalent (Jean, et al., 2014).

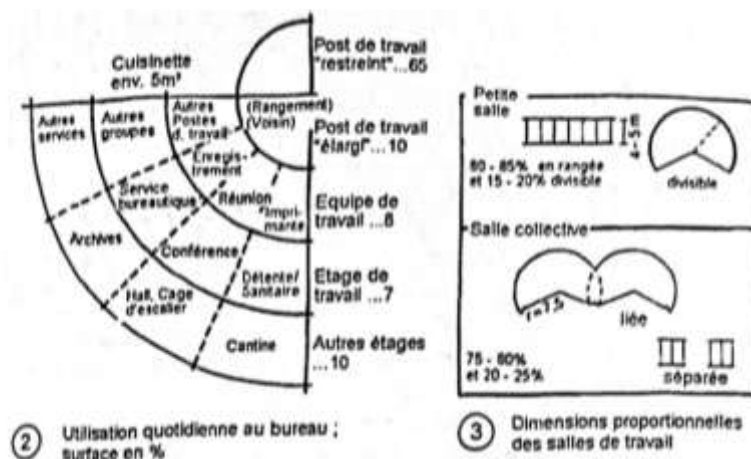


Figure 48: Source Neufert

1.19 Climatisation

Les dépenses énergétiques représentent les deux tiers des dépenses de fonctionnement d'un bâtiment administratif. Les besoins en énergie pour in rafraichissement en été sont nettement supérieurs à ceux du chauffage en hiver.

Certaines recommandations en vigueur préconisent que la température ambiante, pour une activité sédentaire soit comprise entre 19 et 25 °C. La construction et l'orientation du bâtiment déterminent fortement les besoins en énergie de rafraichissement et en lumière. Les éléments de construction utilisés pour leur inerte, les façades doubles et les dispositifs d'orientation de la lumière permettent de réduire ces besoins.

Pièces entièrement climatisées : Le volume brut intérieur et les coûts généraux de construction des bâtiments climatisés sont supérieurs de 30 à 50% par rapport à ceux qui ne le sont pas.

Rafrachissement doux : Et Afin de lisser les écarts de consommation d'énergie, de grandes surfaces d'éléments de construction massifs servant de volant thermique doivent être en contact direct avec les locaux. Les planchers remplissent particulièrement bien ce rôle car les cloisons séparatives doivent en règle générale pouvoir être facilement déplaçables.

Les éléments de construction participent au rafraichissement des locaux en étant, par exemple, parcourus par un fluide frigorigène pour refroidir la masse du bâtiment. Les plafonds rayonnants agissent de même en évitant l'effet tampon des éléments de construction lourds.

En exploitant la température stable du sous-sol, les échangeurs thermiques permettent de réaliser le préchauffage ou le pré rafraichissement de l'air neuf introduit dans les installations de ventilation ou dans les halles chauffées sur un mode passif.

Les systèmes qui tempèrent l'air neuf au moyen de convecteurs facilitent la régulation Individuelle (Jean, et al., 2014).

1.20 Intérêt des bâtiments administratifs multifonctionnels

Les bâtiments multifonctionnels offrent une réponse moderne et pragmatique aux besoins croissants de rationalisation des espaces et des ressources. Ils permettent d'accueillir plusieurs services dans un même lieu, favorisant ainsi l'efficacité, la centralisation des démarches et la réduction des coûts d'exploitation.

Ce type de conception présente de nombreux avantages : gain de temps pour les usagers, mutualisation des moyens, réduction de l'empreinte écologique et amélioration de la qualité du service public. Il s'inscrit aussi dans une logique de proximité, en facilitant l'accès aux services essentiels dans un même lieu.

Des exemples récents comme les centres polyvalents municipaux en Scandinavie illustrent l'intérêt de ces modèles. Ces réalisations récentes montrent une tendance claire vers une architecture plus intelligente, inclusive et durable.

1.21 Choix des fonctions à intégrer dans le projet

Dans le cadre de ce projet architectural, nous avons choisi d'intégrer trois entités publiques principales : la mairie (la commune), Sonelgaz (distributeur d'électricité et de gaz) et l'ADE (Algérienne des Eaux).

Ce choix repose sur une volonté claire de centraliser les démarches les plus courantes des citoyens dans un même espace, afin de leur faire gagner du temps, de réduire les déplacements et de simplifier leurs interactions avec l'administration. Il permet également une gestion plus efficiente de l'énergie, des ressources et du foncier.

L'intégration de ces services dans un bâtiment unique répond à une logique d'optimisation : chaque espace est pensé pour être fonctionnel, accessible et agréable à utiliser, tout en favorisant la coopération entre les différents services.

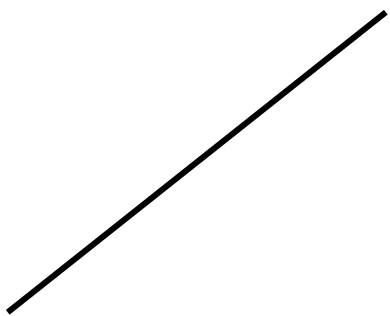
Analyses des exemples :

La région ouest connaît une expansion urbaine récente avec une densité de population en constante augmentation, mettant en évidence le besoin de services variés pour répondre aux attentes des habitants. Cela m'a poussé à envisager la conception d'un bâtiment multifonctionnel regroupant les services essentiels en un seul lieu. Intégrant une mairie, une agence de Sonelgaz et administration de l'approvisionnement municipal en eau, afin de faciliter l'accès aux services et de réduire les déplacements.

1.22 Fiche technique :

Tableau 4: la fiche technique des exemples.

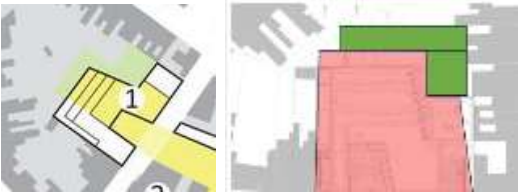
Une mairie	Administration de l'approvisionnement municipal en eau	Une agence de Sonelgaz
Bâtiment administratif de Willebroek	Administration de l'approvisionnement municipal en eau / VTria Architectes	Barcode Complex / A1Architecture
Situation : Willebroek, Belgique Architectes : BRUT Année : 2012 Aire : 4850 m²  Motivation du choix : Bâtiment administratif Willibroek, conçu par BRUT Architecture et Urban Design. Aménagement intérieur flexible, avec connexion visuelle entre les étages publics et la lumière naturelle, symbolisant la transparence et l'ouverture de la gestion municipale.	Situation : Andrea Papandreou, Lamia 351 00, Grèce Architectes : VTria Architects Année : 2017 Aire : 3525 m²  Motivation du choix : Organisation rationnelle des espaces, favorisant la fluidité des déplacements et l'efficacité du travail administratif. L'enveloppe architecturale intègre des matériaux durables et des solutions passives telles que l'éclairage naturel et une ventilation optimale, réduisant ainsi la consommation d'énergie.	Situation: Kish, Iran Architectes: A1Architecture Superficies: 3 198 m² Année : 2017 Aire : 3 198 m²  Motivation du choix : Le complexe Barcode est un exemple vivant de la manière dont les techniques architecturales modernes peuvent être utilisées pour servir la durabilité et l'identité régionale, ce qui en fait un sujet idéal pour une analyse architecturale complète qui combine performance, esthétique et contexte.

Bâtiment municipal de Huis van Albrandswaard Situation : Rhooen, Pays-Bas Architectes : Gortemaker Algra Feenstra Année : 2021 Aire : 2750 m ²  Motivation du choix : La mairie adopte une architecture durable et regroupe divers services, dont une salle du conseil polyvalente et une cafétéria sportive, favorisant la transparence et le lien avec les citoyens.	LOTT Clean Water Alliance Regional Services Center Situation: Olympia, Washington, USA Architectes: Miller Hull Partnership: Murase Associates Annie : 2011  Motivation du choix : LOTT Clean Water Alliance Regional Services Center adopte une conception moderne et durable. Son design épuré et transparent symbolise la durabilité et la sensibilisation	Zero Gipps Office Building / SJB Situation: Collingwood, Australia Architectes: SJB Annie: 2022 Aire : 2 100 m ²  Motivation du choix : Modèle distinctif qui allie préservation du patrimoine architectural et innovation architecturale durable, ce projet incarne une transformation intelligente d'un ancien bâtiment industriel en un complexe de bureaux moderne caractérisé par ses émissions opérationnelles nulles.
Mairie de ville Biskra Situation : Biskra 	ADE de Biskra Situation : Biskra Annie : 2008 	

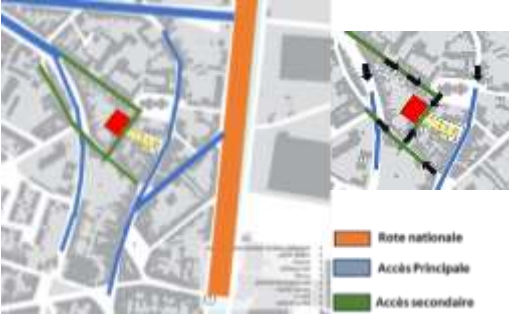
1.23 L'étude externe :

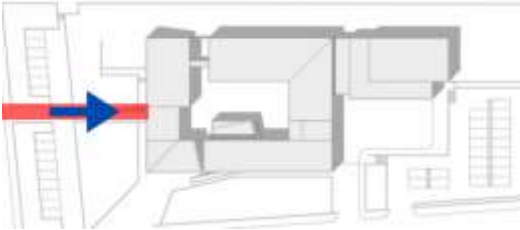
Tableau 5: Analyse des exemples.

	Le Projet	L'environnement immédiat	Le plot du projet
--	-----------	--------------------------	-------------------

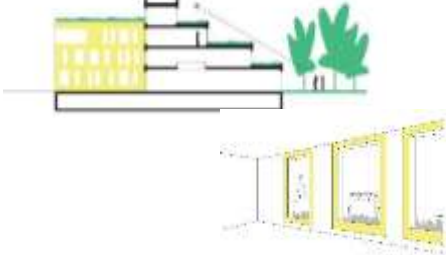
Une mairie	Exemple 1 : Willebroek	 Le bâtiment administratif est situé à proximité d'équipements importants, ce qui renforce le lien entre les fonctions administratives et les services publics, et soutient le dynamisme social et l'interaction urbaine équilibrée	 Le bâtiment occupe 80 % de la parcelle, tandis que la partie restante non construite présente une zone plate d'herbe vert foncé durable.
	Exemple 2 : Huis van Albrandswaard	 Le bâtiment se situe dans un quartier calme, entre une zone résidentielle au sud et une forêt-cimetière au nord. Il est facilement accessible grâce à une station de métro proche, et entouré d'équipements publics. L'environnement naturel et les espaces verts favorisent son intégration paysagère.	 Le bâtiment est implanté au centre d'un terrain verdoyant, entouré d'une végétation dense. La forme circulaire du volume principal s'intègre harmonieusement dans le paysage naturel. Le terrain suit une géométrie courbe qui adoucit l'implantation et crée une continuité avec les espaces environnants.
	Exemple 3 : Mairie de ville Biskra	 La mairie de Biskra est bien intégrée grâce à sa proximité avec des équipements urbains et une accessibilité assurée par des axes principaux et secondaires, favorisant une bonne connexion avec son environnement.	 Le plot du projet de la mairie de Saiouda est situé dans un tissu résidentiel datant de la période coloniale. Le bâtiment, lui aussi hérité de cette époque, a été reconverti en siège communal. Il comprend une cour centrale occupant environ 30 % de la surface bâtie, servant à organiser l'espace intérieur.

Municipal en eau L' approvisionnement Administration de	Exemple 1 : VTria Architectes	 Organisée en deux ailes principales qui s'adaptent à la pente du terrain. Le bâtiment est orienté de manière à s'ouvrir vers la ville, tout en respectant les limites de la parcelle et les caractéristiques du site, renforçant ainsi la relation entre les espaces intérieurs et leur environnement immédiat.	 Le projet est situé à l'entrée est de la ville de Lamia, au croisement de deux axes routiers principaux, lui conférant une position stratégique et une forte visibilité. Il s'insère dans un tissu urbain mixte composé de zones résidentielles et d'espaces publics, renforçant ainsi son rôle fonctionnel et symbolique dans le paysage urbain
	Exemple 2: LOTT Clean Water Alliance Regional Services Center	 Le site dans une zone mixte à usage industriel léger et administratif. Il est bordé par des espaces verts préservés et des infrastructures de traitement de l'eau, offrant un cadre fonctionnel en lien direct avec son activité. Cette proximité renforce la cohérence du projet avec son voisinage professionnel et environnemental.	 Le projet s'implante sur une parcelle plane et bien desservie, avec des accès directs depuis la voirie locale. La surface libérée permet un aménagement rationnel des bâtiments, des parkings et des circulations piétonnes, tout en assurant une intégration harmonieuse dans le tissu environnant.
	Exemple 3: ADE Biskra	 Le projet de l'ADE à Biskra est implanté dans un tissu urbain mixte, entouré d'équipements publics tels que des bâtiments administratifs et de services. Il est desservi par deux axes routiers principaux, ce qui lui confère une accessibilité fonctionnelle et stratégique	 La parcelle présente une forme géométrique régulière. Le bâtiment occupe environ 30 % de la surface, tandis que l'espace restant est aménagé en parking et en zones de circulation, assurant ainsi une organisation fonctionnelle et fluide du site.

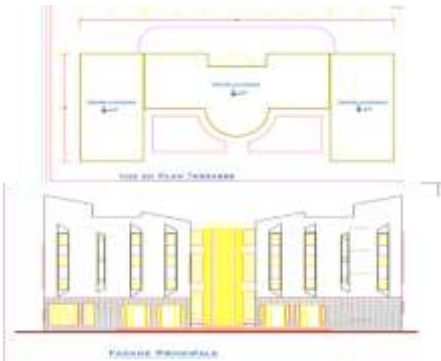
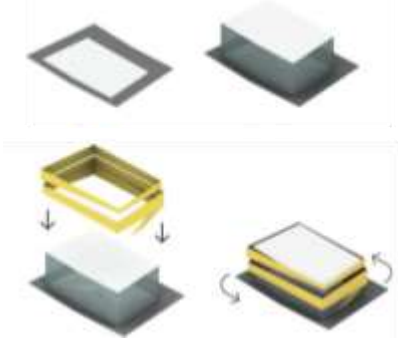
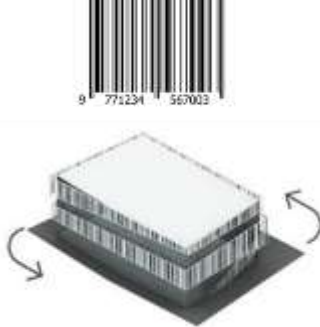
De	Sonelgaz	Une agence	Exemple 1 : Barcode Complex / A1Architecture	Exemple 2: Zero Gipps Office Building / SJB
			 Le projet s'inscrit dans un tissu urbain récemment développé, composé de bâtiments administratifs et commerciaux à vocation d'investissement.	 Situé à proximité d'une route principale, le bâtiment s'intègre harmonieusement au paysage urbain environnant.
			 Le bâtiment est situé à Collingwood, une banlieue historique de Melbourne, dans l'État de Victoria, en Australie. Ce quartier est connu pour être à la croisée de l'ancien tissu industriel et de la transformation urbaine moderne.	 Le site reflète la dynamique de transformation urbaine des quartiers post-industriels.
Une mairie		Routes et accessibilité		Les Entrées
		Exemple :1 Willebroek		
			 L'accessibilité est obtenue grâce à une planification réfléchie qui facilite la circulation des usagers entre les bâtiments adjacents et les installations	 L'entrée principale est intégrée à la façade principale, tandis que l'accès au parking souterrain est positionné à ses côtés.
			 Le site est facilement accessible depuis la route principale et la station de métro. Le cheminement piéton est fluide, guidant les usagers vers une entrée centrale clairement définie.	 Une entrée pour le bâtiment donnant sur la route principale

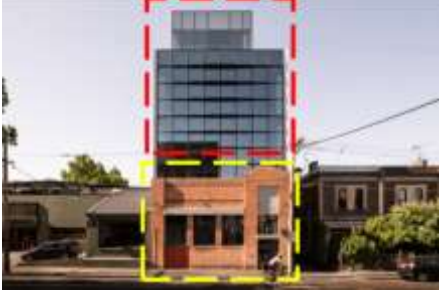
Municipal en eau	L'approvisionnement	Exemple :3 Mairie de ville Biskra	 Accessible depuis la route principale en face du jardin 5 Juillet Beylik, avec un accès secondaire menant directement au bâtiment à travers une voie intérieure.	 L'entrée de la mairie se fait par la façade principale donnant sur une rue secondaire, menant directement à la cour centrale qui organise les espaces intérieurs.
		Exemple 1: VTria Architectes	 Le bâtiment dispose de deux accès principaux : l'un par le lobby situé sur la façade ouest donnant sur la rue secondaire, et l'autre à travers la cour centrale, qui agit comme un espace de transition vers les différentes zones fonctionnelles du projet.	 L'entrée située sur la façade ouest donnant sur une rue secondaire. Elle constitue un point d'accueil clair et direct vers les espaces intérieurs.
		Exemple 2: LOTT Clean Water Alliance Regional Services Center	 Une voie principale en plein centre d'Olympia. Il est bien relié au réseau routier local, avec des rues secondaires avoisinantes qui facilitent l'accès depuis différents axes de circulation	 L'entrée située sur la façade ouest donnant sur une rue secondaire. Elle constitue un point d'accueil clair et direct vers les espaces intérieurs.

