République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Université d'Oran 2 - Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Géographie et Aménagement du Territoire

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en

Géomatique

Sous le titre :

ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DES ZONES A FAIBLE ENSOLEILLEMENT DANS LA VILLE D'ORAN (CAS DU VILLAGE MEDITERRANEEN ET LA NOUVELLE CITE UNIVERSITAIRE BELGAID)

Rédigé par :

MIMOUNI AYA

Devant le jury composé par :

BELMAHI MOHAMED NADIR	**Université d'Oran 2**	**Président**
SIDI YKHLEF Soraya	**Université d'Oran 2**	**Examinateur**
ALLAL NADIR	**Université d'Oran 2**	**Encadreur**

Année Universitaire : 2024/2025

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent particulièrement à mon encadrant pour ses conseils, son suivi et ses orientations tout au long de ce projet.

Je remercie également l'ensemble de mes enseignants pour les connaissances qu'ils m'ont transmises durant mon parcours universitaire.

Enfin, je n'oublie pas le soutien et les encouragements de ma famille et de mes amis, qui m'ont toujours accompagnée avec bienveillance.

Table des matières

Table des matières 3

Introduction Générale 7

Problématique 8

Objectif De L'étude 9

Objectif général : 9

Objectifs spécifiques : 9

Methodologie de recherche 10

1. Collecte des données : 10

2. Modélisation 3D : 10

3. Simulation de l'ensoleillement : 10

1.1 CHAPITRE 1 : 11

Cadre théorique et conceptuel 11

Introduction : 12

1.1.1. Ensoleillement urbain : 12

1.1.2. **La lumière naturelle :** 13

1.1.3. Le confort lumineux : 13

1.1.4. L'humidité urbaine : 13

1.2. MESURE DE L'ENSOLEILLEMNT 14

1. Une durée d'ensoleillement élevée 14

2. Une orientation favorable 14

3. Peu d'obstacles ou de masques solaires 14

4. Une irradiation solaire élevée 14

Déterminer l'irradiation solaire quotidienne/mensuelle/annuelle 15

1.2.1. Méthode 1 : Utiliser des bases de données satellitaires ou météorologiques 15

1.2.2. Méthode 2 : Mesurer avec un pyranomètre (instrument scientifique) 15

1.2.3. Méthode 3 : Estimation simplifiée (si pas de données précises) 15

1.3. ENJEUX DE L'ENSOLEILLEMENT : 16

1.3.1 Enjeux pour la santé et le bien-être 16

1.3.2. Enjeux d'aménagement et de confort lumineux 17

1.3.3. Enjeux environnementaux et durabilité 17

1.3.4. Enjeux sociaux et qualité de vie 17
1.3.5. Enjeux esthétiques et culturels 18
1.4. Morphologie Urbaine 18
Théories de la morphologie urbaine 18
1.4.2. Orientation des Bâtiments 19
1.4.3. Théories de l'Aménagement Durable et du Bioclimatisme 20
1.5.1 Aménagement durable 21
Principes clés de l'aménagement durable : 21
Application en urbanisme : 21
1.5.2. Bioclimatisme 21
Principes fondamentaux du bioclimatisme : 22
Application du bioclimatisme en urbanisme : 22
1.5.3. Interaction entre l'aménagement durable et le bioclimatisme 23
2. Chapitre 2 : Contexte scientifique et présentation du site d'étude 24
2.1.1. Études et méthodes d'analyse de l'ensoleillement urbain 25
2.1.2. SIG et modélisation 3D pour le climat urbain 26
2.1.3. Innovations technologiques pour l'éclairage naturel 26
2.1.4. Exemples d'études et cas concrets 27
2.2. Présentation de la zone d'étude 28
2.2.1. Localisation de la commune de Belgaïd (Oran) 28
2.2.2. Le projet du Village Méditerranéen 29
2.2.3. La nouvelle cité universitaire 30
2.2.4. Morphologie urbaine, enjeux d'ensoleillement et équipements 31
Données climatiques de la région d'Oran (valeurs moyennes annuelles) 32
3. Chapitre 3 : Méthodologie de l'analyse de l'ensoleillement urbain 33
3.1.1. Données utilisées 34
3.1.2. Numérisation 2D des bâtiments 35
3.1.3. Passage au modèle 3D sous ArcScene 36
3.1.4. Génération des ombres avec Sun Shadow Volume 37
3.1.5. Conversion des ombres en rasters horaires 38
3.1.6. Classification des zones selon l'ensoleillement 39

3.1.7. Création des cartes des ombres et de l'ensoleillement 40

3.2. Difficultés rencontrées 41

4. Chapitre 4 : Analyse des résultats et Recommandations 42

4.1. Analyse quantitative globale..... 43

4.2. Analyse saisonnière..... 43

4.3. Bilan général des variations saisonnières 52

4.4. Recommandations d'aménagemen pour une meilleure accessibilité solaire :..... 52

4.4.4.1. Héliostat 53

4.4.4.2. Solarspot / Solatube 53

4.4.4.3. Miroirs urbains manuels (Italie, Japon) 54

4.5. Perspectives sur la méthode..... 55

1.1. 5. Conclusion générale 56

Glossaire des termes techniques 57

Table des figures.....59

Bibliographie.....60

Résumé

L'ensoleillement naturel joue un rôle déterminant dans le confort thermique, la qualité de vie et l'efficacité énergétique des espaces urbains. Dans un contexte d'urbanisation rapide, il devient essentiel d'évaluer l'exposition solaire des nouveaux projets urbains afin de mieux anticiper les problèmes liés au manque de lumière naturelle, tels que l'humidité, le manque de confort visuel ou encore la surconsommation d'énergie pour l'éclairage artificiel.

Cette étude se concentre sur l'analyse de l'ensoleillement dans deux projets urbains majeurs situés à l'est d'Oran : le Village Méditerranéen et la Nouvelle Cité Universitaire de Belgaïd. À travers une modélisation 3D du bâti réalisée avec ArcGIS 10.8 et ArcScene, combinée à des simulations d'ombres horaires et saisonnières, l'objectif a été de quantifier le nombre d'heures d'ensoleillement quotidien pour chaque zone du site.

La méthodologie s'est basée sur l'extrusion 3D des bâtiments à partir de leurs hauteurs réelles, la génération des volumes d'ombres pour différentes heures clés des jours types de chaque saison (21 juin, 21 décembre, etc.), puis l'agrégation des résultats à l'aide du Raster Calculator. Les cartes produites ont permis de classifier les espaces en trois catégories d'exposition solaire : faible, moyenne et forte.

Les résultats ont mis en évidence une forte variabilité spatiale et saisonnière de l'ensoleillement, révélant notamment des zones durablement ombragées, en particulier en hiver. Cette analyse permettra aux urbanistes et architectes d'adapter les aménagements futurs pour optimiser l'éclairage naturel, tout en ouvrant des perspectives pour des solutions innovantes d'amélioration de l'ensoleillement urbain.

Introduction Générale

Dans les villes d'aujourd'hui, la question de l'accès à la lumière naturelle est devenue un enjeu essentiel pour le bien-être des habitants. L'ensoleillement ne concerne pas seulement le confort visuel ou thermique, il joue aussi un rôle direct sur la santé, l'humeur, la consommation énergétique des bâtiments et même sur la qualité de l'air et la croissance de la végétation urbaine.

Or, dans les quartiers urbains denses, la configuration des bâtiments, leur hauteur, leur orientation et l'aménagement des espaces publics influencent fortement la répartition de la lumière solaire. Certaines zones peuvent ainsi souffrir d'un manque important d'ensoleillement, notamment en hiver, ce qui peut avoir des répercussions négatives sur la qualité de vie des habitants.

Aujourd'hui, avec l'évolution des outils technologiques et notamment des Systèmes d'Information Géographique (SIG), il devient possible d'analyser de manière précise la distribution de l'ensoleillement à l'échelle urbaine. Les logiciels de modélisation 3D permettent de simuler la trajectoire du soleil tout au long de l'année et d'évaluer l'impact des ombres portées par les bâtiments ou le relief sur les espaces environnants.

Dans le cadre de cette étude, l'analyse se concentre sur deux zones spécifiques situées à Belgaïd (Oran) : le Village Méditerranéen et la Nouvelle Cité Universitaire. Ces deux sites, présentent des typologies urbaines distinctes, offrant ainsi une opportunité de comparaison des effets de la morphologie urbaine sur la répartition de l'ensoleillement naturel.

L'objectif principal de cette recherche est d'analyser et de cartographier l'ensoleillement naturel dans ces deux secteurs, en identifiant les espaces bénéficiant d'une bonne exposition solaire ainsi que ceux restant faiblement éclairés tout au long de la journée. Cette analyse permettra de dégager des pistes d'amélioration et de formuler des recommandations adaptées en matière d'aménagement urbain.

Problématique

L'expansion urbaine que connaît la ville d'Oran, notamment à travers les nouveaux projets comme le Village Méditerranéen et la Nouvelle Cité Universitaire à Belgaïd, s'accompagne d'une densification du tissu bâti et d'une modification progressive du paysage urbain. Ces évolutions posent inévitablement des défis en matière d'accès à la lumière naturelle.

En effet, l'ensoleillement des espaces urbains joue un rôle essentiel dans le confort thermique, le bien-être des usagers et la qualité environnementale des lieux de vie. Un déficit d'éclairement naturel peut engendrer divers désagréments : sensation d'inconfort, hausse de l'humidité intérieure, recours accru à l'éclairage artificiel et, à plus long terme, dégradation de la qualité de vie.

Dans ce contexte, il devient légitime de s'interroger sur l'impact de la morphologie urbaine des nouveaux quartiers de Belgaïd sur la répartition de l'ensoleillement naturel. La hauteur des bâtiments, leur implantation, leur orientation ainsi que la configuration des espaces publics influencent directement la manière dont le soleil éclaire les façades, les cours et les espaces extérieurs.

Face à ces constats, La problématique suivante se pose:

Comment évaluer l'ensoleillement naturel au sein du Village Méditerranéen et de la Nouvelle Cité Universitaire à Belgaïd, à l'aide des outils SIG et de la modélisation 3D, et quelles solutions peuvent être envisagées pour améliorer l'exposition solaire dans les zones les plus défavorisées ?

Objectif De L'étude

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la répartition de l'ensoleillement naturel au sein de **deux projets urbains spécifiques situés à Belgaïd (Oran)** : **le projet du Village Méditerranéen** et **la Nouvelle Cité Universitaire**.