Administration de	Exemple 3 : ADE Biskra	 Le projet est situé à proximité de deux routes principales, assurant une connexion directe au réseau routier local et facilitant l'accès depuis différents axes.	 L'accès au bâtiment se fait soit depuis le parking intérieur, soit directement par la façade principale, offrant ainsi une circulation fluide et fonctionnelle pour les usagers.
de Sonelgaz	Exemple 1 : Barcode Complex / AIArchitecture		 Le projet comprend une <u>entrée principale claire</u>, complétée par <u>plusieurs entrées secondaires et sorties de secours</u>, réparties selon une logique de sécurité et d'usage fonctionnel. Le nombre total d'entrées et de sorties est estimé à environ 5 à 7 points d'accès, variant selon la nature de l'usage et la répartition des services.
Une agence	Exemple 2: Zero Gipps Office Building / SJB	 Le projet présente une conception urbaine consciente qui privilégie la circulation piétonne et le transport durable, réduisant ainsi la dépendance à l'automobile, conformément à ses objectifs environnementaux.	 L'entrée principale a été intégrée à la façade en briques d'origine, préservant ainsi le caractère industriel patrimonial, grâce à l'ajout de portes vitrées modernes à encadrement métallique foncé. Des portes secondaires pour les ouvriers se trouvent sur le côté.
		La volumétrie	Le concept de design

Une mairie	Exemple :1 Willebroek	  À l'arrière, des terrasses en gradins avec des toitures végétalisées préservent l'intimité des résidences voisines tout en offrant aux employés des vues agréables sur des espaces verts. Cette conception volumétrique assure une transition harmonieuse entre le bâtiment public et son environnement résidentiel, tout en mettant l'accent sur la durabilité et le bien-être des usagers.	 Cette petite ville entre Anvers et Bruxelles a reçu un nouveau point de repère. Le nouveau bâtiment créé par le Brussels Design Studio Brut est intégré dans le centre historique et est en même temps contemporain, confortable, durable et à l'épreuve du temps.
	Exemple :2 Huis van Albrandswaard	  Une volumétrie sobre, compacte et intégrée, pensée pour favoriser la lisibilité, la transparence et la proximité avec le citoyen.	 Le projet traduit une vision d'une administration moderne, transparente et connectée à son territoire, à travers une forme circulaire ouverte et un langage architectural sobre et naturel.
	Exemple :3 Mairie de ville Biskra	   La masse architecturale de Mairie de ville de Biskra exprime l'équilibre entre formalité et symbolisme historique. Elle a été conçue selon le principe de <u>symétrie</u> et de <u>centralité</u>, avec une forte présence de <u>l'élément vertical</u> représenté par la coupole et la tour centrale.	  Relier <u>les fonctions administratives modernes</u> à <u>l'identité culturelle locale</u>. L'architecte (ou le concepteur de l'époque) souhaitait exprimer à travers ce bâtiment : -Le pouvoir et le prestige de l'autorité locale (par la structure formelle, la tour et la symétrie) -L'appartenance à l'identité algérienne et maghrébine (par le dôme, les arches et les éléments décoratifs) -la présence dans l'espace public d'une institution en interaction quotidienne avec les citoyens ; il fallait donc qu'elle soit claire, visible et distincte.

Municipal en eau	Exemple :1 VTria Architectes  C'est une masse ouverte horizontalement, graduellement verticalement, connectée à la ville et à ses habitants.	 Le bâtiment ne se présente pas comme une « administration fermée », mais comme un équipement civique transparent accueillant le public. - Il a été conçu comme une façade urbaine symbolisant l'infrastructure environnementale souvent invisible de l'eau. - Sa fonction technique est liée à l'eau, mais son image architecturale représente le flux, la purification et le lien avec les gens. - Le vocabulaire architectural grec classique est utilisé de manière contemporaine : L'atrium ressemble à la stoa, les espaces publics ouverts de l'architecture grecque.
L' approvisionnement	Exemple :2 LOTT Clean Water Alliance Regional Services Center   La conception d'un immeuble contemporain à caractère industriel et gouvernemental, avec ses façades vitrées longitudinales protégées par un maillage d'auvents extérieurs à texture métallique, incarne une identité environnementale moderne.	 Devise de conception : « Rendre l'invisible visible » – les structures d'eau traitées sont mises en valeur par des façades et des plans d'eau visibles.

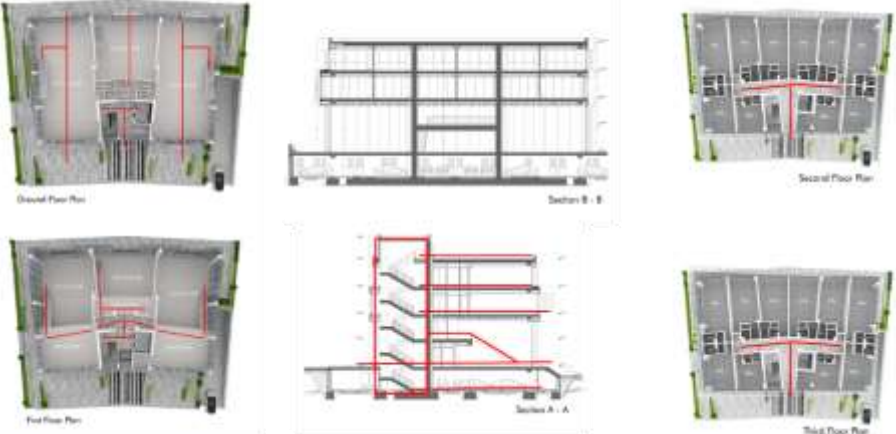
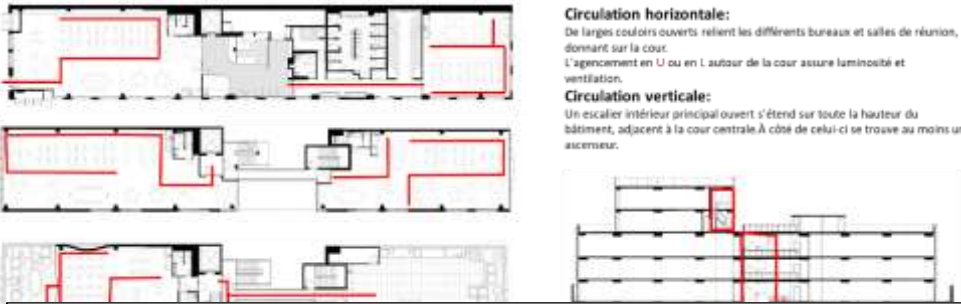
Administration de	Exemple 3 : ADE	 Bâtiment principal de trois étages, de forme rectangulaire, avec un toit plat. La volumétrie est compacte et simple, garantissant une efficacité fonctionnelle optimale.	 La conception repose sur les principes de fonctionnalité et d'efficacité, privilégiant une séparation claire entre les services administratifs, techniques et logistiques. -Le bâtiment privilégie la simplicité et la solidité de la structure, sans privilégier la décoration ou le symbolisme. -Il adopte un style moderne et fonctionnel: façades plates, fenêtres horizontales et organisation intérieure rationnelle.
de Sonelgaz	Exemple 1 : Barcode Complex / AIArchitecture	 Le bâtiment se compose d'un bloc rectangulaire s'étendant horizontalement sur un rez-de-chaussée et trois étages. Cette forme simple et symétrique offre une base flexible pour la répartition des <u>fonctions</u> administratives et reflète la volonté des concepteurs de préserver la clarté de l'espace et la fluidité des déplacements.	 La forme globale du projet s'inspire du symbole du code-barres, un concept traduit visuellement par une façade composée de bandes verticales répétées d'aluminium, représentant un rythme visuel organisé entre les espaces et les blocs, tout comme les colonnes noires d'un code-barres.

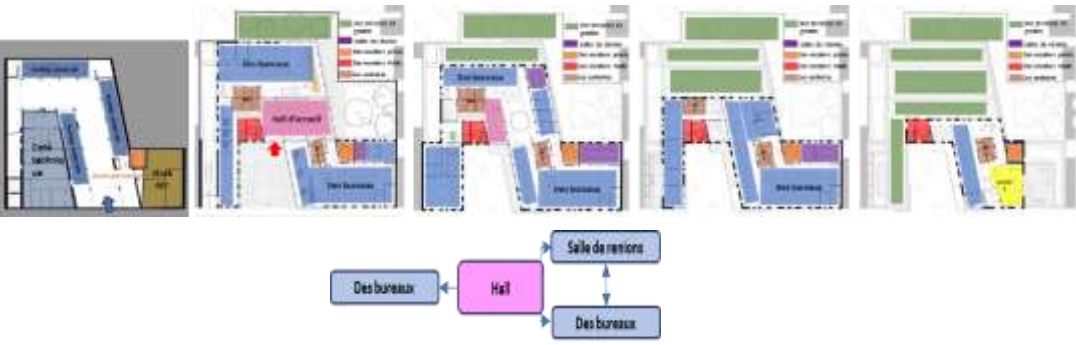
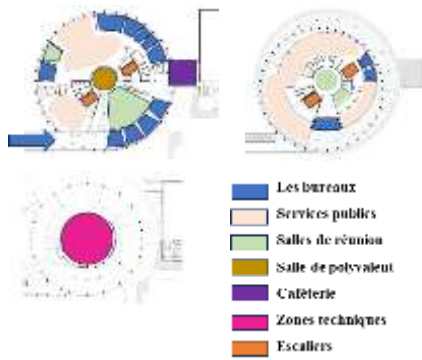
Une agence Exemple : 2 Zero Gipps Office Building / SJB	 La volumétrie architecturale du bâtiment reflète un principe de conception fondamental : <u>la connexion équilibrée entre la volumétrie historique horizontale et l'intervention moderne verticale.</u>	 La conception architecturale du bâtiment Zero Gipps repose sur un concept fondamental : <u>« Revitaliser un bâtiment industriel patrimonial et le transformer en un espace de bureaux moderne, performant et respectueux de l'environnement, sans perdre l'esprit historique du lieu. »</u> L'idée fondamentale est de relier le passé au 
---	--	--

1.24 Étude interne :

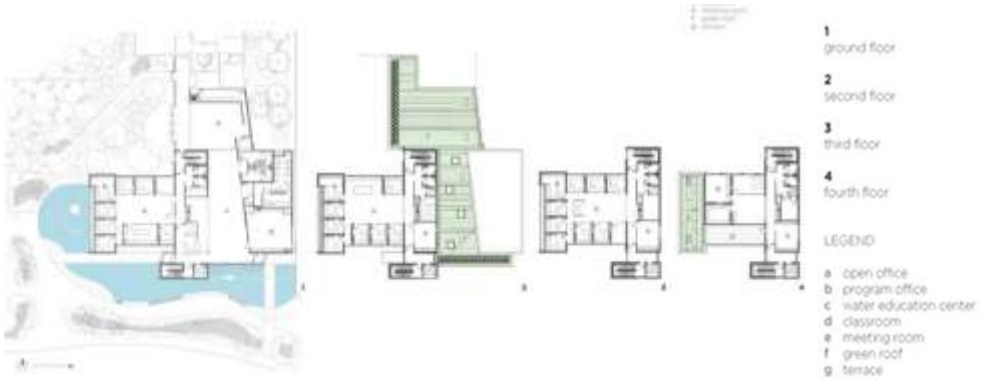
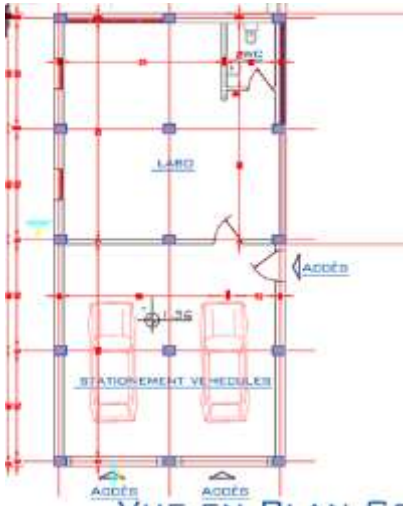
		Circulation
Une mairie Exemple : 1 Willebroek		    La circulation est conçue pour être fluide et intuitive. L'entrée principale, bien visible, oriente naturellement les visiteurs, tandis que l'accès au parking souterrain est positionné à proximité pour séparer les flux piétons et véhicules. À l'intérieur, des escaliers et ascenseurs stratégiquement placés pour relier les étages. Les espaces de circulation, ouverts et transparents, favorisent l'accessibilité et l'interaction, offrant une expérience fonctionnelle et accueillante.
Une mairie Exemple : 2 Huis van Albrandswaard		    Le bâtiment adopte une **organisation en plan circulaire**, ce qui influence directement la logique de circulation. La circulation, organisée en boucle autour d'un noyau central, est fluide, intuitive et favorise l'accessibilité, tout en maintenant un lien fort avec le paysage extérieur.

	Exemple :3 Mairie de ville Biskra	  Accès direct depuis la rue principale à un hall d'entrée public. -Des couloirs latéraux desservent les autres services administratifs. -Un escalier intérieur mène à l'étage supérieur.
Municipal en eau	Exemple 1: V'Tria Architectes	 Circulation verticale: Plusieurs points de circulation verticale sont judicieusement disposés : Des escaliers ouverts menant à la cour permettent la visualisation et l'interaction. Des rampes relient les différents niveaux, respectant la pente naturelle du terrain et contribuant à son intégration au contexte. Des ascenseurs sont disponibles pour l'accès vertical, répondant aux exigences d'accessibilité des personnes à mobilité réduite.  Les deux blocs principaux (nord et sud) sont reliés par de larges couloirs horizontaux ouvrant sur l'atrium. Ce qui distingue la circulation dans ce projet, c'est la liberté de choisir son itinéraire : -on peut monter les escaliers ou utiliser les rampes. -on peut traverser la cour ou faire demi-tour par les couloirs latéraux.
L' approvisionnement	Exemple 2: LOTT Clean Water Alliance Regional Services Center	 1 ground floor 2 second floor 3 third floor 4 fourth floor LEGEND a open office b program office c water education center d classroom e meeting room f green roof g terrace Dans ce projet, la circulation représente un élément fondamental de la philosophie de conception, alliant fonctionnalité, durabilité et expérience pédagogique. Les parcours sont organisés de manière claire et fluide pour desservir trois segments principaux : <u>les employés, les visiteurs et les apprenants</u>, au sein d'une structure architecturale unique et intégrée.

Administration de	Exemple 3 :	 Une entrée centrale est réservée aux clients. -Des couloirs intérieurs clairs et directs relient les services fonctionnels. -Des entrées secondaires à l'arrière sont réservées aux agents de maintenance et aux techniciens. -Une séparation relative est assurée entre les employés et les résidents des étages.
de Sonelgaz	Exemple 1 : Barcode Complex / A1Architecture	 Un plan linéaire simple a été adopté, avec un <u>noyau</u> de services central servant d'élément fixe facilitant les déplacements verticaux et réduisant la complexité des parcours.
Une agence	Exemple 2: Zero Gipps Office Building / SJB	 Circulation horizontale: De larges couloirs ouverts relient les différents bureaux et salles de réunion, donnant sur la cour. L'agencement en U ou en I, autour de la cour assure luminosité et ventilation. Circulation verticale: Un escalier intérieur principal ouvert s'étend sur toute la hauteur du bâtiment, adjacent à la cour centrale. À côté de celui-ci se trouve au moins un ascenseur. Le bâtiment s'articule autour d'une cour intérieure ouverte (puits de lumière), point central de l'organisation. -Cette cour permet à la lumière naturelle de pénétrer à l'intérieur du bâtiment et offre un point d'orientation clair aux usagers. -La circulation favorise une circulation fluide, verticale et horizontale, sans aucune sensation
Organisation spatiale et fonctionnelle		

	Exemple 1 : Willebroek	 Le bâtiment administratif de Willebroek, présente une organisation spatiale et fonctionnelle pensée pour intégrer harmonieusement les services municipaux et favoriser l'interaction avec les citoyens. L'agencement intérieur est conçu pour offrir un service rapide et de qualité, avec un accès aisé aux différentes administrations depuis les zones d'accueil. Une large ouverture circulaire dans le plafond relie visuellement les deux étages ouverts au public, renforçant la connexion entre les espaces. À l'arrière, des terrasses en gradins couvertes de toits verts préservent l'intimité des habitations voisines tout en offrant une vue verdoyante depuis les bureaux.
Une mairie	Exemple 2 : Huis van Albrandswaard	Le bâtiment adopte une organisation spatiale centrée autour d'un noyau circulaire qui regroupe les fonctions communes comme l'accueil et la circulation. Les bureaux, salles de réunion et services publics s'organisent de manière radiale, facilitant l'accès et la lecture des espaces. Une gradation claire sépare les zones publiques des espaces plus privés. L'intérieur est flexible grâce à des cloisons modulables, et baigné de lumière naturelle grâce aux grandes ouvertures, offrant une lisibilité et un confort optimal. Enfin, la connexion visuelle avec l'extérieur est permanente, et certains espaces s'ouvrent directement sur le paysage environnant. 

	Exemple 3 : Mairie de ville Biskra	L'entrée centrale, claire et visuellement dominante, mène directement à une grande cour intérieure, servant de point de distribution vers les autres services municipaux. -Les bureaux administratifs sont répartis de chaque côté: Un hall d'accueil ou de services civils à l'avant -Les bureaux du notaire, de l'état civil et de l'administration locale au rez-de-chaussée -Les bureaux officiels ou les salles de réunion se trouvent à l'étage. -La cour avant constitue un espace urbain important, permettant aux citoyens de se réunir et d'attendre.
Municipal en eau	Exemple :1 VTria Architectes	Le bâtiment est divisé en deux blocs principaux : Le bloc nord, bas (2 étages), abrite les bureaux administratifs. Le bloc sud, haut (3 étages), abrite les fonctions techniques et d'encadrement, ainsi que les salles de réunion. -Les deux blocs sont séparés par un atrium, qui sert d'axe visuel et organisationnel, réunissant les différentes fonctions et facilitant la communication entre elles.

L' approvisionnement	Exemple 2 : LOTT Clean Water Alliance Regional Services Center	 1 ground floor 2 second floor 3 third floor 4 fourth floor LEGEND a open office b program office c water education center d classroom e meeting room f green roof g terrace Le bâtiment se compose de quatre étages, chacun ayant une fonction spécifique. -L'organisation repose sur un axe longitudinal horizontal reliant tous les espaces par un couloir principal, véritable colonne vertébrale du projet. -La transparence visuelle est un élément essentiel: les visiteurs peuvent observer la plupart des activités derrière des façades vitrées, sans compromettre leur intimité. -La connexion entre l'intérieur et l'extérieur est assurée par des passerelles et des pontons sur l'eau, faisant de la navigation une partie intégrante du programme éducatif.
Administration de	Exemple 3 : ADE Biskra	 Rez-de-chaussée : Espace d'accueil des citoyens (guichet). Espaces d'attente clients. Bureaux de service client et de facturation. Étages : Bureaux administratifs et des ressources humaines. Locaux techniques et un centre de données simple. Salle de réunion ou siège de la direction. Arrière : Garage pour véhicules techniques. Stockage du matériel et des canalisations. Un espace de préparation des interventions techniques. 

De Sonelgaz	Exemple 1 : Barcode Complex / AI Architecture	 La distribution des étages assure l'adaptabilité des espaces fonctionnels Functional Diagram Office <table border="1"> <thead> <tr> <th>fonctionnel</th> <th>l'emplacement</th> <th>Caractéristiques</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Accueil et entrée</td> <td>Rez-de-chaussée, façade sur rue</td> <td>Ouvert, accessible, entrée claire, identité architecturale</td> </tr> <tr> <td>Espaces de travail</td> <td>Étages</td> <td>Bureaux indépendants et semi-indépendants, équipés de balcons végétalisés, offrant intimité et éclairage naturel</td> </tr> <tr> <td>Déplacements verticaux</td> <td>Centre de gravité</td> <td>Ascenseurs, escaliers et sanitaires, facilitant les déplacements verticaux efficacement et en toute sécurité</td> </tr> <tr> <td>Espaces intermédiaires</td> <td>entre les façades intérieure et extérieure</td> <td>Balcons, plantes, ventilation naturelle et espaces détente</td> </tr> <tr> <td>Services techniques</td> <td>Distribution dissimulée</td> <td>Ventilation, électricité et internet dissimulés dans les plafonds et les murs</td> </tr> </tbody> </table>	fonctionnel	l'emplacement	Caractéristiques	Accueil et entrée	Rez-de-chaussée, façade sur rue	Ouvert, accessible, entrée claire, identité architecturale	Espaces de travail	Étages	Bureaux indépendants et semi-indépendants, équipés de balcons végétalisés, offrant intimité et éclairage naturel	Déplacements verticaux	Centre de gravité	Ascenseurs, escaliers et sanitaires, facilitant les déplacements verticaux efficacement et en toute sécurité	Espaces intermédiaires	entre les façades intérieure et extérieure	Balcons, plantes, ventilation naturelle et espaces détente	Services techniques	Distribution dissimulée	Ventilation, électricité et internet dissimulés dans les plafonds et les murs
fonctionnel	l'emplacement	Caractéristiques																		
Accueil et entrée	Rez-de-chaussée, façade sur rue	Ouvert, accessible, entrée claire, identité architecturale																		
Espaces de travail	Étages	Bureaux indépendants et semi-indépendants, équipés de balcons végétalisés, offrant intimité et éclairage naturel																		
Déplacements verticaux	Centre de gravité	Ascenseurs, escaliers et sanitaires, facilitant les déplacements verticaux efficacement et en toute sécurité																		
Espaces intermédiaires	entre les façades intérieure et extérieure	Balcons, plantes, ventilation naturelle et espaces détente																		
Services techniques	Distribution dissimulée	Ventilation, électricité et internet dissimulés dans les plafonds et les murs																		

1.25 Synthèses d'analyses

Tableau 6: Synthèses d'analyses. Source : Auteur

Synthèse	Une mairie	Administration de l'approvisionnement municipal en eau	Une agence de Sonelgaz
Site et Contexte	Centre urbain, place publique	Voie de service à l'extérieur du centre	Zone industrielle ou en périphérie de la ville
Volumétrie	Dôme + Tour + Symétrie claire	Bloc rectangulaire fonctionnel	Séparer les blocs par fonction (administrative/technique)
Concept de design	Représentation symbolique + patrimoniale	Fonctionnel et simple	Technologie, rationalité, concentration sur la sécurité
Routes et accessibilité	Facile, ouvert sur la rue principale	Bon, semi-ouvert	Entrée limitée et autorisée uniquement
Les Entrées	Entrée principale centrale + côté pour les employés	Entrée principale pour les citoyens + entrée arrière pour les techniciens	Entrées administratives et techniques fermées
Organisation spatiale et fonctionnelle	Entrée centrale, bas-côtés	Séparation claire entre les bureaux et les services	Séparation stricte entre le personnel administratif, technique et celui des véhicules
Circulation	Horizontal vertical simple et clair	Profilé avec entrées d'air arrière	Contrôle spécifique et spécial pour l'entrée technique

Analyses du terrain

Étant donné que le sujet de notre recherche concerne la mise en place de systèmes de refroidissement intelligents dans les régions chaudes et que nous visons à appliquer ce système à l'intérieur du pays, notre choix de site se portera sur une ville au climat chaud et dotée d'un potentiel naturel, urbaines, architecturales et administratives importantes. La ville de Biskra est particulièrement adaptée à ce projet, car elle offre ces potentialités et répond ainsi de manière adéquate à nos besoins.

Nous présenterons la ville de Biskra pour connaître sa localisation et ses caractéristiques les plus importantes. Après cela, nous entamerons une lecture climatique et morphologique afin de pouvoir nous adapter aux conditions naturelles de la région.

L'objectif est de concevoir un projet basé sur l'utilisation des ressources naturelles disponibles dans l'environnement, contribuant ainsi à réduire l'impact environnemental et à développer des solutions innovantes qui sont adaptées aux conditions climatiques locales de la ville de Biskra, tout en fournissant de l'énergie de manière durable.

1.26 Présentation de la ville Biskra :

1.26.1 Situation et accessibilité de la ville :

La wilaya de Biskra est située dans le sud-est du pays, au pied des montagnes de l'Aurès, qui constituent la limite naturelle entre elle et le nord. Elle s'étend sur une superficie estimée à 50 980,21 km² et compte 33 communes et 12 daïras :

Source : ([الموقع الرسمي لولاية بسكرة](#))

- La wilaya de Batna au Nord.
- La wilaya de Khenchela au Nord - Est.
- La wilaya de M'Sila au Nord - Ouest.
- La wilaya de El Oued au Sud -Est.
- La wilaya de Djelfa au Sud - Ouest.
- La wilaya de Ouargla au Sud.

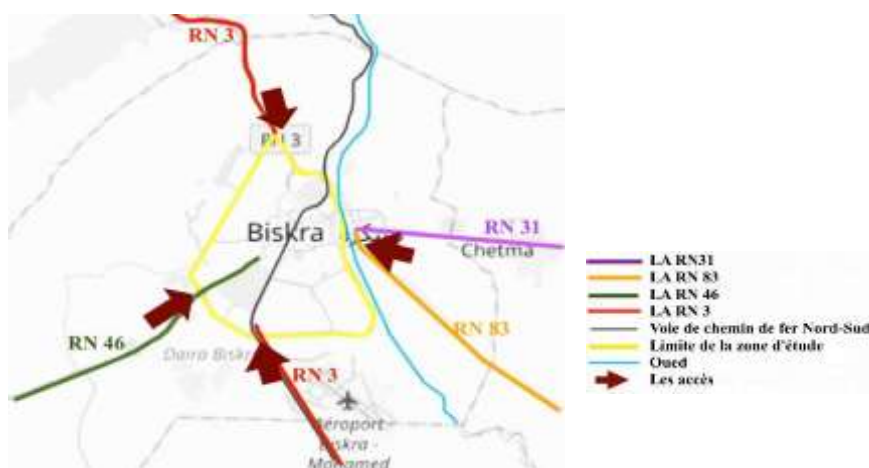


Figure 49: situation et accessibilité de ville Biskra ; source : auteur, fond de carte Google map

La ville est accessible par les réseaux routiers voire :

- L'A RN 83 reliant Biskra à Khenchela.
- LA RN 46 reliant Biskra à M'Sila.
- LA RN 3 reliant Biskra à Touggourt au sud et Batna au Nord.

1.26.2 Hydrographie de la ville de Biskra :

La wilaya de Biskra est traversée par plusieurs oueds qui constituent un réseau hydrographique simple qui ne fonctionne qu'en hivers ou pendant les pluies exceptionnelles. Ces Oueds prennent naissance dans le massif des Aurès. Leur importance dépend des bassins versants qu'ils drainent.

1.26.3 Situation démographique :

Une étude démographique visant à évaluer l'évolution de la population de la ville de Biskra est essentielle pour la création de tout projet.

La population totale de la wilaya est estimée à 775 797 habitants (2010), soit une densité moyenne de 36 habitants par Km².

1.26.4 Analyse climatologique :

Tableau 7: données climatologique/source : (Météo Biskra - meteoblue).

1.27 Choix du terrain :

Dans la zone d'étude, nous avons identifié trois terrains libres qui semblent intéressants pour accueillir des projets d'équipements publics. Le choix final sera fait après avoir évalué les avantages et les inconvénients de chacun de ces terrains.

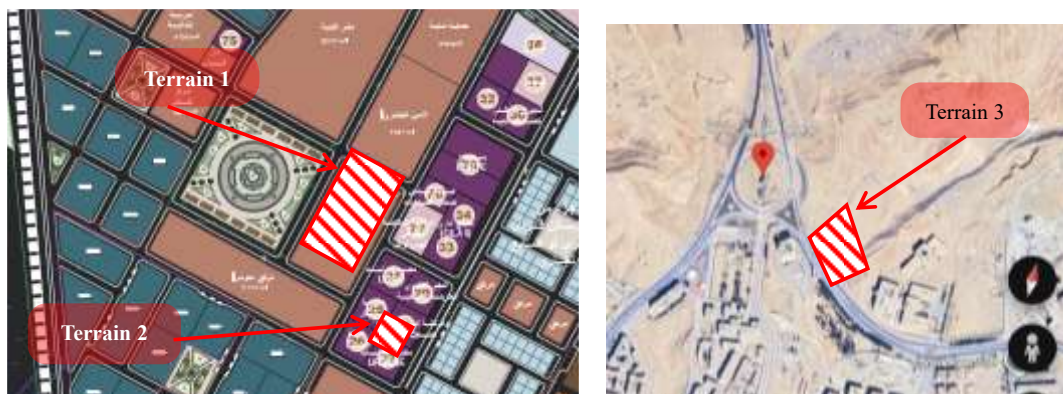


Figure 50: les terrains libres repérés source : Google Maps traité par l'auteur

Un choix primitif élimine le troisième terrain à cause de son éloignement des équipements public, un critère qui ne convient pas un projet. Les deux terrains restants sont presque similaires en termes d'emplacement et accessibilité, (dans un site pour des projets proposés et en cours de réalisation).

Le choix final s'est porté sur le premier terrain en raison des avantages qu'il présente et qui répondent à nos besoins :

- Le site est proposé pour un équipement public dans le plan d'occupation des sols pour l'expansion occidentale future, N°01 approuvé en 2015.
- Le site est stratégiquement situé le long des principales routes interurbaines.
- Le terrain du projet se trouve dans un quartier administratif, proche des logements, des établissements éducatifs et université
- L'emplacement du projet au sein d'un nouveau développement urbain ouvre la voie à de nombreuses opportunités et un fort potentiel de croissance.

1.28 Présentation du site :

1.28.1 Situation géographique et accessibilité :

Stratégiquement situé le long des principaux axes routiers interurbains, le projet offre une accessibilité inégalée.



Figure 52: la situation de terrain/Source : Google Earth, traitée par l'auteur

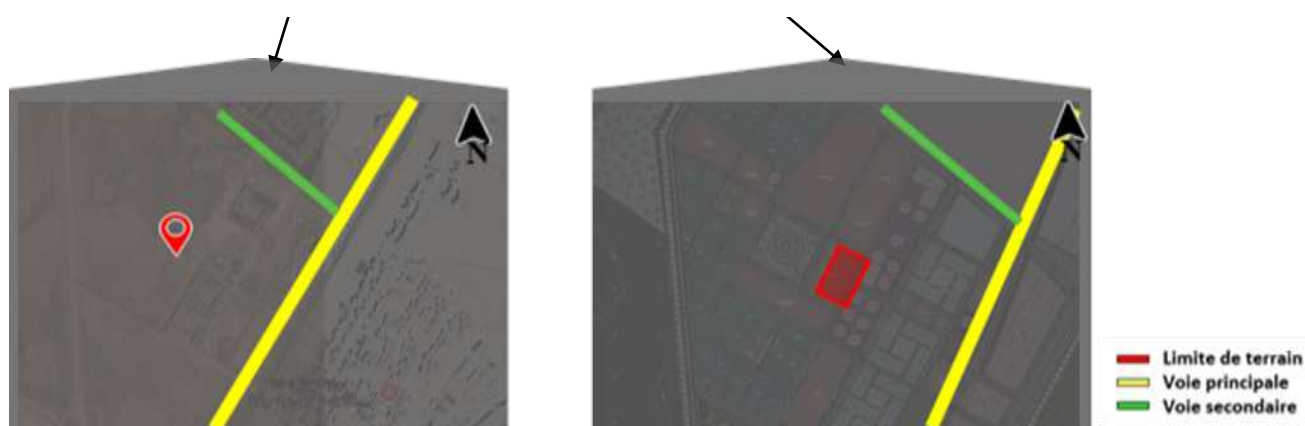


Figure 52: L'accessibilité de terrain/Source : Google Earth, Le POL Aménagement 2022, traitée par l'auteur

1.28.1.1 Localisation du terrain pour la ville :

Le terrain du projet est situé dans la zone (El Kours, Le nouveau centre urbain de la région ouest de Biskra) à côté de la route nationale menant à l'état de Batna N3, et Complexe sportif Sidi-Yahia. Il se trouve à 3,66 km du centre-ville (10 minutes en voiture).



Figure 53: Localisation du terrain, Source : Google Earth, traitée par l'auteur

1.28.2 Les limites du terrain :

Le terrain est limité par des équipements publics de tous côtés. Etant donné que



Figure 54: Les limites du terrain. Source : POS de la nouvelle agglomération ouest- Biskra)

- L'environnement du terrain est encore de réalisation et que les hauteurs correctes des équipements adjacents ne sont pas disponibles, celles-ci ont été placées approximativement.

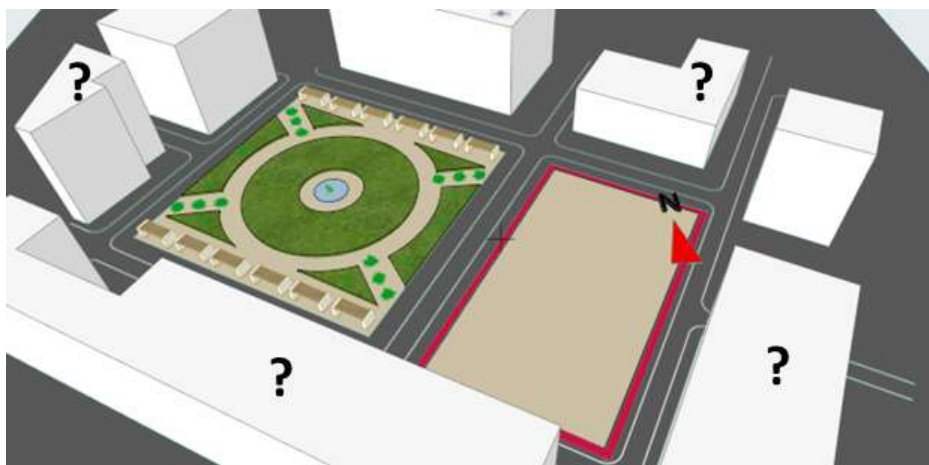


Figure 55: Le terrain en 3D. Source : Auteur



Figure 56 : Les projets font partie du portfolio du concours DUCH, comprenant une liste de projets sélectionnés et leurs cabinets d'architectes respectifs, dont quelques-uns (Qaqi Nour al-din / Belmasoud Abbas).

1.28.3 La morphologie :

- La forme du terrain est rectangle

De surface : 9920 m²

Dimensions : 130 m * 76.50 m

- Topographie du terrain :

Le site se situe sur une plaine de faible relief.

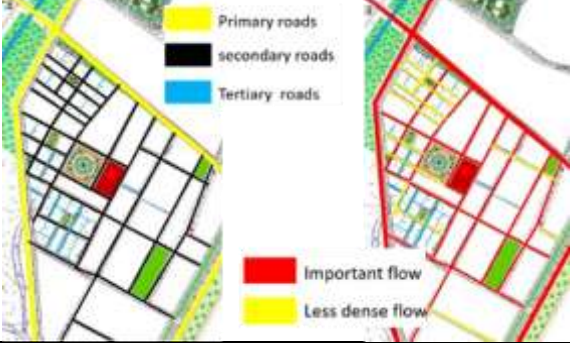


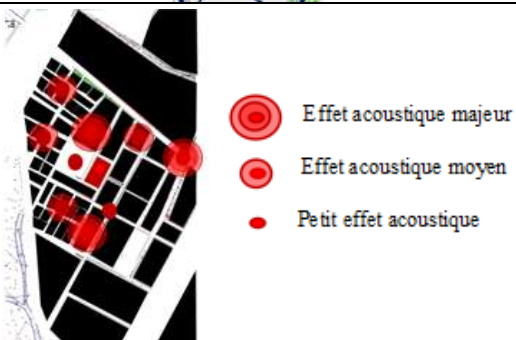
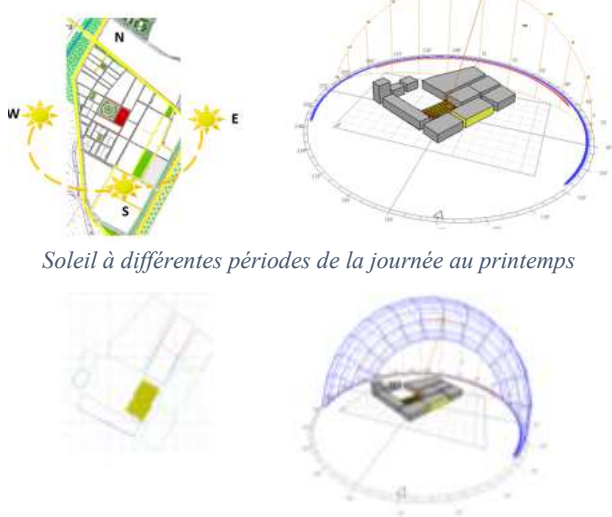
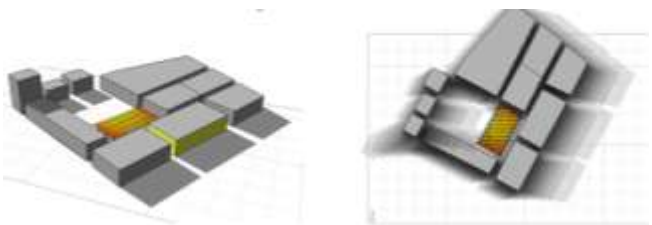
Figure 57: Profile du terrain /Source : Google Earth, traitée par l'auteur

Le site bénéficie d'un terrain naturellement plat, de forme rectangulaire régulière, comportant deux moitiés, l'une est plate, ce qui minimise les efforts d'excavation, simplifiant la réalisation, tandis que l'autre moitié, présentant des pentes, exige une optimisation stratégique pour une mise en œuvre globale efficace du projet.