De manière plus détaillée, cette recherche vise à :

Objectif général :

- **Analyser l'ensoleillement urbain** dans les deux zones d'étude, à l'aide des outils SIG et de la modélisation 3D, afin de diagnostiquer les espaces à faible exposition solaire et proposer des recommandations adaptées.

Objectifs spécifiques :

- **Modéliser en 3D** le tissu urbain des deux zones (bâtiments, voiries, espaces ouverts) en utilisant ArcGIS et ArcScene.
- **Simuler la course du soleil** sur différentes périodes de afin d'observer la variation des ombres projetées.
- **Cartographier et quantifier** les heures d'ensoleillement par secteur et par saison.
- **Classer les espaces** en différentes catégories selon leur niveau d'exposition solaire

Methodologie de recherche

La méthodologie adoptée dans ce mémoire repose principalement sur l'utilisation des outils SIG et de la modélisation 3D pour l'analyse de l'ensoleillement urbain. Voici les grandes étapes suivies :

1. Collecte des données :

- Enquete de terrain .
- Numérisation et création d'un modèle urbain en 3D représentant les bâtiments.

2. Modélisation 3D :

3. Simulation de l'ensoleillement :

4. Traitement spatial et analyse :

1. CHAPITRE 1 : Cadre théorique et conceptuel

Introduction :

L'étude de l'ensoleillement urbain nécessite tout d'abord de comprendre les fondements théoriques qui encadrent ce sujet. Avant d'entamer l'analyse spatiale proprement dite, il est important de définir les concepts clés, de cerner les enjeux environnementaux et sanitaires liés à la lumière naturelle et de présenter les grands principes d'un aménagement urbain respectueux des besoins en ensoleillement. Ce chapitre vise donc à poser les bases théoriques indispensables à la compréhension de cette thématique.

1.2. Cadre Theorique Et Conceptuel

1.1.1. Ensoleillement urbain :

L'ensoleillement est un indicateur climatique et environnemental qui désigne la quantité de lumière solaire directe qu'une surface reçoit sur une période donnée, généralement exprimée en heures par jour, par mois ou par an. Il est fortement influencé par la latitude, la saison, la nébulosité, mais aussi par des facteurs locaux tels que le relief, la végétation, et surtout les éléments bâtis.

(La **nébulosité** désigne la **partie du ciel couverte par des nuages**, généralement exprimée en **octas** (de 0 à 8) ou en pourcentage. Elle constitue un facteur climatique majeur qui influence directement **l'éclairement naturel**, la **radiation solaire** reçue au sol, et donc **l'ensoleillement effectif** d'un espace) (Dubois, (2001))

En milieu urbain, l'ensoleillement devient un enjeu majeur car il affecte à la fois le confort thermique et visuel des habitants, la consommation énergétique, ainsi que des aspects liés à la santé (dépression saisonnière, humidité, moisissures) et à la biodiversité végétale dans les zones enclavées.

Le degré d'ensoleillement est également déterminant dans l'aménagement urbain durable : une mauvaise orientation des bâtiments, des rues étroites, des immeubles très hauts ou trop rapprochés peuvent générer des zones d'ombre permanente, ce qui entraîne une dégradation du cadre de vie et peut accroître les besoins en éclairage artificiel et en chauffage. (Ratti, (2003).)

En géomatique et en analyse spatiale, l'ensoleillement peut être modélisé à partir de MNT/MNS, en tenant compte de l'angle solaire, de la topographie et du bâti. Des outils comme ArcGIS Solar Analyst permettent de produire des cartes d'exposition solaire, utiles pour identifier les zones nécessitant des interventions (réaménagement, végétalisation).

1.1.2. **La lumière naturelle :**

La **lumière naturelle** désigne l'éclairage fourni par le rayonnement solaire visible, qu'il soit **directement transmis par les rayons du soleil** ou **diffusé par le ciel** en fonction des conditions atmosphériques. Elle se compose ainsi de deux principales formes : la lumière directe et la lumière diffuse, dont la répartition dépend de l'orientation, des ouvertures architecturales et des éléments d'ombrage . Au-delà de son rôle esthétique, la lumière naturelle joue un rôle fondamental dans le **bien-être des occupants, la réduction de la consommation énergétique** et la valorisation des espaces, en particulier dans le cadre de l'architecture bioclimatique . Sa **modélisation à l'aide d'outils SIG** et de logiciels de simulation permet aujourd'hui d'optimiser l'éclairement intérieur, en tenant compte des caractéristiques du site, du bâti et de l'environnement immédiat .

1.1.3. Le confort lumineux :

Le confort lumineux désigne l'état de satisfaction visuelle d'un individu dans un espace éclairé, où la lumière naturelle ou artificielle est suffisante, bien répartie, et non éblouissante . Il dépend de plusieurs facteurs tels que l'intensité lumineuse, la distribution spatiale de la lumière, la température de couleur, ainsi que le contrôle des contrastes et de l'éblouissement . Dans un contexte urbain et architectural, le confort lumineux vise à favoriser la productivité, la santé visuelle et psychologique, tout en réduisant le recours excessif à l'éclairage artificiel . Il est étroitement lié à la qualité de la lumière naturelle, souvent évaluée à l'aide d'indicateurs comme le facteur de lumière du jour (FLJ) ou des modélisations réalisées avec des logiciels spécialisés et des systèmes d'information géographique . (Boubekri, (2008))

1.1.4. L'humidité urbaine :

L'humidité urbaine est un phénomène lié à la présence d'humidité excessive dans l'air ou dans les matériaux des bâtiments, souvent accentué dans les zones peu exposées au soleil, mal ventilées ou densément construites. Dans de nombreux quartiers urbains, en particulier dans les cœurs d'îlots denses, le manque d'ensoleillement direct favorise la stagnation de l'air, le refroidissement des surfaces et l'accumulation de condensation, ce qui

entraîne dégradation des façades, développement de moisissures et mauvaises conditions d'habitabilité . Ce phénomène a des répercussions sur la santé des occupants (asthme, allergies, rhinites chroniques) et constitue un enjeu majeur pour les politiques de réhabilitation urbaine durable. Des stratégies comme l'ouverture des façades vers l'ensoleillement, l'usage de surfaces réfléchissantes ou encore l'amélioration de la ventilation naturelle sont aujourd'hui recommandées pour limiter ces désagréments . (Boubekri, Daylighting in Architecture: A Comprehensive Guide to the Theory and Practice of Natural Lighting, (2008).) (Boubekri, (2008).)

1.2. MESURE DE L'ENSOLEILLEMNT

1.2.1.1. Une durée d'ensoleillement élevée

- **Idéalement** : plus de **6 heures de soleil direct par jour** (en moyenne annuelle) est souvent considéré comme un bon seuil.
- Par exemple, dans les villes du sud de la Méditerranée comme Oran, une zone est bien ensoleillée si elle reçoit **plus de 2500 à 3000 heures/an** de soleil.

1.2.1.2. Une orientation favorable

- **Exposition au sud** (dans l'hémisphère nord) = meilleure captation du soleil tout au long de la journée.
- Les zones orientées **sud-est à sud-ouest** sont généralement les plus ensoleillées.

1.2.1.3. Peu d'obstacles ou de masques solaires

- Une zone bien ensoleillée est :
  - **Peu ombragée** par des bâtiments, des arbres, ou du relief.
  - Située à une **altitude ou position ouverte** (ex. : colline, toit-terrasse).

1.2.1.4. Une irradiation solaire élevée

- **Plus de 4 kWh/m²/jour** est considéré comme un bon niveau (en climat méditerranéen).
- Cela signifie que la lumière solaire est **forte** et peut être utilisée efficacement (ex. pour panneaux solaires ou agriculture).

Déterminer l'irradiation solaire quotidienne/mensuelle/annuelle

L'irradiation solaire est généralement exprimée
en **kWh/m²/jour** (kilowattheures par mètre carré par jour).

1.2.2.1. Méthode 1 : Utiliser des bases de données satellitaires ou météorologiques

- Des sites comme **NASA POWER**, **PVGIS**, **SolarGIS** ou **Météo-France** fournissent des données d'ensoleillement pour votre localisation.
- Exemple avec **PVGIS** (Photovoltaic Geographical Information System) :

  - Sélectionnez votre lieu.
  - Obtenez la valeur moyenne d'irradiation (ex. 4,5 kWh/m²/jour).

1.2.2.2. Méthode 2 : Mesurer avec un pyranomètre (instrument scientifique)

- Un pyranomètre mesure la puissance du rayonnement solaire (en W/m²).
- Pour obtenir l'irradiation journalière (kWh/m²/jour) :

  Irradiation (kWh/m²/jour)=E´nergie totale mesure´e (Wh/m²)1000Irradiation (k Wh/m²/jour)=1000E´nergie totale mesure´e (Wh/m²)

1.2.2.3. Méthode 3 : Estimation simplifiée (si pas de données précises)

- Si vous connaissez l'**ensoleillement en heures équivalentes pleine puissance** (ex. 5 heures/jour) et l'**intensité solaire standard** (1 kW/m²) :

  Irradiation (kWh/m²/jour)=Nombre d'heures d'ensoleillement e´quivalent×1kW /m²Irradiation (kWh/m²/jour)=Nombre d'heures d'ensoleillement e´quivalent× 1kW/m

  Exemple : 5 heures × 1 kW/m² = 5 kWh/m²/jour.

  - Un bon ensoleillement en hiver

    - Critère important pour les **espaces de vie** : la zone doit recevoir du soleil même en hiver, quand le soleil est bas.

-Un bon facteur de lumière naturelle (intérieur)

- Si on parle d'un **bâtiment ou d'un intérieur**, il doit avoir un **FLJ (Daylight Factor) > 2%** pour dire qu'il est bien éclairé naturellement.

Formule du FLJ (Daylight Factor)

FLJ (%) = (Éclairement intérieur / Éclairement extérieur) × 100

pour une zone bien ensoleillée en Algérie

- **Durée d'ensoleillement annuelle** : > 2500 heures.
- **Irradiation solaire quotidienne** : entre 4,7 et 7,1 kWh/m²/jour selon la région.
- **Orientation favorable** : sud, sud-est ou sud-ouest.
- **Absence d'obstacles** : zone dégagée sans ombrage significatif.