1.28.4 Analyses

Tableau 8: analyses site

<u>Mobilité</u> Transport (bus) qui le rendent facile d'accès depuis toutes les directions comme nous pouvons le voir sur la figure.	
<u>Routes et accessibilité</u> En termes de servitude, deux routes principales traversent la zone sélectionnée : la rocade ouest de Biskra à l'ouest et la N03 au nord.	
<u>Système bâti et non bâti</u> En étudiant l'espace bâti on remarque une forte densité de bâtiments par rapport aux zones non bâties, après avoir utilisé le logiciel Photopea (équivalent de Photoshop) pour définir le nombre de pixels sur la carte PDAU, on retrouve 79 % de bâti et 21 % de non bâti pour cette zone d'étude ce qui conclut que les espaces statistiquement pliés sont majoritaires.	 La partie non bâtie, qui représente 21 % de la surface, représente principalement les espaces verts et la végétation au sein de la zone d'étude
<u>Les espaces verts</u> Les espaces verts de notre zone d'étude sont caractérisés par de petites poches dédiées aux habitants, avec seulement trois espaces verts significatifs, indiquant une proportion limitée de verdure dans l'ensemble de la zone	

<u>Vent</u> Les directions dominantes du vent sont du sud-est et du nord-ouest	
<u>Acoustique</u> Le projet est englobé par un large éventail de sources de bruit émanant de toutes les directions, contribuant ainsi à un environnement acoustique aux multiples facettes	
<u>Soleil</u> Le site maximise l'exposition au soleil pendant l'hiver en exploitant stratégiquement la lumière solaire disponible du sud et de l'ouest, tandis que les bâtiments voisins le protègent de l'est et du nord. En revanche, pendant l'été, le projet bénéficie de la lumière du soleil dans toutes les directions, profitant de la position plus élevée du soleil dans le ciel	 <i>Soleil à différentes périodes de la journée au printemps</i> <i>Trajet solaire annuel</i>
<u>Ombre</u> L'analyse des chiffres révèle que le site est à l'abri des ombres projetées par les bâtiments environnants en périphérie, tandis que la zone centrale reste dégagée à différentes périodes de la journée	 <i>Portée d'ombre à tout moment de la journée</i>

<u>Réseau et assainissement</u> Les figures illustrent une répartition distincte des services publics sur le site, avec l'infrastructure électrique située du côté est, les installations de gaz situées du côté ouest et les infrastructures de traitement des eaux usées et d'eau potable situées au nord. Cette répartition organisée des services publics assure un réseau de distribution systématique et efficace, contribuant à la fonctionnalité et à la planification globales du site	
<u>Le bâti existant dans le secteur</u> Bien que la zone soit relativement isolée et que les constructions existantes y soient peu nombreuses, le site constitue un espace viable et aisément aménageable pour accueillir le projet. La position stratégique du point topographique initial, clairement identifiable, facilite grandement l'implantation et la mise en œuvre du projet dans son environnement.	

1.29 Les points forts et faibles au terrain

Tableau 9: Les points forts et faibles au terrain

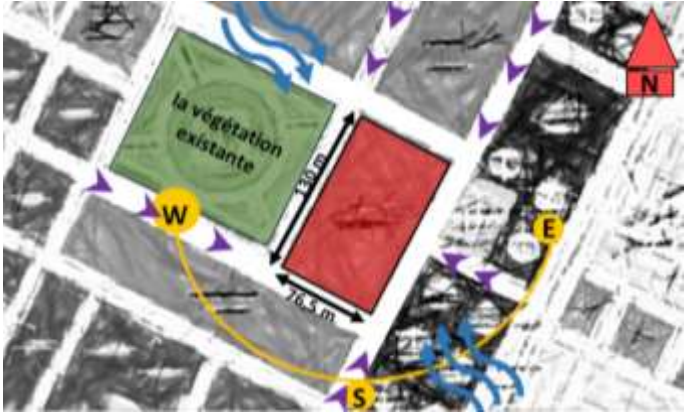
Les points forts	Les points faibles
------------------	--------------------

• Emplacement stratégique le long des principales routes interurbaines, facilitant l'accessibilité régionale. • Implantation dans un quartier administratif, renforçant la vocation institutionnelle du projet. • Proximité immédiate des zones résidentielles ainsi que des infrastructures éducatives et universitaires. • Intégration dans un tissu urbain diversifié, propice à une vie communautaire riche et dynamique. • Localisation dans la zone d'expansion ouest de la ville de Biskra, offrant un fort potentiel de développement. • Bonne desserte en transports en commun (notamment les lignes de bus) depuis toutes les directions. • Orientation favorable selon le parcours solaire, permettant une gestion optimisée de l'ensoleillement et de l'ombrage. • Réseau de services publics bien structuré, garantissant une organisation fonctionnelle et efficace des infrastructures.	1. Le terrain est en cours de réalisation • Une forte densité de constructions par rapport aux espaces non bâtis. • Une présence limitée de végétation dans l'ensemble de la zone.  Figure 58: Les points forts et faibles au terrain Source : Google Earth, traitée par l'auteur
---	--

Eléments du passage

Pour conclure l'analyse de site, les principales caractéristiques et données sont regroupées dans un tableau synthétique, présenté sous forme d'éléments de passage pour une lecture claire et concise.

Tableau 10: Eléments de passages.

Eléments de passage	
Surface et forme Et Le climat	 ✓ une forme rectangulaire, offrant une flexibilité dans le design. ✓ La forte exposition au soleil de l'ouest nécessite une orientation du bâtiment vers le nord ou l'est, ainsi que l'intégration d'arbres pour favoriser l'ombrage naturel et la ventilation, assurant ainsi un confort thermique optimal.

Accessibilité	→ une facilité d'accès Proximité immédiate des équipements administratifs. des équipements publics majeurs. commerciales ou de services. ✓ Le site bénéficie d'une excellente accessibilité (nous avons choisi le nord et l'est pour notre site)
Parking	"Les sous-sols du bâtiment sont dédiés au stationnement, permettant ainsi de libérer les surfaces en rez-de-chaussée pour des usages plus représentatifs et fonctionnels. Cette organisation spatiale présente également un avantage technique, en offrant une visibilité directe sur les conduites du système du puits canadien situées au plafond du niveau inférieur, facilitant ainsi les interventions de maintenance, de contrôle ou de réglage sans perturber les fonctions des espaces supérieurs."
Espace vert	✓ L'accès intégré aux espaces verts adjacents apporte une valeur à la fois environnementale et esthétique au projet, offre une certaine protection. "Le projet sera implanté au centre du site, avec des espaces verts répartis de manière organisée pour soutenir ses fonctions environnementales et architecturales, en plus de l'application de toitures végétalisées pour renforcer l'isolation thermique et améliorer la qualité de l'air."

Installation du système Puit Canadien	Diagram illustrating the installation of a Canadian well system. It shows a cross-section of the ground with a building, a garden, and a well. Labels include: 'Distribution d'air' (Air distribution), 'Les tuyaux' (The pipes), 'Entrée d'air' (Air intake), 'Le jardin' (The garden), and 'Ground Level'. Diagram illustrating the installation of a Canadian well system. It shows a cross-section of the ground with a building, a garden, and a well. Labels include: 'Air chaud' (Hot air), 'Jardin' (Garden), 'Le sol' (The soil), 'Canalisations' (Pipes), 'Air froid' (Cold air), and 'Le bâti' (The building). Temperature indicators are shown: +30° for the garden and +20° for the building. "Le jardin adjacent sera exploité pour l'installation du système de refroidissement passif du bâtiment via la technique du puits canadien, assurant ainsi une efficacité fonctionnelle sans compromettre l'esthétique du site."
Masse gradation	"Une gradation des volumes bâtis sera adoptée afin de réduire le rayonnement solaire direct et d'améliorer la ventilation naturelle, contribuant ainsi au confort thermique des espaces intérieurs." Diagram illustrating the gradation of building volumes. It shows a cross-section of a building with a stepped roofline and a garden. The label 'Le bâti' (The building) is present.
Zonage	Venn diagram showing the intersection of three zones: Mairie (Municipality), Sonelgaz (Energy), and ADE (Urban Development). The central intersection is labeled 'Espaces verts centrales' (Central green spaces). Site plan diagram showing the layout of the building and surrounding spaces. The building is represented by a green oval, and the surrounding areas are outlined in red and blue. "Un patio central commun aux trois fonctions sera intégré, favorisant la connexion visuelle et fonctionnelle. Il sera agrémenté de végétation contribuant à la qualité de l'air et à la ventilation naturelle des espaces adjacents."

Chapitre IV : Architectural

Introduction

L'espace architectural est le reflet direct de la compréhension humaine de son environnement et de ses besoins quotidiens. Ainsi, concevoir un bâtiment administratif ne se limite pas à une simple organisation fonctionnelle, mais devient un dialogue constant entre usage, confort et sentiment d'appartenance. Ce chapitre aborde les aspects architecturaux d'un projet de bâtiment administratif à fonctions multiples, développé selon une vision globale qui prend en compte la relation entre l'utilisateur et l'espace, ainsi que le climat et les technologies durables.

Le chapitre commence par une lecture attentive des données naturelles et climatiques du site, pour aboutir à un concept architectural adapté à ces spécificités, intégrant un système de refroidissement intelligent basé sur le puits canadien comme solution écologique favorisant le confort thermique sans compromettre l'identité architecturale. Le développement passe ensuite par les différentes étapes de conception, de l'idée initiale à l'organisation fonctionnelle et la configuration spatiale, avec un accent particulier sur l'aspect humain, garantissant un environnement de travail agréable et stimulant.

Programme surfacique :

Après avoir analysé plusieurs exemples de bâtiments administratifs, mené des recherches approfondies sur les espaces fonctionnels et étudié les différences d'aménagement entre diverses configurations architecturales, nous avons réussi à définir un programme spatial optimal qui répond à l'ensemble des besoins fonctionnels et techniques de notre projet.

Tableau 11: Programme surfacique. Source : Auteure.

Fonction	Espace	N	S(m²)	ST(m²)
Réception	Entrée et Hall de réception	1	150	150
Espaces Public	Salle d'attente	1	100	100
	Salle polyvalente	1	100	100
	Cafétéria	1	80	80
	Des espaces de repos	1	300	300
	Total			730
Secteur La Mairie				
<u>Accueil et Administration</u>	Hall d'accueil et réception	1	50	50
	Bureau du maire	1	25	25
	Secrétariat général	1	20	20
	Salle de réunion	1	40	40
	Total			135
<u>Etat Civil et Citoyenneté</u>	Salle d'attente	1	25	25
	Guichet Unique	1	50	50
	Bureau des naissances et mariages	2	20	40
	Service des cartes d'identité	1	30	30
	Total			145
<u>Urbanisme et Aménagement</u>	Bureau des permis de construire	1	40	40
	Service du cadastre	1	40	40
	Bureau des services techniques	1	30	30
	Total			110
<u>Services Techniques</u>	Bureau des aides sociales	1	30	30
	Service de la propreté	1	30	30
	Stockage	1	25	25
	Sanitaires	2	15	30

	Total			115
	Total			505
Secteur Sonelgaz				
<u>Accueil</u> et <u>Service</u> <u>client</u>	Hall d'accueil et réception	1	50	50
	Guichet de paiement	1	40	40
	Bureau d'information et réclamation	1	30	30
	Total			120
<u>Secteur</u> <u>Administrati</u> <u>f</u>	Bureau du directeur d'agence	1	25	25
	Secrétariat général	1	20	20
	Bureau des ressources humaines	1	30	30
	Bureau de comptabilité et finances	1	30	30
	Salle de réunion	1	40	40
	Total			145
<u>Sect</u> <u>eur</u> <u>com</u> <u>merc</u>	Bureau des abonnements et contrats	1	30	30
	Service de facturation	1	30	30
	Total			60
<u>Secteur</u> <u>Techniqu</u> <u>es</u>	Bureau des interventions et dépannage	1	25	25
	Salle de contrôle et supervision	1	30	30
	Stockage	1	25	25
	Sanitaires	2	15	30
	Total			110
	Total			435
Secteur ADE				
<u>Accueil</u> et <u>Service</u> <u>client</u>	Hall d'accueil et réception	1	50	50
	Guichet de paiement	1	40	40
	Bureau d'information et réclamation	1	30	30
	Total			120
<u>Secteur</u> <u>Administrati</u> <u>f</u>	Bureau du directeur	1	25	25
	Secrétariat général	1	20	30
	Bureau des ressources humaines	1	30	30
	Bureau de comptabilité et finances	1	30	30
	Salle de réunion	1	40	40
	Total			155
<u>Secteur</u> <u>Techni</u> <u>ques</u>	Bureau de suivi et contrôle des réseaux	1	30	30
	Stockage	1	25	25
	Sanitaires	2	15	30
	Total			85
	Total			360
	<u>Salle de</u> <u>sécurité et</u> <u>de</u> <u>contrôle</u>	1	20	20

<u>Parking</u>	2	200	400
Total			2450

Approche conceptuelle

Idée :

Le Noyau Administratif – Un Cœur Battant au Service du Citoyen

L'idée fondatrice de ce projet est de repenser le bâtiment administratif traditionnel, en dépassant sa simple fonction d'accueil et de traitement des démarches administratives.

Mon ambition est de créer un véritable "cœur vivant", un espace central où efficacité, accessibilité et qualité de service se conjuguent harmonieusement.

Le Noyau Administratif se veut être le point névralgique de la vie citoyenne, un lieu où les services essentiels (Mairie, ADE, Sonelgaz) sont regroupés et mutualisés pour offrir une expérience usager plus fluide, plus rapide et plus humaine.

Au-delà de la centralisation des services, le projet s'inscrit dans une démarche de durabilité et de performance environnementale :

- ✓ Réduction de l'empreinte écologique grâce à l'optimisation énergétique et l'intégration de solutions bioclimatiques comme le puits canadien.
- ✓ Mutualisation des ressources pour limiter les coûts d'exploitation et favoriser une gestion plus responsable.
- ✓ Amélioration du confort des usagers et du personnel, à travers des espaces lumineux, ventilés naturellement, modulables et ouverts sur l'environnement extérieur.

Le bâtiment est conçu comme un repère urbain moderne, porteur d'une nouvelle image de l'administration publique, plus proche, plus accessible et plus respectueuse de son environnement.

Il devient ainsi un véritable lieu de vie et d'échanges, un noyau actif au service du citoyen, et non plus seulement un espace bureaucratique fermé.

Objectifs :

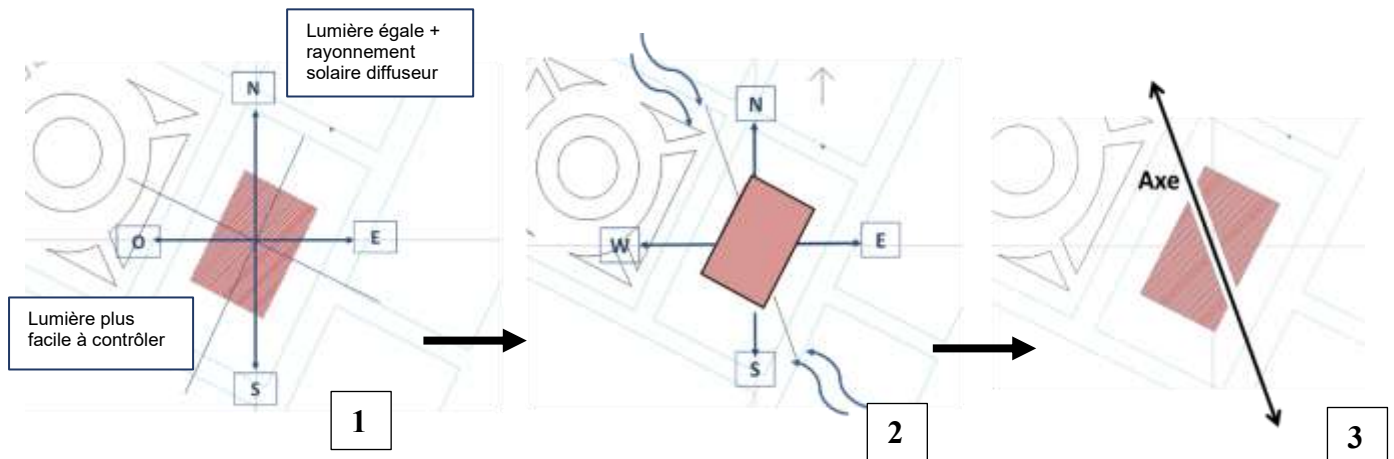
- Favoriser l'interaction entre les citoyens et les services administratifs :
Concevoir des espaces fluides et accessibles, qui encouragent la proximité et le dialogue entre l'administration et les usagers.
- Assurer une flexibilité fonctionnelle des espaces :
Créer des zones modulables pouvant évoluer selon les besoins futurs des différents services administratifs (Mairie, ADE, Sonelgaz...).
- Optimiser l'éclairage naturel :
Exploiter la lumière du jour au maximum grâce à des ouvertures bien orientées, tout en évitant l'éblouissement et la surchauffe.
- Renforcer l'identité architecturale du bâtiment :
Offrir une image institutionnelle forte, contemporaine et représentative des valeurs de transparence, de modernité et d'efficacité.
- Créer un environnement de travail sain et confortable :
Intégrer des solutions architecturales favorisant le bien-être des utilisateurs : qualité de l'air intérieur, vues sur l'extérieur, contrôle de la température...
- Promouvoir l'intégration paysagère :
Concevoir un bâtiment qui dialogue avec son environnement immédiat, en intégrant des espaces verts, des zones d'ombrage et des solutions végétales passives.

Concept architectural :

➤ **Première étape :**

1. Commencer par une forme simple, basique mais fonctionnelle, similaire aux formes autour de la zone.

2. Orienter le bâtiment Nord-Est /Sud-Ouest, en adéquation avec l'orientation de terrain

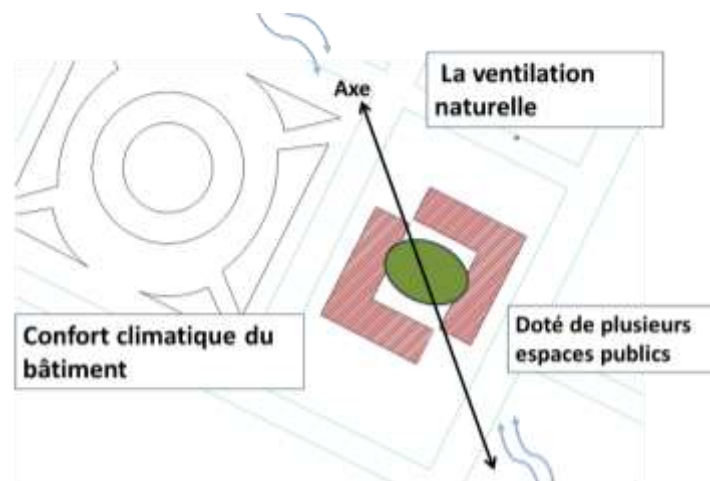


3. Donc, le volume bâti sera fragmenté selon l'axe des vents dominants, afin de maximiser la ventilation naturelle et d'assurer une répartition efficace du flux d'air à travers le projet.

➤ Deuxième étape :

Une cour centrale ventilée sera aménagée au cœur du projet, permettant :

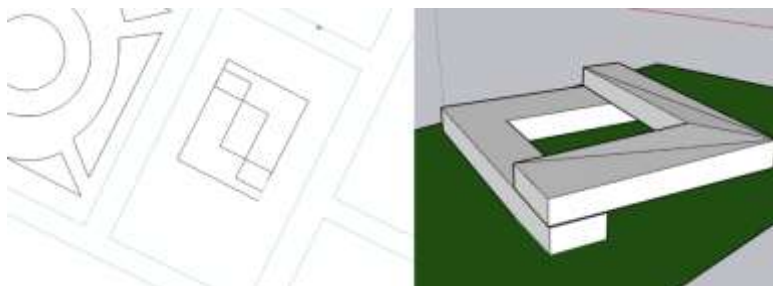
- Favoriser la ventilation naturelle
- Améliorer le confort climatique intérieur
- Créer un espace de rencontre et de convivialité pour les usagers.



Cet aménagement s'inscrit dans une logique bioclimatique, en facilitant la circulation des flux d'air et en contribuant à la qualité environnementale du bâtiment.

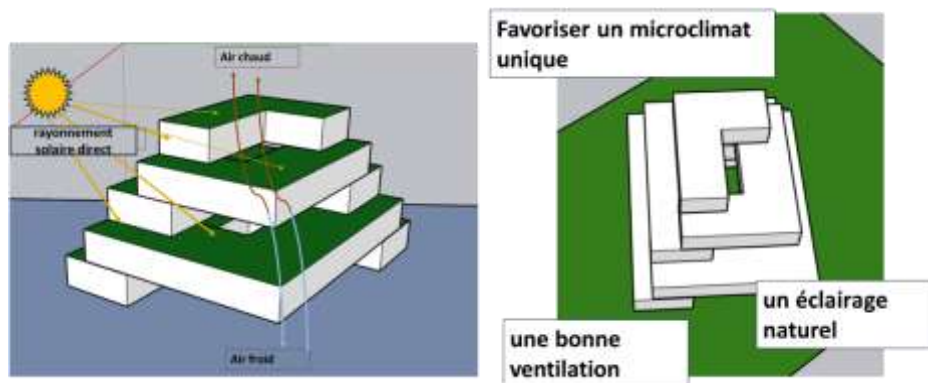
➤ Troisième étape :

La forme sera adoptée avec un volume géométrique en adéquation avec les orientations fonctionnelles et climatiques du projet.



➤ Quatrième étape :

Ajoutant des niveaux en fonction des besoins fonctionnels et des exigences du programme architectural. Cette approche permettra de faire émerger, au fil de la conception, une forme pyramidale finale, traduisant le principe de gradation architecturale.



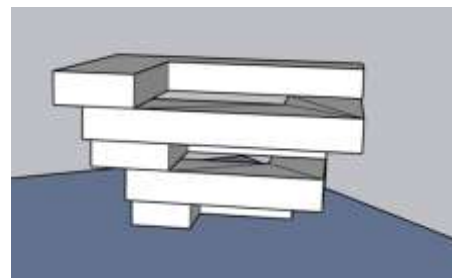
Mais la multiplicité des terraces exposées au rayonnement solaire direct constitue l'un des principaux défis climatiques du projet, nécessitant l'intégration de solutions architecturales adaptées.

➤ Cinquième étape :

Nous avons expérimenté deux solutions architecturales afin de répondre aux problématiques identifiées.

1. L'inversion de la forme :

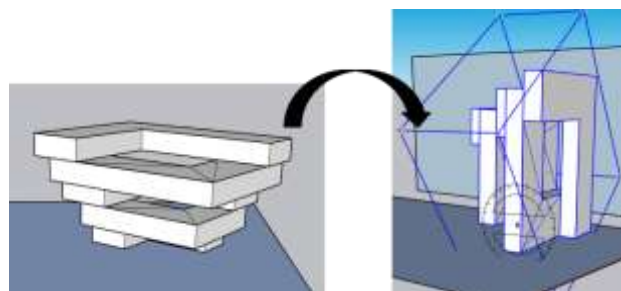
L'inversion de la forme, en retournant le volume, permet de préserver les surfaces vitrées tout en créant des zones d'ombre sur l'ensemble du bâtiment.



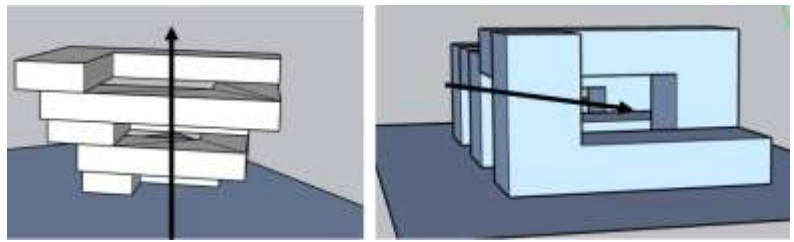
- Cette solution apporte une réponse efficace à la problématique de l'exposition solaire, mais elle génère en contrepartie des défis structurels importants, risquant de fragiliser la stabilité de l'édifice et de compliquer sa mise en œuvre.

2. Changement d'orientation du noyau centrale :

Afin de résoudre la problématique de l'ensoleillement tout en évitant les contraintes structurelles liées à la solution précédente :

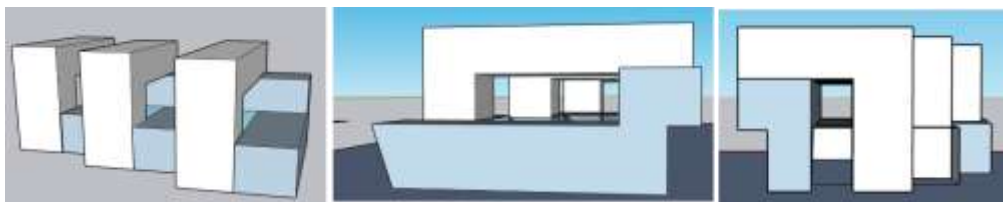


Nous avons opté pour une approche architecturale basée sur le changement d'orientation de le noyau centrale, passant d'une configuration verticale à une disposition horizontale.

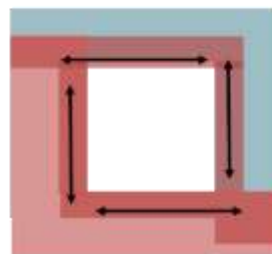
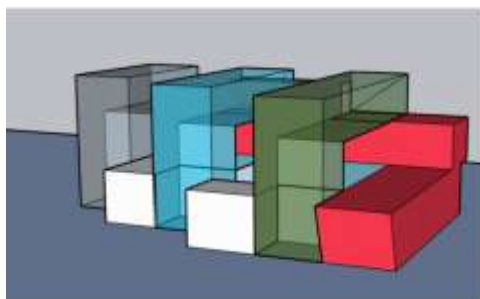


Cette solution permet de créer :

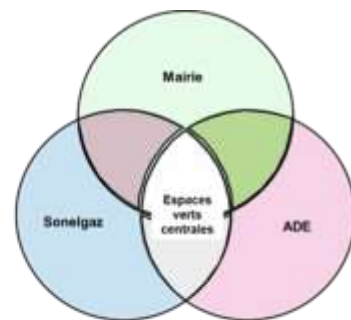
- Un espace ombragé.
- Offrant une bonne qualité d'éclairage naturel.
- Une ventilation efficace provenant de différentes directions.
- Contribuant ainsi à l'amélioration du confort thermique et de la qualité de l'air intérieur du bâtiment.



Sur le plan fonctionnel, le projet se caractérise par la centralisation des services au sein d'un seul bâtiment, tout en assurant la séparation claire et organisée de chaque fonction administrative. Cette approche permet de faciliter l'orientation des usagers, d'optimiser la gestion des flux et de garantir l'efficacité opérationnelle de chaque entité.



La circulation



Présentation du projet

Plan de localisation

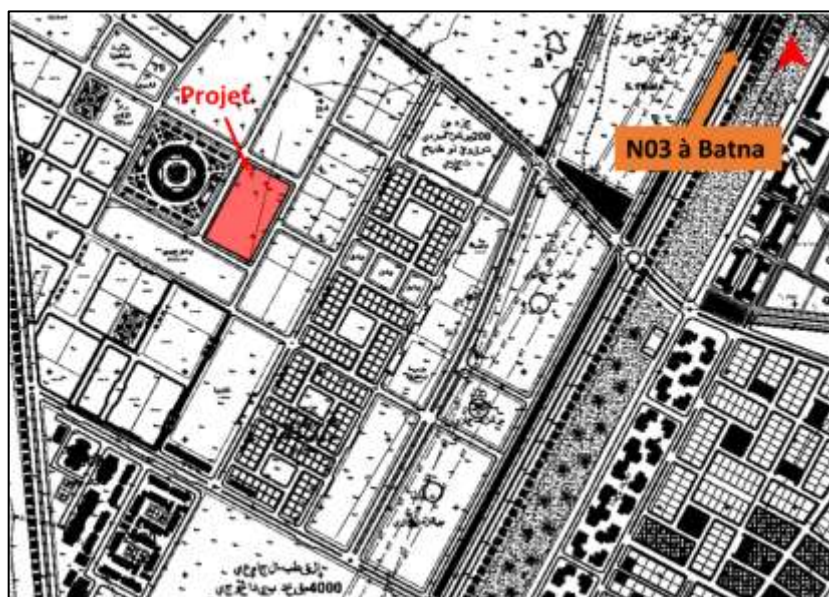


Figure 59: Plan de situation.