1.3. ENJEUX DE L'ENSOLEILLEMENT :

1.3.1 Enjeux pour la santé et le bien-être

La lumière naturelle a des impacts considérables sur la santé physique et mentale des individus :

- **Santé physique** : L'exposition à la lumière naturelle est essentielle pour la production de vitamine D, qui joue un rôle crucial dans la santé osseuse et le fonctionnement du système immunitaire. Un manque d'ensoleillement peut entraîner des carences et des troubles de santé liés à la lumière, comme le trouble affectif saisonnier (TAS), où les personnes souffrent de dépression en hiver en raison du manque de lumière.
- **Santé mentale** : Une bonne exposition à la lumière naturelle favorise la régulation de l'horloge biologique, le sommeil et la concentration. Les environnements mal éclairés peuvent entraîner des troubles du sommeil, du stress et de l'anxiété. (Adolphe, (2001).)

1.3.2. Enjeux d'aménagement et de confort lumineux

Le confort visuel et thermique est un enjeu majeur dans les milieux urbains, particulièrement dans les zones où l'éclairage naturel est insuffisant :

- **Confort visuel** : Une mauvaise gestion de la lumière peut entraîner un éblouissement, une fatigue visuelle et une mauvaise perception de l'espace. Dans les espaces de travail et de vie, il est essentiel d'optimiser l'ensoleillement pour garantir une luminosité uniforme et agréable.
- **Confort thermique** : L'ensoleillement influence directement la température intérieure des bâtiments. Des solutions comme les systèmes de miroirs réfléchissants ou l'orientation stratégique des fenêtres peuvent réduire la dépendance à l'éclairage artificiel et améliorer le confort thermique. (Bories, (2015).)

1.3.3. Enjeux environnementaux et durabilité

L'optimisation de la lumière naturelle joue un rôle clé dans la réduction de la consommation d'énergie :

- **Réduction de la consommation énergétique** : Maximiser l'ensoleillement réduit la nécessité d'utiliser l'éclairage artificiel et de recourir à la climatisation. Cela permet de réaliser des économies d'énergie et de réduire les émissions de gaz à effet de serre .
- **Écologie urbaine** : L'utilisation de matériaux réfléchissants ou l'intégration de systèmes d'éclairage naturel dans les projets urbains permet d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, contribuant ainsi à la durabilité des villes . (Ishida, (2016).)

1.3.4. Enjeux sociaux et qualité de vie

La gestion de la lumière influe sur la qualité de vie des habitants, en particulier dans les zones urbaines à forte densité :

- **Accès à la lumière** : Dans les quartiers denses ou les anciens centres urbains, le manque de lumière naturelle dans les espaces de vie peut entraîner une dégradation des conditions de vie, affectant le moral des habitants et leur productivité .
- **Inégalités sociales** : L'accessibilité à la lumière naturelle peut être vue comme un indicateur d'inégalités sociales et de qualité de vie. Les habitants des quartiers mal orientés ou densément construits souffrent

souvent d'une mauvaise exposition à la lumière et d'une qualité de l'air inférieure .

1.3.5. Enjeux esthétiques et culturels

La lumière joue également un rôle central dans la perception esthétique des espaces urbains et dans la façon dont les habitants interagissent avec leur environnement :

- **Esthétique de la ville** : L'éclairage naturel peut transformer les espaces urbains, en mettant en valeur certains quartiers, monuments ou paysages. L'intégration de la lumière dans la conception des bâtiments et des espaces publics contribue à la beauté des villes .
- **Culture locale** : Dans certaines régions, l'architecture traditionnelle et l'aménagement des espaces publics sont pensés pour maximiser l'ensoleillement et offrir des espaces lumineux, ce qui est perçu comme un bien-être collectif . (Khaled, (2018).)

Les **théories en aménagement** qui abordent la **morphologie urbaine** et **l'orientation** jouent un rôle crucial dans la conception des espaces urbains, en particulier dans la gestion de l'éclairage naturel et la création de cadres de vie sains et durables. Ces théories intègrent des aspects esthétiques, fonctionnels et écologiques pour optimiser les interactions entre les bâtiments, l'environnement et les habitants. Voici une vue d'ensemble de ces théories :

1.4. Morphologie Urbaine

La **morphologie urbaine** se réfère à la structure physique et à l'organisation de l'espace urbain, y compris la disposition des bâtiments, des rues, des places et des espaces publics. Cette discipline prend en compte l'influence de la forme et de l'agencement de la ville sur l'habitat, les déplacements, et la qualité de vie des citoyens.

Théories de la morphologie urbaine

- **Forme et fonction** : Selon les théories classiques de la morphologie urbaine, l'aménagement des villes doit viser à répondre à des besoins fonctionnels tout en tenant compte de la forme du tissu urbain. La forme des rues, l'orientation des bâtiments et la densité de l'urbanisation ont

un impact direct sur le confort thermique et lumineux des espaces . (Günter, (2005).)

- **Densité urbaine et microclimats** : Une ville plus dense génère des microclimats en raison de la modification des flux d'air, de la gestion des eaux et de l'ensoleillement. Les quartiers denses, souvent caractérisés par des îlots de chaleur, nécessitent une attention particulière à l'orientation des bâtiments pour maximiser la lumière naturelle tout en réduisant la chaleur accumulée .
- **Typologies urbaines** : L'étude des typologies urbaines, comme les îlots ouverts ou fermés, permet de déterminer les zones qui reçoivent une exposition maximale au soleil et celles qui en sont privées. L'optimisation de l'orientation des bâtiments et de la disposition des espaces publics contribue à une meilleure qualité de vie . (Moudon, (1997).)

1.4.2. Orientation des Bâtiments

L'orientation des bâtiments est un élément fondamental dans l'optimisation de l'éclairage naturel et de la ventilation. L'alignement des bâtiments par rapport à la direction du soleil et aux vents dominants permet de maximiser les gains thermiques et lumineux tout en réduisant la consommation d'énergie.

Principes de l'orientation optimale

- **Orientation par rapport au soleil** : L'orientation des façades sud permet de maximiser l'exposition à la lumière naturelle, essentielle pour la réduction de l'utilisation de l'éclairage artificiel et pour l'optimisation du chauffage passif . En revanche, les façades nord, souvent ombragées, sont moins exposées à la lumière, ce qui peut entraîner des besoins accrus en éclairage artificiel. (Institut, (2011).)
- **Aménagement bioclimatique** : Le concept d'aménagement bioclimatique repose sur l'idée que la conception des bâtiments et de l'urbanisme doit tirer parti des caractéristiques climatiques locales, notamment en exploitant l'ensoleillement et en optimisant la ventilation naturelle. Par exemple, l'orientation des fenêtres pour capter la lumière solaire en hiver tout en évitant la surchauffe en été fait partie de ces stratégies .
- **Ventilation naturelle et orientation des rues** : Les rues orientées dans la direction des vents dominants permettent une meilleure circulation de l'air, améliorant ainsi la ventilation naturelle et la qualité de l'air urbain. Cela permet non seulement de maintenir une température confortable à

l'intérieur des bâtiments, mais aussi de réduire l'humidité et les risques de condensation .

1.4.3. Théories de l'Aménagement Durable et du Bioclimatisme

Les principes du bioclimatisme et de l'aménagement durable visent à réduire l'empreinte écologique des villes tout en améliorant la qualité de vie des habitants. L'orientation et la morphologie des espaces jouent un rôle essentiel dans la création de villes durables.

Aménagement durable et efficacité énergétique

- **Utilisation passive de l'énergie** : Selon les théories du bioclimatisme, l'optimisation de la forme et de l'orientation des bâtiments vise à exploiter les ressources naturelles (lumière, chaleur et vent) de manière passive. Cela permet de réduire la dépendance à l'énergie et de créer des environnements plus sains et durables .
- **Concepts de conception écologique** : Les urbanistes contemporains intègrent des critères écologiques dans la conception urbaine, en accordant une attention particulière à l'orientation des bâtiments, à l'agencement des espaces verts et à la gestion des microclimats pour réduire les effets de l'îlot de chaleur urbain et favoriser l'ensoleillement . (Lechner, (2015).)

L'**aménagement durable** et le **bioclimatisme** sont deux concepts fondamentaux dans la conception des espaces urbains et des bâtiments qui visent à réduire l'impact environnemental tout en améliorant la qualité de vie des habitants. Ces approches reposent sur l'intégration des caractéristiques climatiques locales et sur une gestion raisonnée des ressources naturelles. Voici une présentation de ces deux concepts et de leur application en urbanisme.

1.5.1 Aménagement durable

L'**aménagement durable** désigne un type d'urbanisme qui cherche à concilier les besoins actuels de la société avec la préservation des ressources naturelles pour les générations futures. Il se concentre sur l'utilisation rationnelle des ressources, la réduction de l'empreinte écologique, et l'amélioration des conditions de vie dans les villes.

Principes clés de l'aménagement durable :

- **Utilisation rationnelle des ressources naturelles** : Cela inclut la gestion de l'eau, la réduction de la consommation d'énergie, l'utilisation de matériaux écologiques et le recyclage des déchets.
- **Réduction de l'empreinte écologique** : Les stratégies visent à minimiser l'impact environnemental des constructions et des infrastructures urbaines, en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et la pollution
- **Qualité de vie et inclusion sociale** : L'aménagement durable prend également en compte le bien-être des habitants en créant des espaces publics agréables, accessibles et en intégrant les dimensions sociales dans la planification . (Lyle, (1994).)

Application en urbanisme :

L'aménagement durable repose sur une planification intégrée qui inclut des éléments tels que :

- La **planification de l'usage des sols** pour minimiser les déplacements et encourager l'usage des transports en commun.
- La **réduction de la consommation énergétique** par l'utilisation de bâtiments passifs et d'énergies renouvelables.
- La **protection et la gestion des écosystèmes urbains** (espaces verts, biodiversité urbaine, etc.).

1.5.2. Bioclimatisme

Le **bioclimatisme** est une approche de la conception architecturale et urbaine qui tient compte des caractéristiques climatiques et géographiques locales pour optimiser les performances énergétiques des bâtiments et des espaces publics. L'idée est de concevoir des environnements urbains qui utilisent au

mieux les ressources naturelles (comme l'ensoleillement, la ventilation, la géométrie des bâtiments et des rues) afin de garantir le confort des habitants tout en réduisant l'empreinte écologique.