Plan de masses

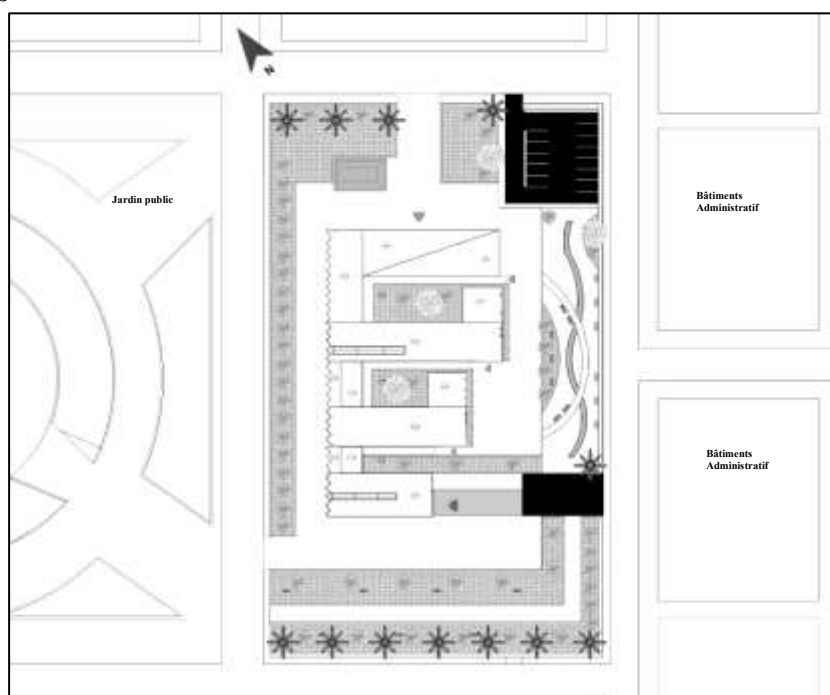


Figure 60: Plan de masse 1/200

Plan d'assemblage



Figure 61: Plan d'assemblage 1/100

Plans d'étages

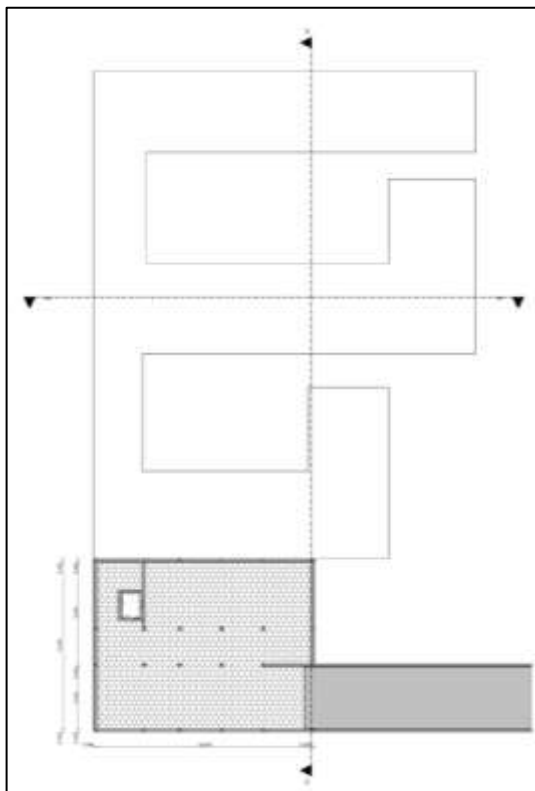


Figure 63: Plan Parking Sous-sol 1/100



Figure 62: Plan RDC 1/100

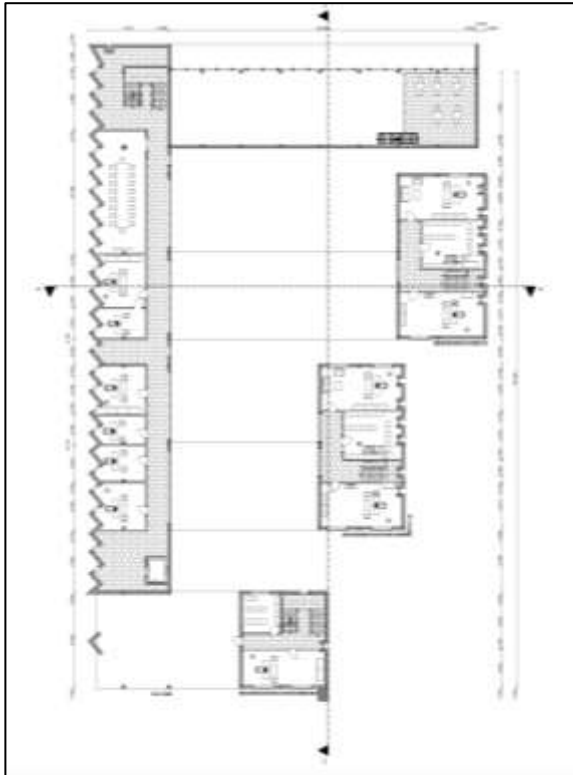


Figure 65: Plan 1ere Etage 1/100

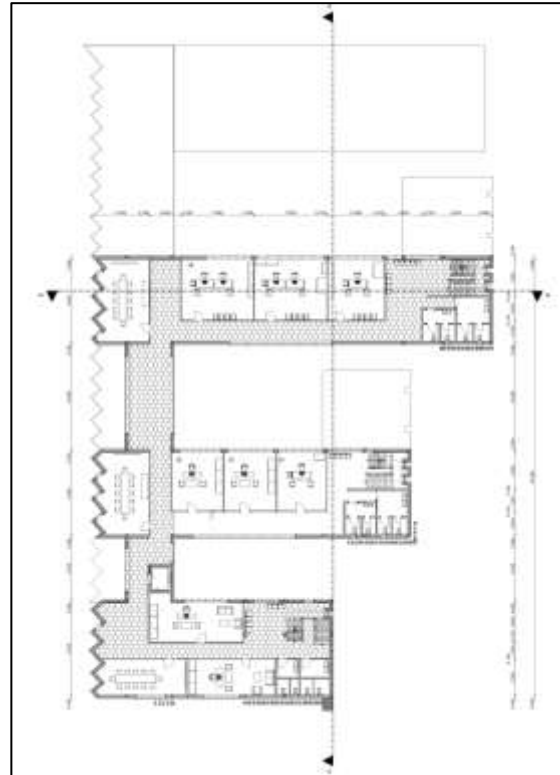


Figure 64: Plan 2eme Etage 1/100

Les façades

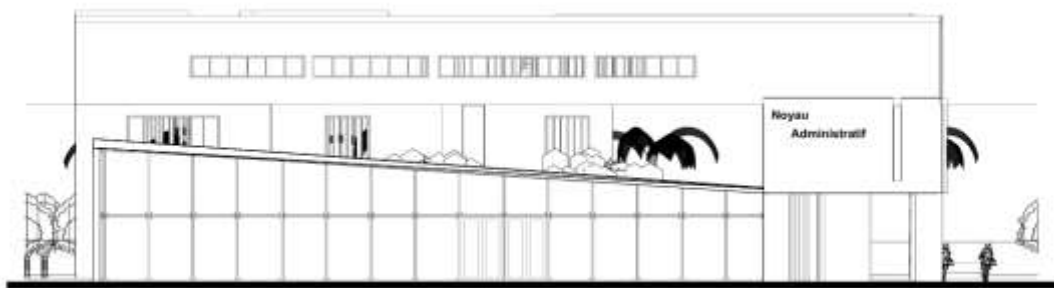


Figure 66: Façade Principal Nord-Est 1/100



Figure 67: Façade Nord-Ouest 1/100

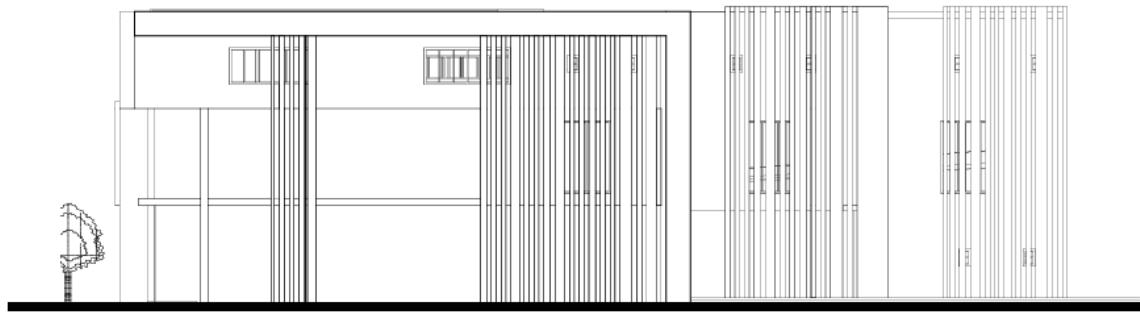


Figure 69/ : Façade Sud-Ouest 1/100

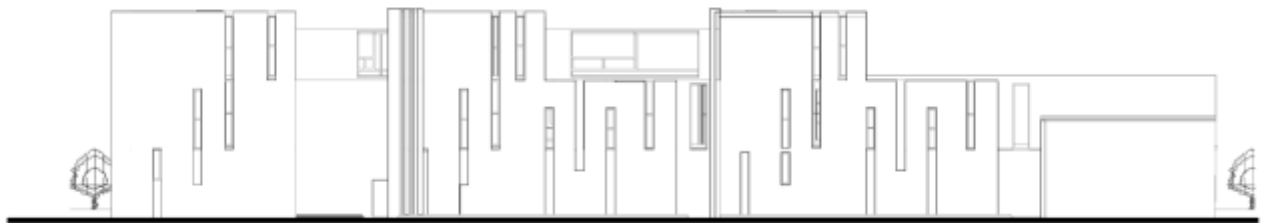


Figure 68 : Façade Sud-Est 1/100

Les coupes

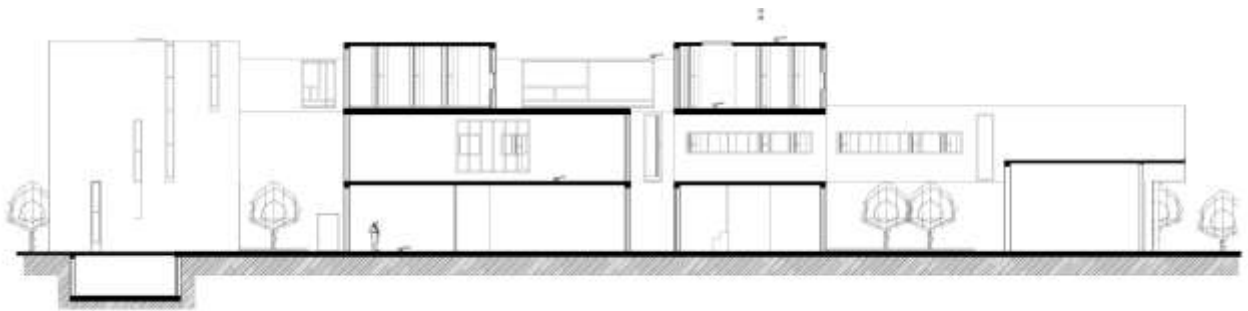


Figure 70: Coupe A-A 1/100

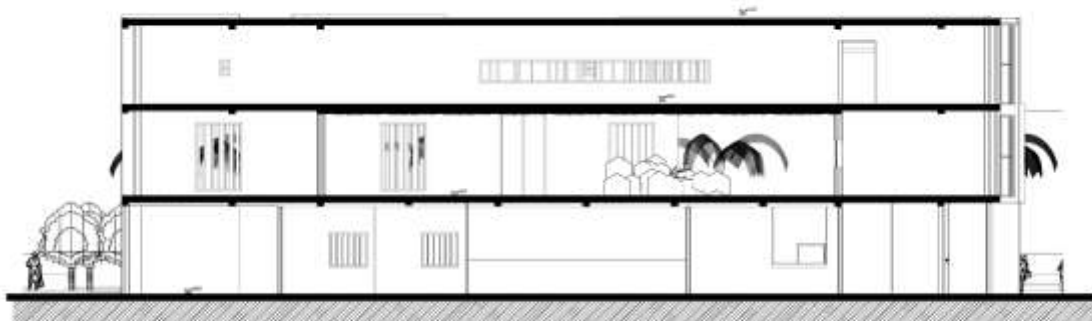


Figure 71: Coupe B-B 1/100

Rendus



Figure 74: Façades en couleur



Figure 73: Plan de mass en couleur



Figure 72: Rendus extérieurs



Figure 75: rendus intérieurs



Figure 76: Différents vues

Conclusion Général

Conclusion générale

Face à l'accélération du changement climatique, à la rareté croissante des ressources naturelles, et à l'augmentation continue de la consommation énergétique, le secteur du bâtiment est appelé à repenser ses approches en matière de confort thermique. Ce mémoire s'est ainsi inscrit dans une réflexion globale sur la nécessité de développer des solutions durables et innovantes, spécialement adaptées aux climats chauds et arides, à l'image de celui de la ville de Biskra.

L'étude a mis en évidence l'efficacité des systèmes de refroidissement passifs, en particulier celle du puits canadien, dans la régulation thermique des bâtiments. Ce système, fondé sur l'échange thermique entre l'air extérieur et la stabilité thermique du sol, présente plusieurs avantages : réduction de la consommation énergétique, amélioration de la qualité de l'air intérieur, et contribution significative au confort des usagers.

Les analyses théoriques ont permis de classer les différents systèmes de refroidissement, actifs et passifs, et de démontrer l'intérêt de recourir à des stratégies bioclimatiques dans la conception architecturale. Le puits canadien, en tant qu'élément de couplage géothermique, se distingue par sa capacité à préchauffer l'air en hiver et à le rafraîchir en été, grâce à une installation souterraine stratégique et bien dimensionnée.

L'étude contextuelle, centrée sur la ville de Biskra, a souligné l'urgence d'adapter les bâtiments aux contraintes climatiques locales. L'analyse du climat, des ressources, du site et des exemples architecturaux régionaux et internationaux a permis de démontrer que l'application de solutions passives intelligentes est non seulement envisageable, mais hautement souhaitable. Le recours à la domotique, à l'IoT et aux capteurs de régulation permet une gestion précise et réactive du système, optimisant ainsi son rendement.

Dans la dernière phase du travail, l'intégration pratique de ces concepts dans un projet architectural concret a confirmé la faisabilité et l'efficacité de la démarche. Le projet de bâtiment administratif multifonctionnel proposé, conçu avec une logique bioclimatique, intègre un système de puits canadien piloté par Arduino, permettant une surveillance en temps réel de l'humidité du sol et du flux d'air. Ce prototype, associé à un programme architectural bien pensé, démontre que technologie et architecture peuvent agir de concert pour améliorer le confort thermique tout en réduisant l'empreinte énergétique.

En conclusion, ce travail met en lumière l'apport essentiel de l'architecture bioclimatique alliée aux technologies intelligentes pour faire face aux défis contemporains. Le puits canadien, par sa simplicité, sa robustesse et son potentiel d'adaptation, s'avère être une solution viable pour les zones arides comme Biskra. Au-delà de l'expérimentation technique, cette recherche ouvre la voie à une intégration plus systématique des systèmes passifs dans les politiques de construction durable, en mettant l'humain, le climat et la technologie au cœur de la réflexion architecturale.

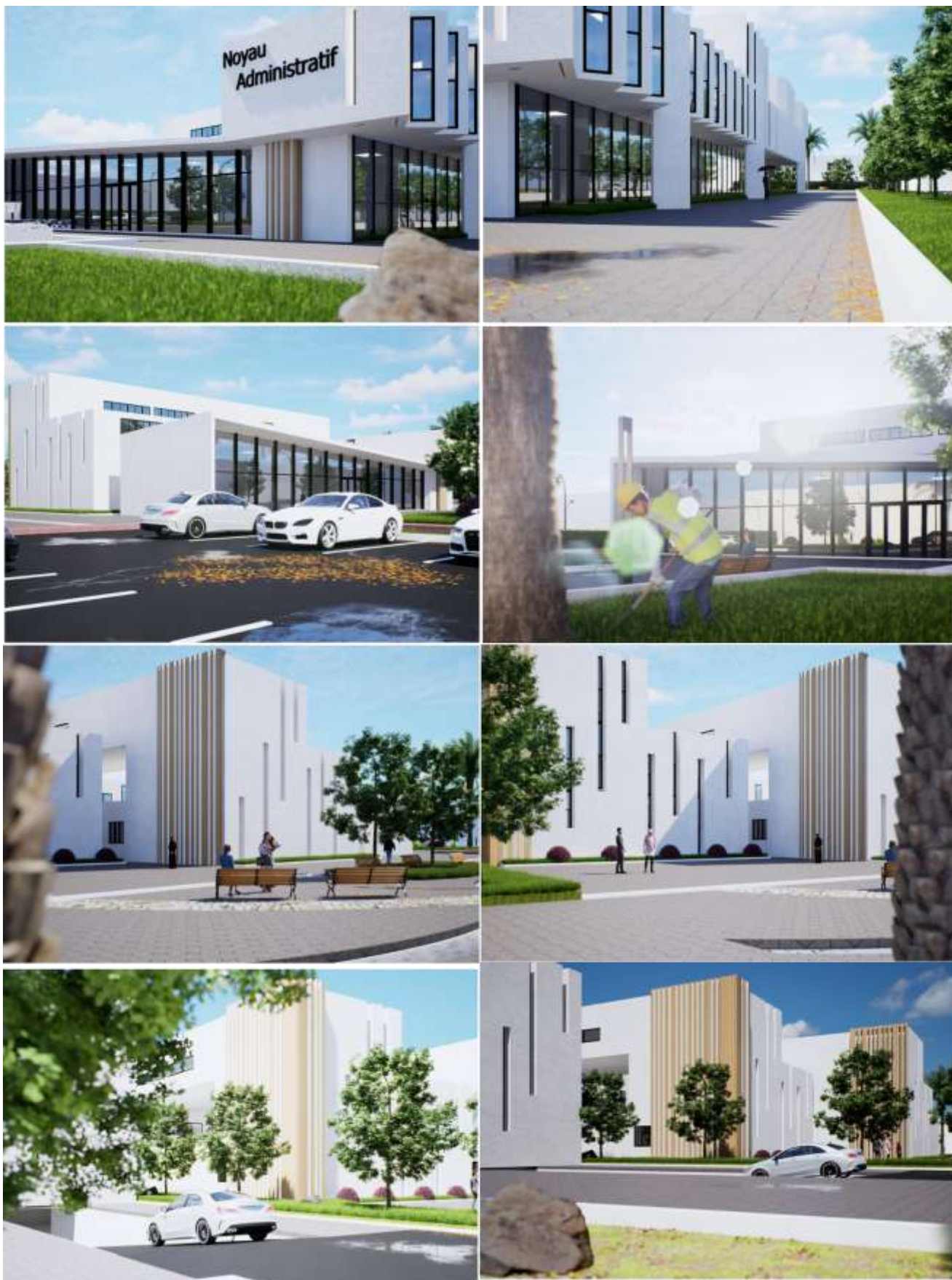
Bibliographie

2. Agrawal, K., Rohit , M., & Das Ag, G. (2019). Experimental Study to Investigate the Effect of Backfilling Materials on Thermal Performance of Ground Air Heat Exchanger System. *J. Thermal Sci. Eng. Appl. Apr 2020, 12(2)*.
3. Joaquim Vaz Miguel , A., Sattler Ruth da , S., Brum Elizaldo, D., & dos Santos Li' ercio , A. (2013). An experimental study on the use of Earth-Air Heat Exchangers (EAHE). *Energy and Buildings*.
4. Sriti, L., & Khadraoui, M. (2017). Étude expérimentale du comportement thermique d'une façade ventilée dans un climat chaud et aride. . *Revue des Energies Renouvelables, 20(4)*, 626–634.
5. Bahadori, M. (1978). Passive cooling systems in Iranian architecture. . *Sci. Am.; (United States)*, 238:2.
6. Belkadi, M., & Smaili , A. (2015). Etude de faisabilité de la liquéfaction du gaz naturel. *Revue des Energies Renouvelables Vol. 18 N°2* , 287 – 301 .
7. BELLOUFI, Y. (2017). Etude théorique et expérimentale de l'exploitation de la géothermie dans le réchauffement ou le refroidissement d'un fluide caloporteur utilisé pour le confort thermique de l'habitat. *Doctorat LMD en : Génie Mécanique, Université Mohamed Khider – Biskra*.
8. Ben aoun, c. (2019). Les stratégies passives de refroidissement pour un bâtiment de bureau dans les zones arides : Le cas du siège de mairie à El Oued. *Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra*.
9. Ben Cheikh, H., & Bouchair, A. (2004). Passive cooling by evapo-reflective roof for hot dry climates. *Renewable Energy(29)11*, 1877-1886.
10. Fabrice, B. (2024). IoT, IA et Systèmes de Refroidissement : La Révolution de la Surveillance et du Contrôle en Temps Réel. *DEMETER-FB*.
11. FICHE TECHNIQUE DE L'ÉTUDE DE CAS, Étude de cas 5 – Bureau commercial, Kelowna . (2021). *No de cat. M91-19*.
12. G, M., M, S., & D, A. (1994). On the cooling potential of earth to air heat exchangers. *Energy Conversion and Management(35)5*, 395-402.
13. Georgios , F., & Soteris , K. (2007). Ground heat exchangers—A review of systems, models and applications. *Renewable Energy(32)15*, 2461-2478.
14. Giouli , M., Manolis , S., Maria, P., George , H., John, P., Sofoklis , M., & Spiros , P. (2022). Applications of earth-to-air heat exchangers: A holistic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews(115)*.
15. Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. New York: Van Nostrand Reinhold.
16. Herold, K., Radermacher, R., & Sanford A, K. (1996). *Absorption Chillers and Heat Pumps. CRC Press*.
17. Hollmuller, P. &. (2001). Cooling and preheating with buried pipe systems: monitoring, simulation and economic aspects. *Energy and Buildings, 5*, 509–518. .
18. Hugues , B., & Potvin, A. (2008). Refroidissement passif : Outil d'évaluation et d'aide à la conception architecturale. *In Proceedings of eSim*, 57–62.
19. Jean, C., Gauzin, M., Raphael, H., Jean , L., Christel, M., Benjamin , T., & Milan, Z. (2014). *Neufert, Les éléments des projrts de construction*. 5 rue Laromiguière, 75005 Paris: 11e édition française.
20. M, D., & A , J. (2003). Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers. *Energy and Buildings(35)4*, 389-397.

21. M'hidi, U. L. (2020). Chapitre 2 : Capteurs intelligents. *Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées, Département de Génie Électrique*.
22. Mattheos , S., & Dionysia , K. (2013). Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. *Energy and Buildings*(57), 74-94.
23. Mattheos , S., & Dionysia , K. (2013). Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. *Energy and Buildings*(57), 74-94.
24. Moummi , N., Benfatah, H., Hatraf, N., Moummi, A., & Youcef Ali , S. (2010). Le rafraîchissement par la géothermie: étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra. *Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3*, 399 – 406.
25. R, N. (2024). IA : ce qu'il faut savoir sur l'Intelligence Artificielle. *LeBigData.fr*.
26. Ramkishore , S., R.L, S., I.J, L., & V.V.N, K. (2018). Recent advancements in earth air tunnel heat exchanger (EATHE) system for indoor thermal comfort application: A review,. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(82)3, 2162-2185.
27. S, M., S, T., P, N., & N, P. (2013). Cooling performance and condensation evaluation of horizontal earth tube system for the tropical greenhouse. *Energy and Buildings*(66), 104-111.
28. Santamouris, M. (2005). *Passive cooling of buildings*. Advances in Solar Energy: Volume 16: 1st Edition.
29. Santamouris, M. (2006). Use of Earth to Air Heat Exchangers for Cooling. *International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme*.
30. Soni, S., Pandey, M., & Bartaria, V. (2015). Ground coupled heat exchangers: A review . *Mathematics and Computers in Simulation*, 55(1–3),, 271–280.
31. Spark, W. (2024). Météo moyenne à Biskra, Algérie, tout au long de l'année. *Consulté le 8 avril 2025*.
32. Stéphane , T., & Bruno , P. (2008). Thermal and environmental assessment of a passive building equipped with an earth-to-air heat exchanger in France. *Solar Energy* (82)9, 820-831.
33. Trilok , S., Anil , K., & Prashant , B. (2015). Energy metrics of earth–air heat exchanger system for hot and dry climatic conditions of India. *Energy and Buildings*(86), 214-221.
34. Vaz, J. e. (2011). Experimental and numerical analysis of an earth–air heat exchanger. . *Energy and Buildings*, 43(9), 2476–2482.
35. Woodson, T., Coulibaly, Y., & Traoré, E. (2013). Earth-Air Heat Exchangers for Passive Air Conditioning: Case Study . *Journal of Construction in Developing Countries*, 17(1).
36. Yanwei , Z., Dan, P., Meijie , C., Zhuo , C., & Hongjie , Y. (2022). Scalable aqueous processing-based radiative cooling coatings for heat dissipation applications. *Applied Materials Today*(26), 101298.
- 37.

Annexe A

Vues du projet







Annexe B :



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد خيضر بسكرة



عنوان المشروع:

تطوير نظام تهوية طبيعي بدمج الذكاء الاصطناعي
مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275

صورة العلامة التجارية



الاسم التجاري
GeoCool DZ

بطاقة معلومات:

حول فريق الاشراف وفريق العمل

1- فريق الاشراف:

فريق الاشراف	
المشرف الرئيسي (01): الأستاذ سعدي محمد ياسين	التخصص: هندسة معمارية
المشرف المساعد: الأستاذة دعيش صفا	التخصص: هندسة معمارية

2- فريق العمل:

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالبة: مختاري ريمة	هندسة معمارية	هندسة معمارية

فهرس المحتويات

المحور الأول: تقديم المشروع

المحور الثاني: الجوانب الابتكارية

المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق

المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم

المحور الخامس: الخطة المالية

المحور السادس: النموذج الاولي التجريبي

المقدمة العامة

في ظل التحديات البيئية والاقتصادية المتزايدة التي يواجهها العالم اليوم، أصبحت الحاجة إلى حلول مبتكرة ومستدامة في ميدان البناء والتجهيزات التقنية أكثر إلحاحًا من أي وقت مضى، لا سيما في المناطق ذات المناخات الحارة مثل الجزائر. ومن بين أبرز هذه التحديات، نذكر الاستهلاك المفرط للطاقة في أنظمة التبريد التقليدية داخل المباني، والانبعاثات الكربونية الناتجة عنها، بالإضافة إلى التكاليف التشغيلية المرتفعة.

تأتي هذه المذكرة في إطار دعم روح المبادرة وتشجيع الابتكار في الوسط الجامعي، وذلك تماشيًا مع القرار الوزاري رقم 1275 المتعلق بمرافقة حاملي المشاريع المبتكرة نحو إنشاء مؤسسات ناشئة. ويُعد هذا العمل ثمرة تفكير معمّق في إمكانية تطوير نظام تهوية طبيعي ذكي، يجمع بين مبدأ "البئر الكندي" وتقنيات الذكاء الاصطناعي، بهدف تحقيق راحة حرارية داخلية بأقل تكلفة طااقوية ممكنة، مع ضمان استدامة بيئية عالية.

تتمثل فكرة المشروع في تصميم وتطوير نظام تهوية طبيعي متقدم يعتمد على تبريد الهواء عن طريق مروره داخل أنابيب مدفونة تحت الأرض (نظام البئر الكندي)، ثم التحكم في تدفقه آليًا بواسطة حساسات وواجهة ذكاء اصطناعي تقوم بتحليل المعطيات البيئية بشكل لحظي. يسمح هذا النظام بتوفير بيئة داخلية مريحة وموفرة للطاقة في المباني الإدارية، التعليمية، والسكنية.

من خلال هذا المشروع، نسعى إلى تقديم حل محلي فعال ومبتكر، يمكن تصنيعه وتطويره في الجزائر، ويتماشى مع التوجهات العالمية نحو العمارة المستدامة والمدن الذكية. كما تهدف هذه الدراسة إلى التحقق من جدوى الفكرة من الناحية التقنية، السوقية، والمالية، مع اقتراح نموذج أولي قابل للتطبيق والتطوير.

المحور الأول: تقديم المشروع

بدأت فكرة المشروع عند ملاحظة التحديات الكبيرة التي تواجهها المباني الإدارية والسكنية في المناطق ذات المناخ الحار والجاف، مثل مدينة بسكرة، من حيث تحقيق الراحة الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة الكهربائية الناتج عن الاعتماد الكبير على أنظمة التكييف التقليدية.

من خلال التجارب الأكاديمية السابقة وخاصة أثناء إعداد مذكرة التخرج التي تناولت موضوع "أنظمة التبريد الذكية القابلة للتكيف مع المناخات الحارة"، ظهرت الحاجة الملحة إلى تطوير حلول مبتكرة ومستدامة تجمع بين فعالية الأداء وكفاءة الطاقة.

انطلاقاً من هذه المعايير الميدانية والدراسة المعمقة، جاءت فكرة إنشاء مؤسسة ناشئة متخصصة تحت اسم **"SmartClimate DZ"** (يمكنك تغيير الاسم للاسم الذي اخترته)، تهدف إلى تقديم أنظمة تبريد ذكية تعتمد على تقنيات التهوية الطبيعية مثل البئر الكندي (**Earth-Air Heat Exchanger**) ، مع دمجها بأنظمة تحكم إلكترونية تعتمد على **Arduino** وتقنيات إنترنت الأشياء (**IoT**) لرفع مستوى التحكم والمرونة في إدارة المناخ الداخلي للمباني.

الابتكار في هذا المشروع يتمثل في تقديم حل محلي الصنع، منخفض التكلفة مقارنة بالأنظمة المستوردة، قابل للتخصيص حسب احتياجات كل مبنى، وذو بعد بيئي قوي من خلال تقليل البصمة الكربونية.

الهدف الأساسي من المشروع هو تحسين جودة الحياة داخل المباني الجزائرية في المناخات الحارة، مع دعم التوجهات الوطنية نحو التنمية المستدامة وترشيد استهلاك الطاقة. كما يسعى المشروع إلى خلق فرص عمل جديدة في مجال

العنصر	المحتوى
اسم المشروع	البئر الكندي الذكي – نظام تهوية طبيعي متطور بدمج الذكاء الاصطناعي
مجال النشاط	التقنيات البيئية الذكية والتحكم المناخي في المباني
صاحبة المشروع	ريمة مخطاري
المشكل المعالج	الاستهلاك المفرط للطاقة في المباني بالمناخات الحارة، وانعدام حلول تهوية طبيعية فعالة
الفكرة المقترحة	تصميم نظام تهوية طبيعي يعتمد على البئر الكندي، مع دمج نظام تحكم ذكي بالذكاء الاصطناعي
أهداف المشروع	تحسين الراحة الحرارية – تقليل استهلاك الطاقة – تقليل البصمة الكربونية – إنتاج حل محلي
مكان الإنجاز	ولاية بسكرة
الفئة المستهدفة	المباني الإدارية، المدارس، المنازل في المناخات الحارة، الفنادق المستدامة
مستوى تقدم المشروع	في مرحلة الدراسة والتجريب الأولي (Prototype)

التكنولوجيا الخضراء والطاقة البديلة

❖ تعريف المشروع.

1. فكرة المشروع (الحل المقترح)

يتمثل المشروع في تطوير نظام تهوية طبيعي ذكي وفعال، يُعرف باسم "البئر الكندي الذكي"، وهو نظام يجمع بين التقنية التقليدية للتهوية الجوفية (Earth-to-Air Heat Exchanger) وتقنيات التحكم الحديثة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. يهدف هذا النظام إلى تحسين جودة الهواء داخل المباني وتوفير الراحة الحرارية مع تقليل استهلاك الطاقة بشكل كبير، مما يجعله حلاً بيئياً واقتصادياً مستداماً.

2. القيم المقترحة

يرتكز مشروع SmartClimate DZ على مجموعة من القيم المقترحة التي تمنحه ميزة تنافسية في السوق الجزائري والإقليمي، والمتمثلة فيما يلي:

- الابتكار التكنولوجي: توفير نظام تبريد ذكي يجمع بين تقنيات التهوية الطبيعية (مثل البئر الكندي) والتكنولوجيا الرقمية من خلال استخدام المستشعرات، التحكم الآلي، ومنصات المراقبة الذكية (Arduino)، (IoT)، مما يضمن أداءً عالياً وتجاوباً فورياً مع تغيرات الظروف المناخية.
- الاستدامة البيئية: الاعتماد على حلول صديقة للبيئة تساهم في الحد من استهلاك الطاقة وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، مما يدعم الجهود الوطنية لمواجهة التغير المناخي وتحقيق أهداف التنمية المستدامة.
- لتوفير في التكاليف التشغيلية: من خلال تقليل الاعتماد على مكيفات الهواء التقليدية، يساهم النظام في خفض فواتير الكهرباء للمؤسسات والمستخدمين النهائيين على المدى الطويل.
- الحلول المحلية والمخصصة: تصميم وتنفيذ أنظمة متكيفة مع الخصائص المناخية والمعمارية المحلية لكل مشروع (خصوصية المناخ الصحراوي، طبيعة التربة... إلخ)، مع إمكانية تخصيص البرمجة وفق احتياجات كل زبون.
- تحسين جودة الحياة الداخلية: تحقيق راحة حرارية داخلية مستقرة وطبيعية، مما يساهم في تحسين بيئة العمل في المباني الإدارية أو جودة الحياة في الفضاءات السكنية.
- سهولة الصيانة والاعتماد على موارد محلية: تصنيع محلي، قطع غيار متوفرة، تقنيات بسيطة وسهلة الصيانة مقارنة بالأنظمة المعقدة المستوردة.

- المساهمة في خلق فرص عمل: توفير فرص تشغيل للشباب في مجالات الهندسة المعمارية، الطاقة المتجددة، الإلكترونيات والبرمجة، مما يساهم في دعم الاقتصاد المحلي.

- مجال النشاط:

يندرج المشروع ضمن قطاع التقنيات البيئية الذكية والتحكم المناخي في المباني، وهو نشاط متعدد التخصصات يربط بين :

• الطاقات المتجددة والتحكم

• العمارة المستدامة.

• الابتكار الصناعي المحلي.

• الأنظمة الذكية (AI) +

3. فريق العمل

الطلبة	التخصص	الدورات التكوينية
مختاري ريمة	هندسة معماري	شهادة اللغة في مستوى A1 تربص ميداني على مستوى الوكالة الولائية للتسيير والتنظيم العقاري الحضري لولاية بسكرة

4. أهداف المشروع

يهدف مشروع SmartClimate DZ إلى تقديم حلول مبتكرة ومستدامة لمشاكل التبريد والراحة الحرارية في المباني الواقعة في المناطق ذات المناخ الحار والجاف مثل مدينة بسكرة. ويمكن تلخيص الأهداف الأساسية للمشروع فيما يلي:

تحسين الراحة الحرارية داخل المباني: تطوير نظام تبريد طبيعي وذكي قادر على ضبط درجات الحرارة الداخلية بشكل مستمر وفعال، بما يتماشى مع متطلبات الراحة الحرارية للمستخدمين.

تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية: الحد من الاعتماد على أنظمة التكييف التقليدية عالية الاستهلاك للطاقة، من خلال استبدالها بحلول تعتمد على الطاقات المتجددة والأنظمة الذكية.

تقديم بديل بيئي مستدام: المساهمة في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتعزيز مفهوم البناء الأخضر في الجزائر، من خلال استخدام حلول تبريد صديقة للبيئة كالبنثر الكندي.

تطوير حلول ذكية محلية الصنع: تصميم وإنتاج نظام تحكم ذكي (Smart Control System) يعتمد على تقنيات متاحة مثل Arduino، بما يسهل عملية الصيانة والدعم الفني على المستوى المحلي.

تعزيز الابتكار التكنولوجي في مجال التهوية والتبريد: تشجيع البحث والتطوير في ميدان الطاقات البديلة والتقنيات الذكية من خلال إدماج عناصر إنترنت الأشياء (IoT) والتحكم التلقائي في أنظمة التهوية والتبريد.

خلق فرص عمل محلية: توفير فرص تشغيل للشباب في مجالات متعددة مثل الإلكترونيات، الطاقة المتجددة، الهندسة المعمارية، التسويق وإدارة المشاريع.

الاستجابة لحاجيات السوق المحلي: تلبية الطلب المتزايد على حلول التبريد الاقتصادية والفعالة، خاصة في ظل التغيرات المناخية وزيادة الوعي بأهمية الاستدامة.

تقديم نموذج أولي (Prototype) قابل للتطوير: إنتاج نموذج أولي عملي يمكن عرضه وتقديمه للعملاء والمستثمرين، مع إمكانية تطويره مستقبلاً ليشمل تطبيقات أوسع في مجالات أخرى.

5. جدول زمني لتحقيق المشروع:

تدرج في هذه المساحة المحتوى بنفس التنسيق المعتمد (الخط: Sakkal majalla، حجم الخط 15، تباعد أسطر 1.15 سم)

المحور الثاني: الجوانب الابتكارية

1. طبيعة الابتكار: ابتكارات تكنولوجية بيئية

2. المجالات الابتكارية:

مشروع SmartClimate DZ يتميز بتنوع مجالات الابتكار التي يغطيها، مما يجعله مشروعاً متعدد الأبعاد وقادراً على تقديم حلول متكاملة تتماشى مع متطلبات السوق والمجتمع.

- على المستوى التكنولوجي: يعتمد المشروع على تقنيات حديثة تجمع بين أنظمة التهوية الطبيعية مثل البئر الكندي وأجهزة التحكم الذكية باستخدام Arduino وتقنيات إنترنت الأشياء. هذا الدمج بين الأنظمة التقليدية والتكنولوجيا الرقمية يمثل نقلة نوعية في مجال تقنيات التبريد في الجزائر.

- من الناحية البيئية: يركز المشروع على مبادئ الاستدامة من خلال تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية، خفض الانبعاثات الغازية، واستغلال الموارد الطبيعية مثل درجة حرارة التربة لتأمين التبريد الداخلي، مما يساهم في حماية البيئة المحلية.

- من الناحية الاقتصادية: يوفر المشروع حلولاً منخفضة التكلفة مقارنة بأنظمة التبريد التقليدية، سواء من حيث التركيب أو التشغيل أو الصيانة، مما يساعد المؤسسات والأفراد على تقليل نفقاتهم الطاقوية على المدى الطويل.

- من الجانب الاجتماعي: يساهم المشروع في تحسين جودة الهواء الداخلي والراحة الحرارية، مما يؤدي إلى تحسين صحة وسلامة المستخدمين. كما يخلق فرص عمل جديدة في مجالات مثل التركيب، الصيانة، البرمجة والتصميم البيئي.
- على المستوى المعماري والتخطيطي: يشجع المشروع على دمج حلول التبريد الطبيعية منذ مراحل التصميم الأولى للمباني، مما يدفع المهندسين المعماريين والمخططين الحضريين إلى تبني مقاربات تصميمية بيوكليمية تتماشى مع المناخ المحلي ومتطلبات الاستدامة.
- في المجال التعليمي والبحثي: يمثل المشروع نموذجًا تطبيقيًا يمكن استغلاله في مجالات البحث العلمي والتكوين المهني، حيث يفتح آفاقًا جديدة للطلاب والباحثين في ميادين الطاقة المتجددة، الهندسة البيئية، والتكنولوجيا الذكية.

المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق

1. تحليل PESTEL

التحليل	البعد
دعم السلطات الجزائرية للمشاريع المتعلقة بالطاقات المتجددة والاستدامة. وجود برامج وطنية لمرافقة وتمويل المؤسسات الناشئة (حاضنات، قروض، دعم تقني).	السياسي (Politique)
ارتفاع تكاليف الطاقة مما يزيد الطلب على الحلول الاقتصادية في التبريد. توفر برامج تمويل للشركات الناشئة. لكن القدرة الشرائية لبعض الفئات قد تكون محدودة.	الاقتصادي (Économique)
وعي متزايد لدى السكان بأهمية الراحة الحرارية وجودة الهواء الداخلي. انفتاح فئة الشباب على التقنيات الذكية وسهولة تقبل الحلول التكنولوجية الجديدة.	الاجتماعي (Social)
توفر تقنيات منخفضة التكلفة مثل Arduino والمستشعرات الذكية. تطور مستمر في مجال إنترنت الأشياء (IoT) والتحكم الذاتي مما يعزز فرص تطوير المشروع.	التكنولوجي (Technologique)
زيادة التحديات المناخية وارتفاع درجات الحرارة مما يحفز البحث عن حلول صديقة للبيئة. المشروع يتماشى مع أهداف البناء المستدام وتقليل البصمة الكربونية.	البيئي (Environnemental)
وجود قوانين وتشريعات تدعم الابتكار والمشاريع البيئية. ضرورة احترام معايير السلامة والمواصفات التقنية الخاصة بأنظمة التهوية والتبريد.	القانوني (Légal)

2. تحليل SWOT

عنوان المشروع: تطوير نظام تهوية طبيعي بدمج الذكاء الاصطناعي

الجانب	التحليل
نقاط القوة (Forces)	- الابتكار في الحل من خلال الجمع بين التبريد الطبيعي والتحكم الذكي - انخفاض استهلاك الطاقة مقارنة بالأنظمة التقليدية - توافق الحل مع مبادئ الاستدامة البيئية - تصنيع محلي وتكاليف تنافسية - سهولة الصيانة ووفرة قطع الغيار.
نقاط الضعف (Faiblesses)	- حداثة الفكرة في السوق الجزائري مما قد يخلق صعوبات في إقناع الزبائن - نقص الخبرة التجارية والتسويقية لدى فريق العمل - الحاجة إلى تدريب متواصل لفريق التركيب والصيانة - ضعف الوعي العام حول تقنيات التبريد الطبيعي.
الفرص (Opportunités)	- الدعم الحكومي للمؤسسات الناشئة والابتكار - زيادة الطلب على الحلول البيئية والمستدامة - التوسع في الأسواق المحلية وحتى الإقليمية مع مرور الوقت - إمكانية التعاون مع هيئات بيئية ومؤسسات بناء مستدام.
التهديدات (Menaces)	- المنافسة المحتملة من الشركات الكبرى المتخصصة في أنظمة التبريد التقليدية - ارتفاع أسعار بعض المكونات الإلكترونية المستوردة - التغيرات المحتملة في التشريعات البيئية أو متطلبات السلامة - مقاومة بعض العملاء للتغيير والتوجه نحو الحلول التقليدية.