Principes fondamentaux du bioclimatisme :

- **Optimisation de l'ensoleillement** : L'objectif est de maximiser l'apport en lumière naturelle dans les espaces intérieurs pour réduire la dépendance à l'éclairage artificiel, tout en évitant les surchauffes excessives durant l'été.
- **Ventilation naturelle** : Les bâtiments doivent être conçus pour favoriser la circulation de l'air, en utilisant des principes de **ventilation croisée** ou en orientant les fenêtres pour capter les vents dominants, ce qui permet de réduire les besoins en climatisation.
- **Isolation thermique** : Le bioclimatisme repose également sur des techniques permettant d'isoler les bâtiments afin de maintenir une température confortable sans recourir excessivement à l'énergie pour le chauffage ou la climatisation.
- **Utilisation de matériaux locaux et naturels** : Les matériaux doivent être choisis en fonction de leurs capacités à stocker la chaleur ou à la repousser, et de leur faible impact écologique (biomasse, terre crue, pierres locales, etc.). (Bourdic, (2013).)

Application du bioclimatisme en urbanisme :

Le bioclimatisme s'applique à la fois au niveau de l'**architecture** et de l'**urbanisme** :

- **Orientation des bâtiments** : Pour maximiser l'ensoleillement en hiver et éviter la chaleur excessive en été, les bâtiments doivent être orientés de manière optimale. Par exemple, les façades principales doivent être orientées sud (dans l'hémisphère nord), afin d'exploiter au mieux l'énergie solaire.
- **Conception des espaces publics** : Les places, rues et parcs doivent être conçus pour favoriser la circulation de l'air tout en garantissant une bonne exposition au soleil dans les zones où c'est nécessaire.
- **Écoquartiers** : Les écoquartiers bioclimatiques intègrent ces principes en mixant des logements et des équipements avec une gestion intelligente des ressources, comme les systèmes de gestion de l'eau, des énergies

renouvelables, et l'aménagement d'espaces verts qui favorisent la biodiversité .

1.5.3. Interaction entre l'aménagement durable et le bioclimatisme

Ces deux concepts sont intrinsèquement liés, car ils partagent un objectif commun : rendre les environnements urbains plus durables tout en garantissant la qualité de vie. Les principes de bioclimatisme peuvent être intégrés dans une stratégie d'aménagement durable pour créer des villes plus résilientes face aux défis climatiques, tout en répondant aux besoins des populations.

Exemples d'interactions :

- **Gestion de l'eau** : En intégrant des stratégies bioclimatiques comme la collecte des eaux de pluie ou l'aménagement de bassins versants urbains, on répond simultanément aux objectifs de durabilité (réduction des impacts environnementaux) et aux principes bioclimatiques (optimisation des ressources locales).

- **Réduction des îlots de chaleur** : L'urbanisme bioclimatique prend en compte la végétalisation des espaces urbains, ce qui contribue à la fois à la durabilité de l'environnement et à la régulation thermique des quartiers . (Rémy, (2019).)

Ce premier chapitre a permis de mettre en lumière l'importance de l'ensoleillement dans l'aménagement des espaces urbains et ses effets multiples sur la santé, le confort et la qualité de vie. Ces notions théoriques serviront de cadre de référence tout au long de cette étude et permettront d'interpréter de manière plus pertinente les résultats qui seront obtenus par la suite.

CHAPITRE 02 : Contexte scientifique et présentation du site d'étude

INTRODUCTION

Avant d'aborder la méthodologie d'analyse, il est nécessaire de présenter les approches et les recherches déjà réalisées dans le domaine de l'analyse de l'ensoleillement urbain. Cette revue des travaux antérieurs permettra de situer notre étude dans son contexte scientifique. Ensuite, ce chapitre présentera en détail la zone d'étude choisie, à savoir **le projet du Village Méditerranéen** et **la Nouvelle Cité Universitaire** à Belgaïd.

2.1.1. Études et méthodes d'analyse de l'ensoleillement urbain

L'analyse de l'ensoleillement urbain fait appel à des modélisations 3D fines du paysage bâti pour simuler la trajectoire du soleil et les ombres portées par les bâtiments et la végétation. Des outils de calcul (p. ex. Google Heliodon, Radiance, Grasshopper/Ladybug) permettent de quantifier pour chaque façade ou toiture la durée d'ensoleillement et l'irradiation solaire incidente. Ces simulations insistent sur l'importance de prendre en compte le contexte local : la hauteur des bâtiments et la présence d'arbres denses diminuent considérablement le rayonnement reçu par les toits et façades. (Jakubiec, (2013).)

Par exemple, un bilan mené à l'échelle de la ville d'Austin (États-Unis) a montré que la prise en compte des ombres dues aux arbres réduit d'environ 9 % le potentiel solaire estimé des toits par rapport à un modèle simplifié . De même, des études analytiques basées sur le « canyon urbain » et le **Sky View Factor** permettent d'évaluer qualitativement les effets d'orientation des rues et de hauteur du bâti sur le climat solaire local .

En général, l'ensoleillement est calculé pour les solstices ou pour une année type afin de déterminer les points (façades, places publiques) peu ou bien exposés. (Müller, (2015).)

2.1.2. SIG et modélisation 3D pour le climat urbain

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) intégrant la troisième dimension sont aujourd'hui largement utilisés pour l'analyse du climat urbain et de l'ensoleillement. À partir de données 3D (nuages de points LiDAR, modèles numériques d'élévation, orthophotos), on reconstitue un jumeau numérique de la ville. Des logiciels spécialisés (ArcGIS 3D Analyst, CityEngine, CityGML, etc.) calculent alors automatiquement la durée d'ensoleillement ou l'irradiation solaire reçue sur chaque surface du modèle urbain.

Par exemple, Shadowmap est une solution commerciale qui réalise en « temps réel » une cartographie 3D de l'irradiance solaire sur les façades et toitures d'une ville virtuelle, combinant les volumes du bâti et la position du soleil.

De tels outils permettent d'identifier, pour un site étudié, les zones d'ombre créées par les obstacles urbains (bâtiments voisins, reliefs) tout au long de l'année .

Des études récentes insistent sur l'apport du SIG 3D : elles simulent l'ensoleillement sur des modèles urbains complets pour estimer le potentiel solaire des toits (à des fins photovoltaïques ou thermiques) en considérant les masques par les constructions adjacentes.

Par ailleurs, la modélisation 3D est utilisée pour étudier l'impact des îlots de chaleur urbains et les échanges radiatifs en ville, puisque l'irradiation solaire contribue à l'accumulation de chaleur dans le tissu urbain. Ainsi, l'utilisation de SIG 3D permet non seulement d'évaluer l'exposition solaire « moyenne » d'un quartier, mais aussi d'analyser comment la forme urbaine et la topographie locales modulent la distribution des rayonnements solaire entrant. (Shadowmap, (2021).)

2.1.3. Innovations technologiques pour l'éclairage naturel

Outre la planification urbaine, des innovations ont été développées pour améliorer l'éclairage naturel direct dans les zones peu exposées. Parmi celles-ci, les **miroirs orientables (héliostats)** ont fait leurs preuves en architecture. Un héliostat est un miroir motorisé à deux axes qui suit la trajectoire du soleil pour renvoyer en continu la lumière vers une cible précise (p. ex. une fenêtre ou un conduit). (Jakubiec, (2013).)

Ce dispositif permet d'introduire la lumière du soleil même dans des pièces orientées au nord ou masquées par les ombres urbaines. Par exemple, un tutoriel de basse technologie décrit un héliostat visant toute la journée une fenêtre pour « faire entrer de la lumière dans la maison, et par la même occasion de la chaleur ».

D'autres technologies moins coûteuses existent, comme les réflecteurs plans ou hémicylindriques fixés sous un appui de fenêtre (p. ex. réflecteurs « Espaciel »), qui renvoient la lumière vers l'intérieur, ou les tubes solaires (puits de lumière) qui transportent le rayonnement via un conduit à surface très réfléchissante. Bien que peu répandues à l'échelle urbaine, ces solutions illustrent les possibilités d'accroître l'éclairage naturel sans énergie électrique supplémentaire. Elles complètent les stratégies passives comme les façades claires ou les verrières d'escalier, en redirigeant activement les rayons solaires vers les zones sombres.

2.1.4. Exemples d'études et cas concrets

Dans le monde, plusieurs études de cas illustrent ces approches. À l'échelle internationale, des plateformes de cartographie solaire (webGIS 2D/3D) fournissent des *solar maps* pour guider les décisions (toitures optimales, calcul de rendement photovoltaïque).

Par exemple, la méthodologie i-SCOPE a produit des cartes 3D de potentiel solaire pour plusieurs villes européennes. Aux États-Unis, un travail a montré qu'en ville dense, négliger les ombres d'arbres et de bâtiments conduit à surestimer de près de 10% le gisement solaire reçu.

Dans un contexte méditerranéen, une étude espagnole a modélisé numériquement l'effet des croisements de rues sur l'accès solaire des façades dans un tissu urbain dense : elle conclut que les carrefours ouvrent des couloirs ensoleillés locaux, bien que cet effet disparaisse à courte distance, et souligne que la compacité urbaine classique peut entraver l'ensoleillement.

En France, des projets de *cadastres solaires* urbains (cartes interactives du potentiel solaire) utilisent aussi des modélisations 3D pour conseiller l'installation de capteurs solaires sur les bâtiments. (i-SCOPE, (2014).)

En Algérie, les nouveaux grands équipements urbains sont l'objet d'analyses d'ensoleillement dans leur phase de conception. Par exemple, le **Village Méditerranéen d'Oran** (réalisé pour les Jeux méditerranéens 2022) fait partie

d'un vaste plan d'aménagement de Belgaïd et a été récemment étudié pour ses usages post-jeux (hébergement, activités sportives).

De même, le développement du campus universitaire d'Oran (Université Oran 2, Belgaïd) et de ses résidences étudiantes intègre désormais des simulations d'éclairement naturel pour optimiser le confort (par exemple, pour répartir les bâtiments entre nord/ sud afin de maximiser l'ensoleillement sur les façades d'habitation). Ces exemples illustrent la tendance à coupler SIG et simulation d'ensoleillement dans les projets urbains récents en Algérie. (Khaled A. B., (2018).)