استراتيجيات التسويق

يعتمد نجاح مشروع SmartClimate DZ على تطوير وتنفيذ استراتيجية تسويقية فعالة تتناسب مع طبيعة السوق المحلي وخصوصية المنتج المبتكر. وفي هذا الإطار، تم اعتماد مجموعة من الاستراتيجيات التسويقية التي تهدف إلى تعزيز الوعي بالمنتج، جذب الزبائن، وضمان ولائهم على المدى الطويل:

استراتيجية الترويج:

يتم التركيز على حملات التوعية بأهمية التبريد الطبيعي والحلول الذكية من خلال:

- تنظيم ورشات تعريفية وندوات حول فوائد النظام.
- إنشاء محتوى رقمي عبر منصات التواصل الاجتماعي لشرح طريقة عمل النظام وفوائده البيئية والاقتصادية.
- المشاركة في المعارض والفعاليات المتعلقة بالبناء المستدام والطاقة المتجددة.

وسيلة الترويج	الوصف	التكلفة التقديرية (دج)

عنوان المشروع: تطوير نظام تهوية طبيعي بدمج الذكاء الاصطناعي

إنشاء موقع إلكتروني مجاني (صفحة واحدة)	باستخدام أدوات مجانية مثل Wix أو Google Sites	0 – 5,000
تصميم فيديو تعريفي بسيط (DIY)	باستخدام أدوات مجانية مثل Canva أو CapCut	0 – 10,000
إنشاء صفحات على وسائل التواصل (LinkedIn ، Facebook)	مع محتوى دوري (صور، منشورات، عرض الفكرة)	0 دج
بطاقات عمل رقمية	تصميم بطاقة رقمية يمكن مشاركتها عبر الهاتف أو QR Code	0 – 3,000
بروشورات PDF رقمية	تصميم ملف PDF تعريفي يُرسل عبر البريد أو يُعرض إلكترونيًا	0 – 2,000
عرض توضيحي مباشر بسيط	تقديم النموذج الأولي يدويًا داخل الجامعة أو في لقاءات صغيرة	0 – 5,000
المشاركة في حاضنات ومنافسات مجانية	مثل مسابقات الابتكار الجامعية أو برامج دعم ناشئة	0 دج
المجموع التقديري الإجمالي		0 – 25,000 دج

استراتيجية التسعير:

يعتمد المشروع على سياسة تسعير تنافسية تأخذ بعين الاعتبار القدرة الشرائية للسوق المحلي، مع تقديم عروض

ترويجية في المرحلة الأولى من الإطلاق لتحفيز الطلب. كما سيتم تقديم صيغ تمويل مرنة للزبائن مثل الدفع بالتقسيط أو الشراكة مع مؤسسات تمويلية.

استراتيجية التوزيع:

يتم الاعتماد في البداية على البيع المباشر من خلال مقر الشركة والموقع الإلكتروني الرسمي. لاحقًا، سيتم توسيع شبكة التوزيع من خلال التعاون مع مقاولين محليين ومكاتب دراسات الهندسة المعمارية والطاقة.

استراتيجية المنتج:

يعتمد المشروع على تقديم منتج ذو قيمة مضافة واضحة، يتميز بالموثوقية، سهولة الاستخدام، والفعالية في تحقيق الراحة الحرارية. كما سيتم تطوير خدمات ما بعد البيع مثل الصيانة الدورية وضمان في ممتد لتحسين تجربة الزبون.

استراتيجية العلاقات مع الزبائن:

سيتم العمل على بناء علاقة طويلة الأمد مع الزبائن من خلال:

- تقديم خدمات استشارية مجانية في المراحل الأولى من المشروع.
- متابعة رضا العملاء بعد التركيب من خلال استبيانات ومكالمات دورية.
- تقديم تحديثات وتطويرات على النظام حسب احتياجات العميل.

استراتيجية التوسع:

على المدى المتوسط، يسعى المشروع إلى التوسع نحو ولايات أخرى ذات مناخ مشابه، مع دراسة إمكانية تصدير الخدمة نحو دول الجوار ذات نفس الخصائص المناخية.

المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم

1. عملية الإنتاج

تتمثل عملية الإنتاج في مشروع SmartClimate DZ في سلسلة من المراحل المتكاملة التي تهدف إلى تصميم، تصنيع، تركيب، وبرمجة نظام التبريد الذكي المعتمد على تقنية البئر الكندي ونظام التحكم الإلكتروني. يمكن تلخيص هذه العملية فيما يلي:

• مرحلة الدراسة والتصميم:

تنطلق العملية بدراسة احتياجات كل عميل على حدة، وتحليل الموقع الجغرافي والمعماري للمبنى المستهدف. يتم في هذه المرحلة إعداد التصاميم التقنية لنظام البئر الكندي واختيار المواصفات المناسبة لأجهزة التحكم والمستشعرات.

- **مرحلة اقتناء المعدات والمواد:**
بعد الانتهاء من التصميم، يتم تحديد قائمة المواد والمعدات اللازمة، والتي تشمل:
أنابيب البئر الكندي، المستشعرات الحرارية، مراوح التهوية، المتحكمات الإلكترونية (Arduino) ، أنظمة التغذية الكهربائية، وغيرها من المكونات اللازمة.
- **مرحلة التصنيع والتجميع:**
يتم خلال هذه المرحلة:
تجميع النظام الإلكتروني، إعداد وصلات التحكم، تركيب المستشعرات والمراوح داخل الورشة أو بموقع المشروع، مع التأكد من مطابقة كل العناصر للمواصفات التقنية المعتمدة.
- **مرحلة الحفر والتركيب بالموقع:**
يتم تنفيذ أعمال الحفر الخاصة بتمديد أنابيب البئر الكندي تحت الأرض، مع احترام المعايير البيئية والهندسية. بعدها يتم تثبيت النظام داخل المبنى وربطه بوحدة التحكم الذكية.
- **مرحلة البرمجة وضبط الإعدادات:**
في هذه المرحلة، يقوم الفريق التقني ببرمجة نظام التحكم حسب الخصائص المناخية للموقع واحتياجات المستخدمين. يتم ضبط معايير التشغيل مثل درجات الحرارة المستهدفة، سرعة تدفق الهواء، وأوقات التشغيل.
- **مرحلة الاختبار والتشغيل الأولي:**
يتم اختبار النظام بشكل كامل للتأكد من سلامة الأداء وكفاءة التبريد. يتم مراقبة ردود فعل النظام في ظروف مناخية مختلفة لضمان فعاليته قبل التسليم النهائي للزبون.
- **مرحلة المتابعة والصيانة:**
بعد التركيب، يتم توفير خدمة متابعة وصيانة دورية لضمان استمرار الأداء الجيد للنظام، مع تقديم دعم فني عند الحاجة.

2. التمويل

يعد التمويل مرحلة أساسية في سيرورة إنتاج نظام التبريد الذكي الذي تقترحه مؤسسة SmartClimate DZ. حيث يعتمد نجاح المشروع على توفر المواد والمعدات في الوقت المناسب وبالجودة المطلوبة. تتم عملية التمويل وفق الخطوات التالية:

- **تحديد الاحتياجات:**
بناءً على نتائج مرحلة التصميم والدراسة التقنية، يقوم الفريق الفني بإعداد قائمة دقيقة بجميع المواد والمعدات اللازمة لكل مشروع، بما في ذلك:
أنابيب التهوية الأرضية (البئر الكندي)، المستشعرات الحرارية، المراوح، المتحكمات الإلكترونية (Arduino)، الأسلاك، أنظمة التغذية الكهربائية، مواد العزل... إلخ.
- **اختيار الموردين:**
يتم التعاقد مع موردين موثوقين محليين ودوليين لضمان جودة المعدات. يتم اختيار الموردين وفقاً لمعايير محددة مثل: جودة المنتجات، احترام آجال التسليم، الأسعار التنافسية، وخدمات ما بعد البيع.
- **إدارة المخزون:**
تعتمد المؤسسة على نظام مراقبة مخزون بسيط وفعال، يتيح تتبع كميات المواد المتوفرة وتحديد الاحتياجات المستقبلية بشكل دقيق لتجنب أي انقطاع في سلسلة الإنتاج.
- **الاستيراد عند الحاجة:**
بالنظر إلى خصوصية بعض المكونات مثل أجهزة التحكم والمستشعرات المتطورة، قد تضطر المؤسسة إلى استيراد بعض العناصر من الأسواق الخارجية، مع الحرص على احترام القوانين الجمركية ومعايير الجودة الدولية.
- **التخزين والنقل:**
توفر المؤسسة فضاءً مخصصاً لتخزين المواد في ظروف آمنة تحافظ على جودتها. كما تعتمد على وسائل نقل مرنة لضمان وصول المواد والمعدات إلى مواقع المشاريع في الوقت المحدد.
- **التنسيق مع فريق الإنتاج:**
يتم التنسيق المستمر بين قسم التموين وفريق الإنتاج لضمان توافق تواريخ التسليم مع مراحل التنفيذ المختلفة، مما يساعد على احترام آجال إنجاز المشاريع دون تأخير.

3. اليد العاملة

يعتبر العنصر البشري من العوامل الأساسية لنجاح مشروع SmartClimate DZ، حيث يعتمد تنفيذ النظام على مهارات متعددة تشمل الجوانب التقنية، الهندسية، الإدارية والتجارية.

المهام	الوظيفة
--------	---------

عنوان المشروع: تطوير نظام تهوية طبيعي بدمج الذكاء الاصطناعي

المهندسة المعمارية / مديرة المشروع	الإشراف العام على المشروع، ضمان التنسيق بين الفرق، متابعة التصميم والتنفيذ، ضمان توافق الحلول مع متطلبات الزبائن
التقني في الإلكترونيات والتحكم الذكي	برمجة أنظمة التحكم (Arduino)، تركيب المستشعرات، إعداد النظام الإلكتروني، ضمان كفاءة الأداء
مهندس طاقة / استشاري في التهوية	حسابات التهوية، تحديد أبعاد الأنابيب، اختيار معدلات تدفق الهواء، ضمان الأداء وفق المعايير
فريق التركيب الميداني	تنفيذ أعمال الحفر، تركيب الأنابيب، توصيل الأجهزة، تركيب النظام الذكي داخل المباني
مسؤول المخزون والتمويل	متابعة توفر المواد والمعدات، التنسيق مع الموردين، ضمان وصول المستلزمات في الوقت المحدد
مسؤول التسويق والعلاقات مع الزبائن	إعداد الحملات الترويجية، التواصل مع العملاء، عرض الحلول، متابعة خدمات ما بعد البيع
مستشار خارجي	تقديم الدعم في الاستشارات القانونية، الدراسات البيئية، أو التطوير التقني عند الحاجة

4. الهيكل التنظيمي

يعتمد تنظيم فريق العمل داخل مشروع SmartClimate DZ على هيكل هرمي مرن يضمن سهولة تدفق المعلومات بين مختلف المستويات التنظيمية. الهيكل يتوزع كما يلي:

القسم	المسؤوليات
الإدارة العليا	تمثلها مديرة المشروع، الإشراف على الأنشطة، ضمان تحقيق الأهداف الاستراتيجية
الإدارة التقنية	يشرف عليها التقني في الإلكترونيات ومهندس الطاقة، مسؤولون عن التصميم والبرمجة والتنفيذ
قسم الإنتاج والتنفيذ	يضم فريق التركيب الميداني، مسؤول عن تنفيذ الأعمال في الموقع
قسم اللوجستيك والتمويل	يشرف عليه مسؤول المخزون، يتكفل بتوفير الموارد والمعدات
قسم التسويق والعلاقات	يديره مسؤول التسويق، يهتم بالترويج وخدمة العملاء
المستشارون الخارجيون	يتم استدعاؤهم عند الحاجة لتقديم الدعم في المجالات المتخصصة

5. الشركاء الرئيسيون

الشريك	الدور
الموردون المحليون والدوليون	توفير المعدات التقنية مثل أنابيب البئر الكندي، أجهزة الاستشعار، أنظمة التحكم (Arduino)، والمراوح الصناعية، مع ضمان الجودة واحترام آجال التسليم

مكاتب الدراسات الهندسية والمعمارية	ضمان تكامل النظام مع التصميم العام للمبنى، وتحقيق أفضل أداء طاقي ممكن
مؤسسات التكوين المهني	تدريب اليد العاملة المختصة في مجالات التركيب، الصيانة، والبرمجة، لضمان توفر كفاءات محلية
الحاضنات ومراكز دعم المؤسسات الناشئة	تقديم التوجيه التقني، المرافقة في إعداد خطة العمل، والدعم في عمليات التسويق
مخابر البحث الجامعية	المساهمة في تطوير وتحسين أداء النظام من خلال الدراسات والتجارب التقنية
مؤسسات تمويلية	توفير التمويل اللازم لمراحل المشروع المختلفة عبر برامج دعم المشاريع الناشئة مثل ANSEJ وANGEM
شركات النقل والخدمات اللوجستية	ضمان وصول المعدات والمواد في الوقت المحدد إلى مواقع العمل
شركات متخصصة في الطاقة المتجددة	عقد شراكات مستقبلية لتقديم حلول متكاملة في مجال الطاقات البديلة والبناء المستدام

المحور الخامس: الخطة المالية

المحور السادس: النموذج الأولي التجريبي

يهدف تطوير برنامج للتحكم الآلي في نظام تبريد سلبي يعتمد على تقنية البئر الكندي، يتطلب الأمر تكاملاً بين العناصر المادية والبرمجية. يتضمن ذلك استخدام مستشعر خاص بقياس درجة حرارة التربة، ومشغل ميكانيكي مثل محرك السيرفو، بالإضافة إلى وحدة تحكم إلكترونية من نوع Arduino Uno. يعمل هذا النظام على ضبط عملية فتح وإغلاق مجرى الهواء بشكل أوتوماتيكي استناداً إلى التغيرات المسجلة في درجة حرارة التربة، مما يسمح بتحقيق إدارة ذكية وفعالة لتدفق الهواء داخل المبنى.

❖ مبدأ التشغيل

يعتمد النظام على مستشعر لدرجة الحرارة من نوع DHT22 الذي يقوم بقياس درجة حرارة التربة. عندما تتجاوز درجة الحرارة عتبة محددة مسبقاً (على سبيل المثال: 18 درجة مئوية)، يقوم المتحكم الدقيق تلقائياً بغلق الصمام الكهربائي، مما يؤدي إلى توقف تدفق الهواء عبر الأنبوب الذي يحاكي المبادلات الحرارية لنظام البئر الكندي.

- إذا تجاوزت درجة الحرارة 18 درجة مئوية: يتم غلق الصمام → لمنع دخول الهواء الساخن إلى المبنى.

يُعاد تنشيط النظام تلقائياً بمجرد أن تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون الحد الأدنى المحدد (مثال: 18 درجة مئوية)، مما يساهم في الحفاظ على درجة حرارة ثابتة للتربة. هذا التشغيل الذاتي يضمن إدارة مثلى للطاقة ويعزز فعالية النظام كحل ذكي للتبريد السلبي.

- إذا انخفضت درجة الحرارة عن 18 درجة مئوية :يتم فتح الصمام → للسماح بدخول الهواء البارد إلى داخل المبنى.

ولتحسين أداء النظام بشكل أكبر، يمكن إضافة مستشعر لقياس رطوبة التربة. يسمح هذا المستشعر بمراقبة نسبة الرطوبة في التربة في الوقت الحقيقي. وعند الوصول إلى عتبة حرجة، يمكن توليد تنبيهات لاتخاذ الإجراءات اللازمة مثل الري أو تحسين ظروف التربة لضمان فعالية النظام.

الملحق رقم 01: نموذج العمل التجاري

شرائح العملاء أصحاب المنازل البيئية والمستدامة المهندسون المعماريون والمطورون العقاريون: مراكز البحث والمؤسسات التعليمية شركات البناء المستدام أو مقاولات العمارة الخضراء	العلاقات مع العملاء دعم فني تخصيص النظام متابعة ما بعد البيع توعية	القيم المقترحة - نظام ذكي للتبريد السلي يوقر راحة حرارية فعالة بأقل استهلاك للطاقة، مع مراقبة ذاتية للرطوبة ودرجة الحرارة. -تقليل الاعتماد على أنظمة التكييف التقليدية (المرتفعة التكلفة والضارة بيئيًا).	الأنشطة الرئيسية تطوير وصيانة النظام الذكي اختبار الأداء والفعالية الحرارية للنظام تصميم وتحسين النموذج الأولي التسويق والعروض التوضيحية التركيب، التكوين، وخدمة ما بعد البيع	الشركات الرئيسية مكاتب هندسة وعمارة جامعات أو مخابر بحث شركات إنشاء مستدام أو بيئي شركات تسويق بيئي وتقني
	القنوات المنصات الرقمية المعارض والمؤتمرات البيئية التعاون مع شركات البناء والمقاولين النشرات البريدية والعروض المباشرة	-النظام يتفاعل مع بيئة المستخدم بشكل آلي -قابل للتعديل حسب درجات الحرارة والرطوبة المحلية. واجهة عرض بسيطة	الموارد الرئيسية المصنع المواد التقنية المبرمجون	
المصادر والإيرادات بيع النظام كوحدة متكاملة خدمات التركيب والتخصيص الصيانة والدعم الفني المدفوع شراكات مع مقاولين الترخيص أو بيع التصميم			هيكل التكاليف تكاليف ثابتة: تكاليف تطوير النموذج الأولي تكاليف البحث والتطوير تكاليف التركيب في مواقع حقيقية تكاليف متغيرة: تكاليف البرمجة والدعم التقني تكاليف التسويق والترويج	