2.2. Présentation de la zone d'étude

2.2.1. Localisation de la commune de Belgaïd (Oran)

La zone d'étude se situe dans l'extrême est de l'agglomération oranaise, au niveau du pôle urbain de **Belgaïd** (commune de Bir El Djir, wilaya d'Oran). Belgaïd est la nouvelle extension résidentielle et institutionnelle d'Oran, implantée entre le golfe de Mers el-Kébir (Méditerranée) et des collines domestiques plus élevées vers le sud. Le site se trouve à faible altitude près du littoral, ce qui lui confère un fort ensoleillement – environ **3473 heures/an** en moyenne à Oran – tout en étant partiellement protégé du soleil couchant par les reliefs arrière. L'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed a choisi ce secteur pour son campus, confirmant son rôle de futur centre métropolitain (Belgaïd est officiellement donné « banlieue est d'Oran ». (Climate-data.org, (2023).)

Le climat typiquement méditerranéen de la région (basses pluies, été chaud et aride) crée une situation où l'ensoleillement est quasi permanent en journée claire, rendant cruciale la prise en compte des ombres portées par la géométrie urbaine. Dans ce contexte, Belgaïd se distingue par la superposition d'équipements (éducatifs, sportifs, hébergements) et d'une urbanisation moderne en grande parcelle, ce qui pose des défis spécifiques pour le bilan solaire local et le confort thermique en été.

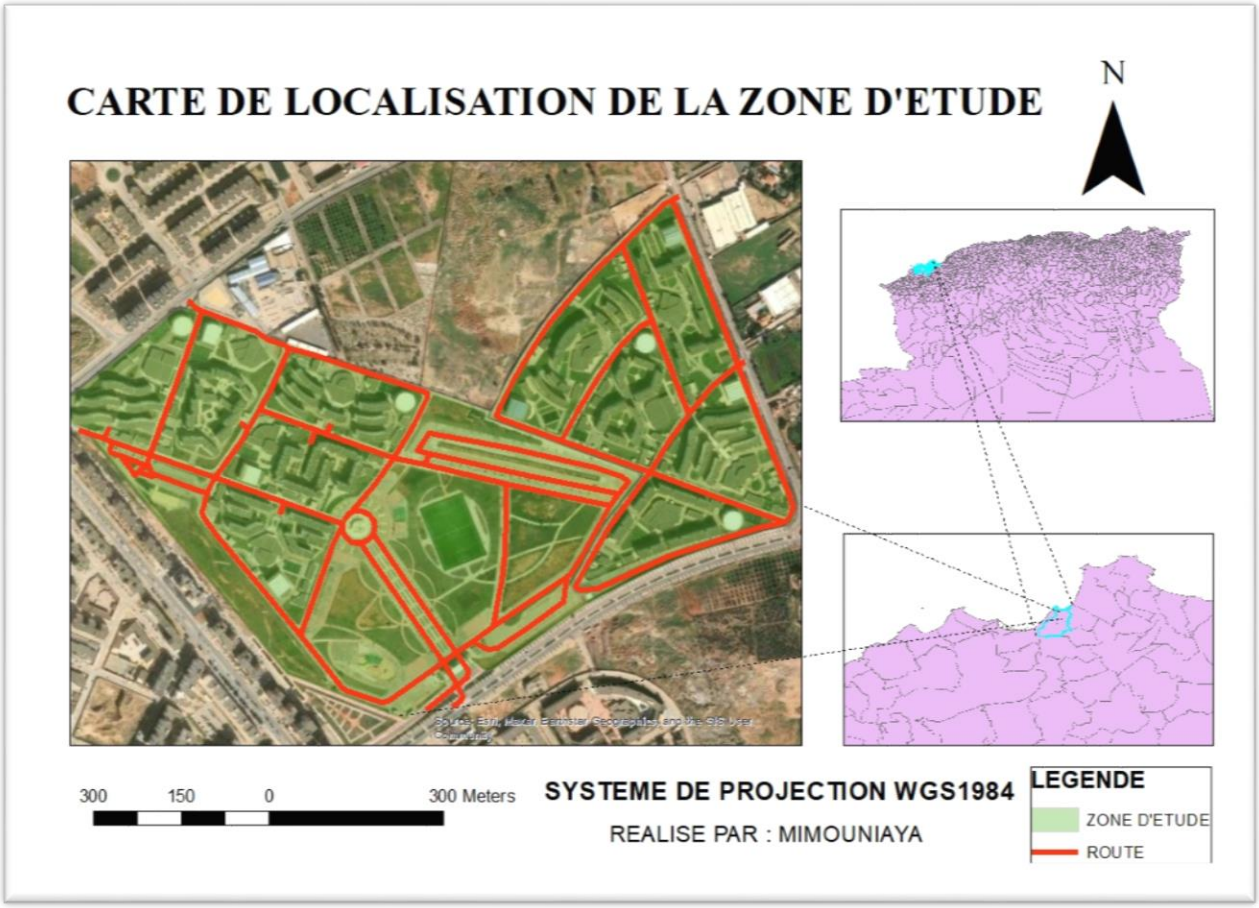


Figure 1CARTE DE LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.2.2. Le projet du Village Méditerranéen

Le **Village Méditerranéen** (ou village olympique d'Oran 2022) est le plus grand complexe de la zone étudiée. Construit pour les Jeux méditerranéens de l'été 2022, il couvre environ **39 hectares** et comprenait initialement des quartiers résidentiels (logements des athlètes et officiels) et plusieurs équipements. Selon une étude locale, ce village pouvait accueillir près de 4 266 personnes.

Aujourd'hui, réaménagé en structure hôtelière pour le public, il offre une capacité d'hébergement d'environ **3 400 lits**, répartis en chambres et dortoirs de différents niveaux, complétés par cinq restaurants, un centre de soins, des terrains et salles de sport ainsi que des espaces culturels et de détente.

Ce vaste aménagement est implanté au centre du projet Belgaïd, entre la mer et le futur campus universitaire. Son architecture comprend des bâtiments bas implantés en îlots, conçus pour maximiser le confort des usagers en été

(ombrage, ventilation) tout en offrant un bon accès au soleil direct sur les zones communes. L'analyse morphologique du site montre que le Village est globalement bien exposé en plein soleil l'été (ratios surface ouverte/ombre faibles), sauf à certains moments de la journée sur les ailes Nord des bâtiments. Ces caractéristiques en font un site d'étude privilégié pour évaluer l'ensoleillement urbain dans un grand complexe mixte (hébergement sportif et loisirs) de type méditerranéen . (Tribune, 2022).)

2.2.3. La nouvelle cité universitaire

Adjacente au Village olympique, la **nouvelle cité universitaire de Belgaïd** est un projet encore à l'état prévu au moment des Jeux. D'après les documents d'urbanisme récents, cette résidence a été conçue pour loger les étudiants, volontaires et personnel de l'événement. Elle occupe une surface importante d'environ **178 600 m²**.

Implantée en bordure nord du Village méditerranéen, la résidence est mixte (logements hommes et femmes) et comprend des blocs d'habitation de plusieurs étages. À ce jour elle n'est pas encore mise en service, son aménagement intérieur n'étant pas finalisé. Cette nouvelle cité s'ajoute à la « cité universitaire » existante (complexe de plus de 8 000 lits étudiantes répartis en cinq sous-cités sur ~151 hectares) déjà implantée un peu plus au nord.

L'ensemble forme un grand pôle universitaire (campus Oran 2 + résidences). Du point de vue de l'ensoleillement, la future cité universitaire devra être analysée comme un système de rues et cours ouverts dont l'orientation générale (axe Nord-Sud ou Est-Ouest) et la hauteur des bâtiments conditionneront la répartition de la lumière solaire sur les façades. La présence du Village Méditerranéen à proximité, ainsi que du futur complexe sportif (stade olympique) au sud-ouest, introduit des ombrages ponctuels (par ex. sur les toits plats de la cité universitaire au crépuscule) qu'il faudra quantifier pour assurer un bon confort visuel et thermique des occupants. (Watan, (2021).)

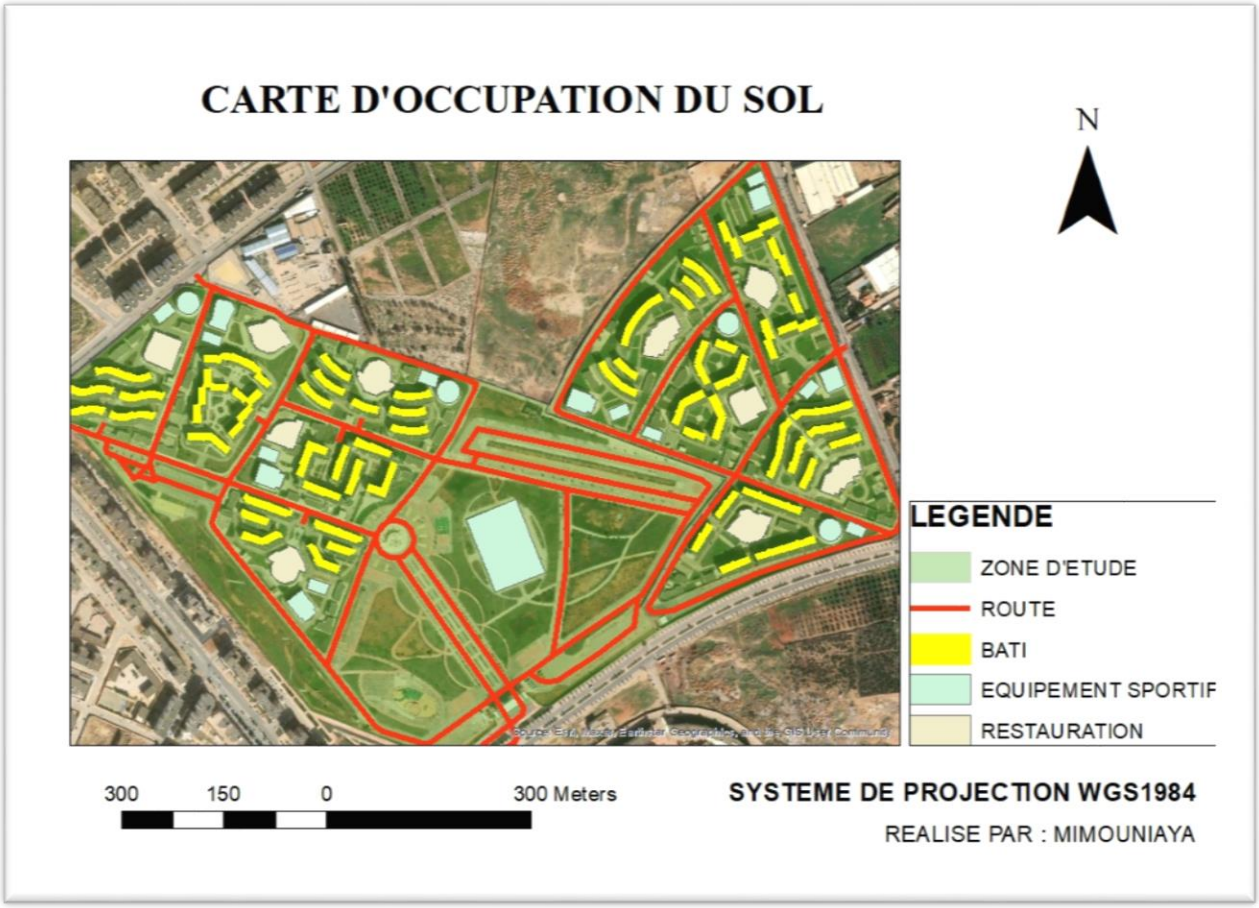


Figure 2CARTE D'OCCUPATION DU SOL

2.2.4. Morphologie urbaine, enjeux d'ensoleillement et équipements

Le périmètre de Belgaïd est caractérisé par une urbanisation récente et planifiée. On y trouve notamment des programmes de logements collectifs (LPA, LPL, sociaux) et plusieurs grands équipements publics.

La trame urbaine est moins dense que le centre-ville d'Oran, mais les opérations sont conçues sur de larges parcelles, créant des « canyons » urbains de dimensions variables. D'un point de vue topographique, le site est relativement plat près du littoral mais s'élève légèrement vers l'intérieur, ce qui peut entraîner des effets d'ombrage locaux. Le modèle méditerranéen de ville compacte (courtes rues profondes) prédomine, ce qui peut compliquer l'éclairage direct des façades orientées nord – un problème classique souligné pour les villes méditerranéennes denses.

En outre, la végétation du site reste assez clairsemée (quelques alignements d'arbres), de sorte que les principaux obstructions sont les bâtiments eux-mêmes.

Sur le plan climatique, la très haute irradiation solaire d'Oran (plus de 11 heures de soleil quotidien en été) fait de l'ensoleillement un atout majeur mais aussi un enjeu pour éviter la surchauffe. L'orientation des rues (principalement Nord-Est/Sud-Ouest) et la position du soleil bas en hiver et haut en été conduisent à des variations saisonnières marquées. Assurer un bon éclairement naturel des espaces publics (carrés, cours intérieures) et des logements est donc essentiel pour le confort. (Climate-data.org, (2023).)

Données climatiques de la région d'Oran (valeurs moyennes annuelles)

Paramètre climatique	Valeur moyenne
Nombre d'heures d'ensoleillement / an	3 473 heures
Température moyenne annuelle	18,6°C
Précipitations annuelles moyennes	326 mm
Nombre moyen de jours ensoleillés par an	Environ 300 jours

Tableau 1Données climatiques de la région d'Oran

Enfin, la proximité de la mer modère quelque peu la température de l'air, mais favorise en même temps la réflexion du rayonnement sur la mer et les surfaces claires. L'analyse de l'ensoleillement dans ce cadre doit donc prendre en compte la géométrie 3D complexe des bâtiments (bloques hauts, percées visuelles, etc.), le climat solaire intense (statistiques de durée d'ensoleillement et les usages futurs du site (logement étudiant, équipements sportifs). Ces éléments seront détaillés au chapitre suivant à l'aide de cartes SIG et simulations radiométriques spécifiques au périmètre Belgaïd.

Ce chapitre a permis d'établir un état des connaissances actuelles sur les méthodes d'analyse de l'ensoleillement urbain tout en décrivant les caractéristiques physiques et morphologiques de la zone d'étude. Ces éléments constituent un socle indispensable pour la mise en œuvre de la méthodologie présentée dans le chapitre suivant.

3. CHAPITRE 3 : Méthodologie de l'analyse de l'ensoleillement urbain

Introduction

Après avoir posé le cadre théorique et présenté la zone d'étude, ce chapitre expose la démarche méthodologique adoptée pour réaliser l'analyse de l'ensoleillement. Il détaille les outils logiciels utilisés, les étapes de traitement des données et les paramètres choisis pour la simulation des ombres projetées. L'objectif est d'assurer une transparence totale dans la reproduction des étapes d'analyse.

L'étude a été réalisée avec **ArcGIS Desktop 10.8** (ArcMap et ArcScene) et les extensions 3D Analyst et Spatial Analyst. ArcScene est l'environnement 3D adapté à l'analyse spatiale locale. (Esri, (2010).)

Il permet de charger les données géographiques 3D (multipatch pour les bâtiments) et d'exécuter les outils de modélisation d'ombre comme *Sun Shadow Volume*.

L'outil **Sun Shadow Volume** (boîte à outils 3D Analyst) génère pour une date et une heure données un volume fermé simulant l'ombre portée par chaque entité 3D. Ses attributs incluent l'azimut et l'angle vertical du soleil pour chaque volume d'ombre.

Les calculs raster (somme des heures d'ensoleillement) ont été effectués par l'outil **Raster Calculator** de l'extension Spatial Analyst, qui permet d'exécuter une expression d'algèbre de cartes produisant un raster en sortie.

3.1.1. Données utilisées

Les données spatiales comprennent : une couche de avec les hauteurs. Ces hauteurs peuvent provenir d'un attribut existant ou d'un inventaire local. Les bâtiments 2D ont été extrudés en géométries 3D (multipatch) à partir de leur attribut « hauteur » en utilisant l'outil *Feature To 3D By Attribute* de l'extension 3D Analyst, ce qui crée des entités 3D selon les valeurs du champ hauteur. On obtient ainsi un modèle 3D de la zone dans un système de coordonnées projetées WGS84 UTM ZONE 30 .

Les **paramètres solaires** ont été définis pour des dates représentatives de chaque saison. Les positions solaires (azimut, hauteur) étant calculées automatiquement par ArcGIS d'après la latitude locale et l'heure fournie.

L’analyse de l’ensoleillement a été menée pour des **dates représentatives des quatre saisons** :

Saison	Date de référence
Printemps	21 mars
Été	21 juin
Automne	21 septembre
Hiver	21 décembre

Tableau 2dates représentatives des quatre saisons :

Pour chaque date, les **plages horaires de simulation** ont été définies entre **le lever et le coucher du soleil**, selon les heures solaires locales :

Saison	Heures simulées approximatives
Été	De 6h à 20h
Hiver	De 8h à 18h
Printemps/Automne	De 7h à 19h

Tableau 3 les plages horaires de simulation

Les heures solaires sont ainsi intégrées implicitement dans les outils plutôt qu’importées d’une table externe.

3.1.2. Numérisation 2D des bâtiments

La première étape a consisté en la numérisation des empreintes au sol des bâtiments directement depuis des images satellites géoréférencées ou des orthophotos disponibles de la zone d’étude.

Étapes :

- Importation de la couche satellite basemap dans ArcMap 10.8.
- Création d’une nouvelle feature class de type polygon.
- Numérisation manuelle des contours de chaque bâtiment présent dans les deux sites choisis.

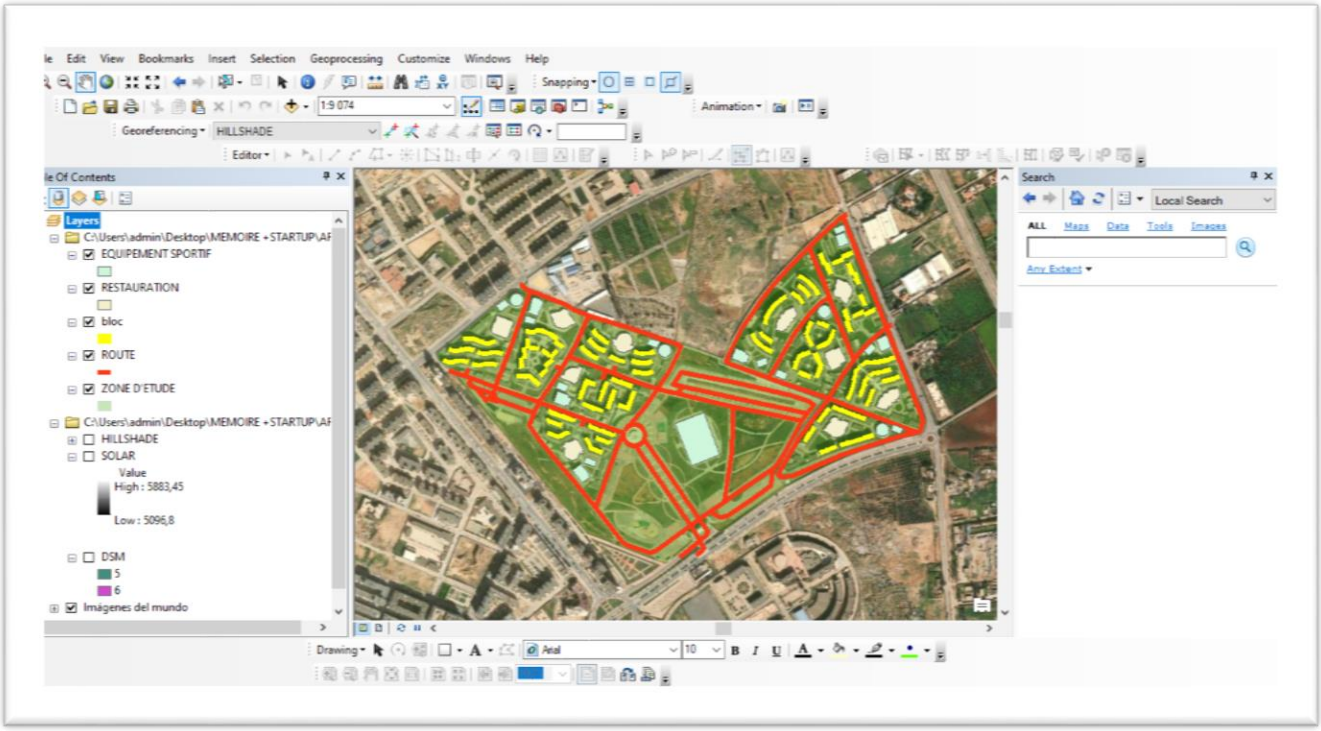


Figure 3 Numérisation 2D des bâtiments

Attribution d'un champ « Hauteur » (en mètres) pour chaque bâtiment, basé sur les données recueillies (plans d'aménagement ou estimations sur le terrain).

3.1.3. Passage au modèle 3D sous ArcScene

Une fois la numérisation terminée :

- La couche des bâtiments 2D a été importée dans ArcScene**.**
- À l'aide de l'outil Feature To 3D By Attribute (extension 3D Analyst), chaque bâtiment a été extrudé verticalement en fonction de sa hauteur**.**

La valeur de Base Height a été fixée à 0 pour tous les bâtiments, en raison de l'absence de Modèle Numérique de Terrain (MNT).

Le résultat est un modèle urbain 3D constitué exclusivement des bâtiments, permettant de simuler les interactions soleil/ombre.

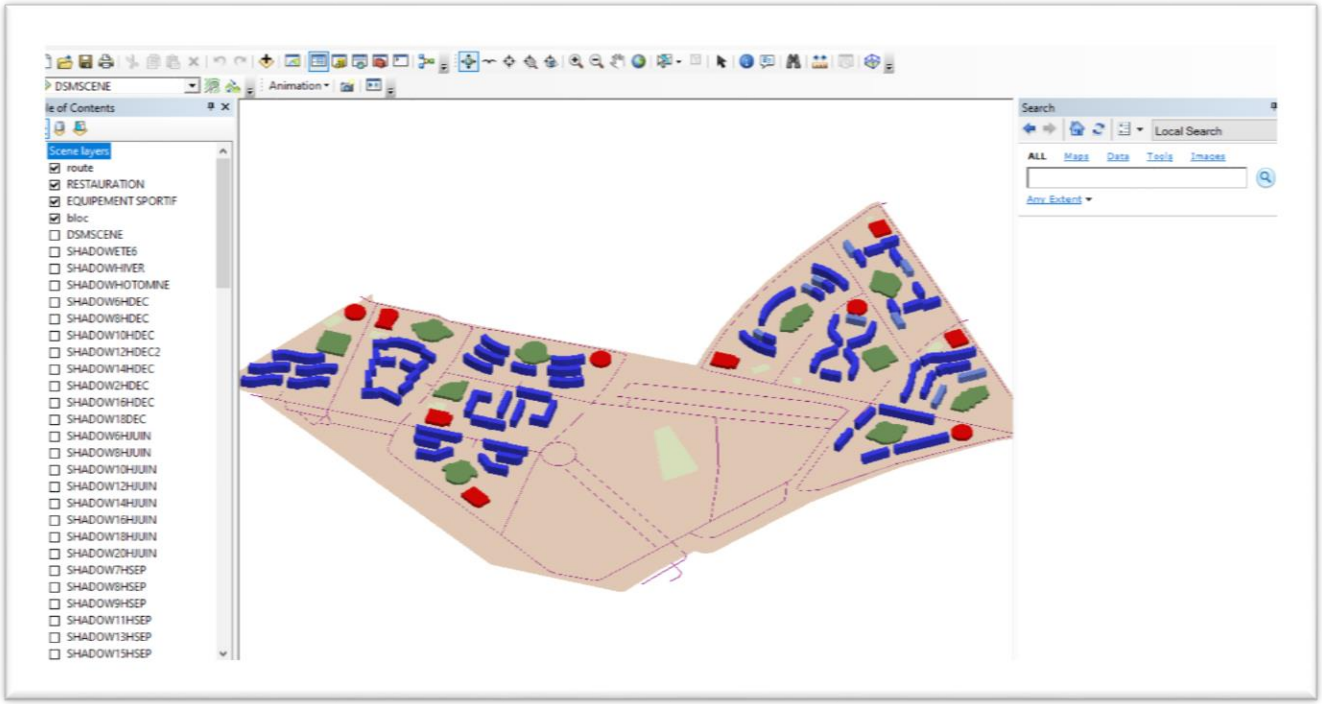


Figure 4 Passage au modèle 3D sous ArcScene

3.1.4. Génération des ombres avec Sun Shadow Volume

Pour chaque heure simulée :

- L'outil Sun Shadow Volume a été exécuté sur la couche Multipatch 3D des bâtiments**.**
- Résultat : Création d'une couche Multipatch représentant les volumes d'ombres projetés sur le sol pour l'heure et la date considérées.

La simulation a été répétée pour chaque heure de chaque saison, afin de couvrir toute la journée.

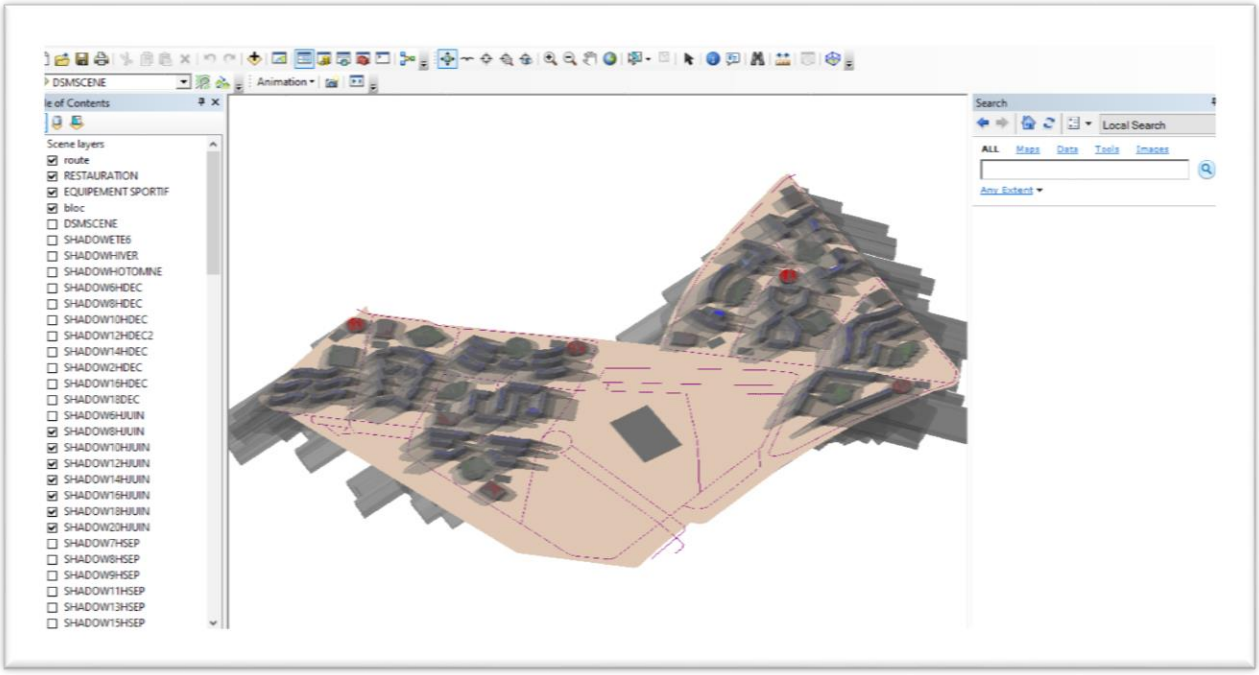


Figure 5 Génération des ombres avec Sun Shadow Volume

3.1.5. Conversion des ombres en rasters horaires

Chaque volume d'ombre a ensuite été :

- Converti en raster binaire (1 pour « ombré », 0 pour « non ombré ») via l'outil **Multipatch To Raster**.

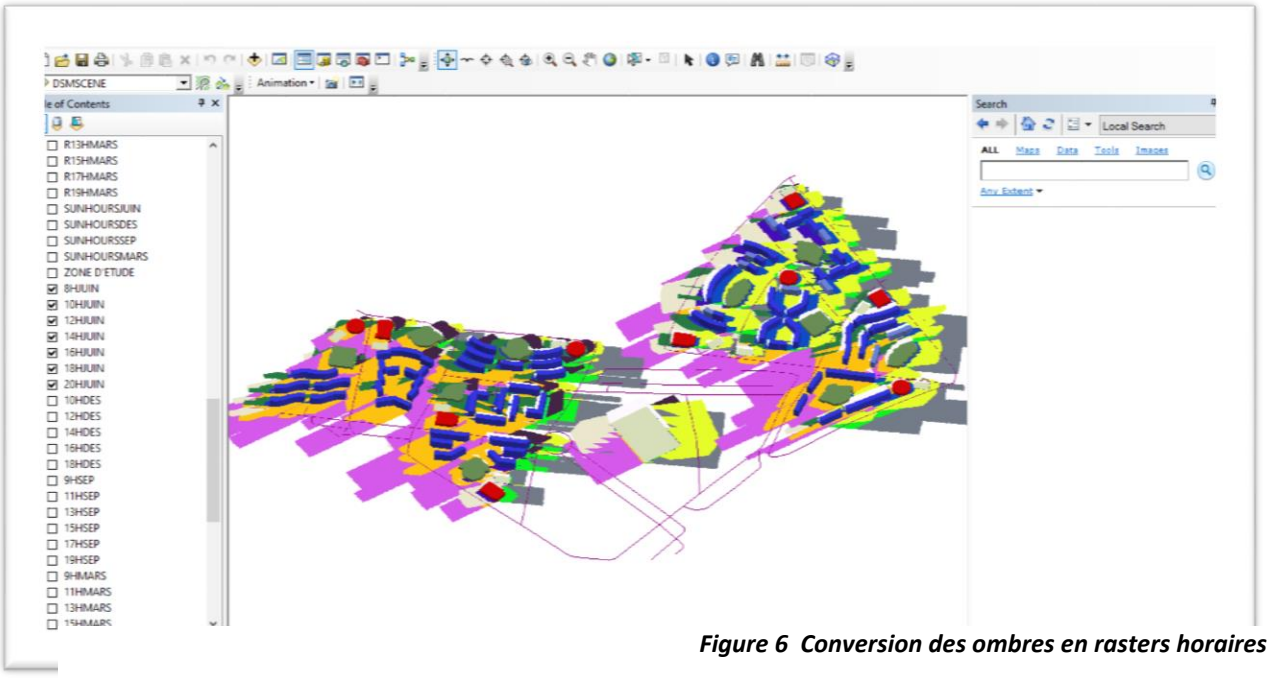


Figure 6 Conversion des ombres en rasters horaires

Après conversion :

- Tous les rasters horaires ont été additionnés à l'aide de l'outil Raster Calculator.
-
- Cela a permis de calculer, cellule par cellule, le nombre total d'heures d'ombre.

- Par soustraction du total d'heures possibles par jour, on a obtenu le raster final des heures d'ensoleillement par cellule.

3.1.6. Classification des zones selon l'ensoleillement

Le raster des heures d'ensoleillement a été reclassé en trois catégories :

Classe	Plage horaire (heures/jour)
Faible	Moins de 2 heures
Moyen	Entre 2 et 4 heures
Fort	Plus de 4 heures

Tableau 4 Classification des zones selon l'ensoleillement

La classification a été effectuée via l'outil **Reclassify** sous ArcGIS.

Chaque classe a ensuite été **symbolisée par une couleur spécifique**, permettant de produire une **carte thématique de l'exposition solaire**.

3.1.7. Création des cartes des ombres et de l'ensoleillement

Dans le cadre de cette étude, plusieurs types de cartes ont été élaborées afin d'analyser la répartition spatiale de l'ombre et de l'ensoleillement sur la zone d'étude.

- **Cartes horaires des emprises ombragées :**
  Pour chaque heure de la journée (entre 6h et 18h), des cartes ont été générées à partir des rasters horaires issus de l'outil *Sun Shadow Volume*. Une symbologie binaire (ombre / non-ombre) a été appliquée, avec un fond cartographique léger et la superposition des bâtiments pour faciliter la lecture.
- **Carte du cumul d'ombre journalier :**
  Un raster cumulatif a été produit en additionnant les rasters horaires. Cette carte indique, pixel par pixel, le **nombre total d'heures passées à l'ombre sur l'ensemble de la journée**.

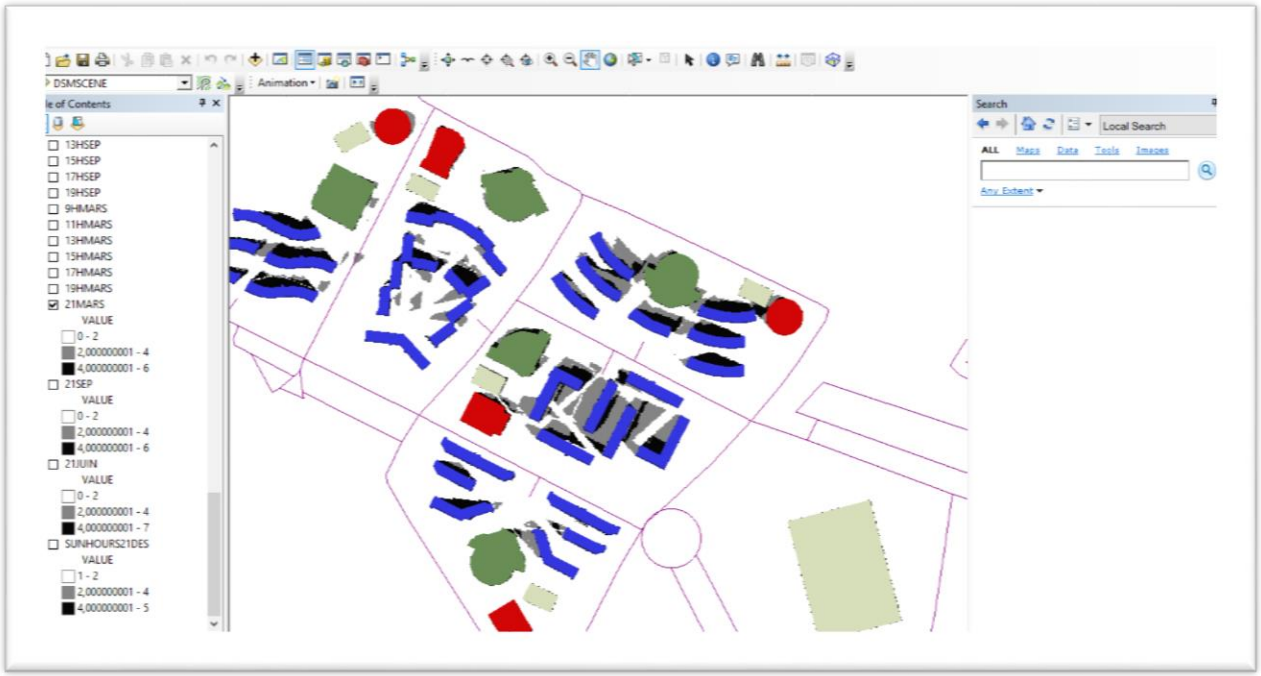


Figure 7 Création des cartes des ombres et de l'ensoleillement

- **Carte de classification de l'ensoleillement :**
  Le raster cumulatif a été reclassé en **trois classes d'exposition solaire** :
  Faible (<2h) **Moyen** (2–4h), **Élevé** (>4h), permettant ainsi une lecture qualitative des zones selon leur niveau d'ensoleillement.

3.2. Difficultés rencontrées

- **Absence de MNT :** La modélisation est uniquement basée sur les bâtiments, sans prise en compte de la topographie du sol.
- **Traitement manuel des heures :** L'analyse des ombres a été réalisée **heure par heure**, augmentant le temps de traitement.
- **Limites d'ArcScene 10.8 :** Contrairement à ArcGIS Pro, les fonctionnalités de simulation solaire sont plus limitées.

La méthodologie présentée dans ce chapitre a permis de structurer l'ensemble du processus d'analyse de l'ensoleillement, depuis la modélisation des bâtiments jusqu'à la production des cartes thématiques. Les résultats issus de cette démarche seront exposés et analysés en détail dans le chapitre suivant.

4. CHAPITRE 4 :

Analyse des résultats et Recommandations

4.1. Analyse quantitative globale

Pour chaque jour-type simulé, nous avons obtenu une cartographie de l'exposition solaire qui a ensuite été reclassée en trois grandes catégories :

- **Faible ensoleillement** : Moins de 2 heures de soleil par jour.
  Ce sont des zones où la lumière directe du soleil est très limitée, souvent à cause de la proximité immédiate des bâtiments ou de leur hauteur.
- **Ensoleillement moyen** : Entre 2 et 4 heures de soleil par jour.
  Ces zones bénéficient d'un ensoleillement partiel, généralement en milieu de journée lorsque le soleil atteint son point culminant.
- **Bon ensoleillement** : Plus de 4 heures de soleil par jour.
  Ces espaces sont les mieux exposés et profitent d'un bon ensoleillement sur la majorité de la journée.

Ce que montrent les résultats :
Dans l'ensemble, la majorité de la zone d'étude bénéficie d'un ensoleillement moyen à bon. Cependant, des zones précises, notamment entre les bâtiments ou au nord des volumes les plus hauts, souffrent d'un manque important de lumière naturelle.

4.2. Analyse saisonnière

En étudiant l'ensoleillement sur les quatre saisons de l'année, on observe des différences très marquées :

4.2.1. Été (21 juin) et plus particulièrement lors du solstice du 21 juin, **la majorité des espaces bénéficient d'un ensoleillement quasi permanent**. Les zones ombragées sont relativement limitées, concentrées essentiellement **au pied des bâtiments les plus élevés**, ou encore **dans les espaces étroits entre les constructions**, où les masques urbains réduisent localement l'exposition directe au soleil. La durée du jour étant maximale à cette période, l'incidence des ombres reste faible sur l'ensemble du site.

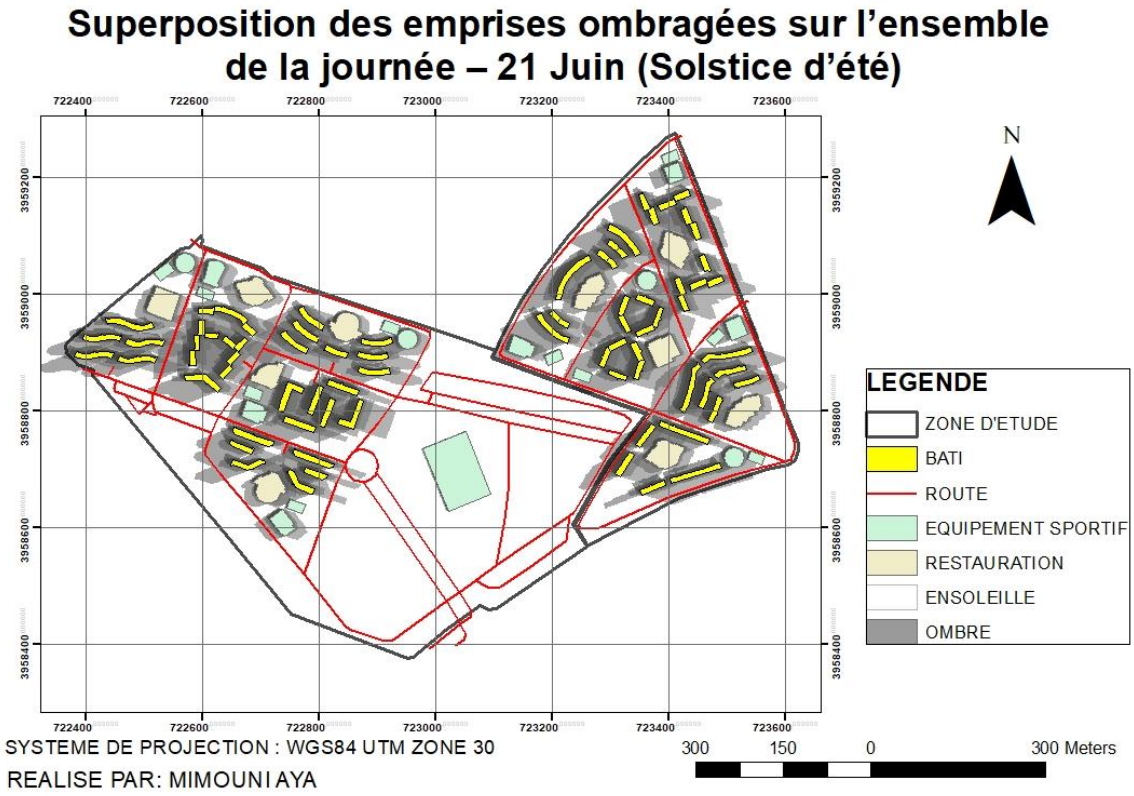


Figure 8CARTE 21 JUIN 1

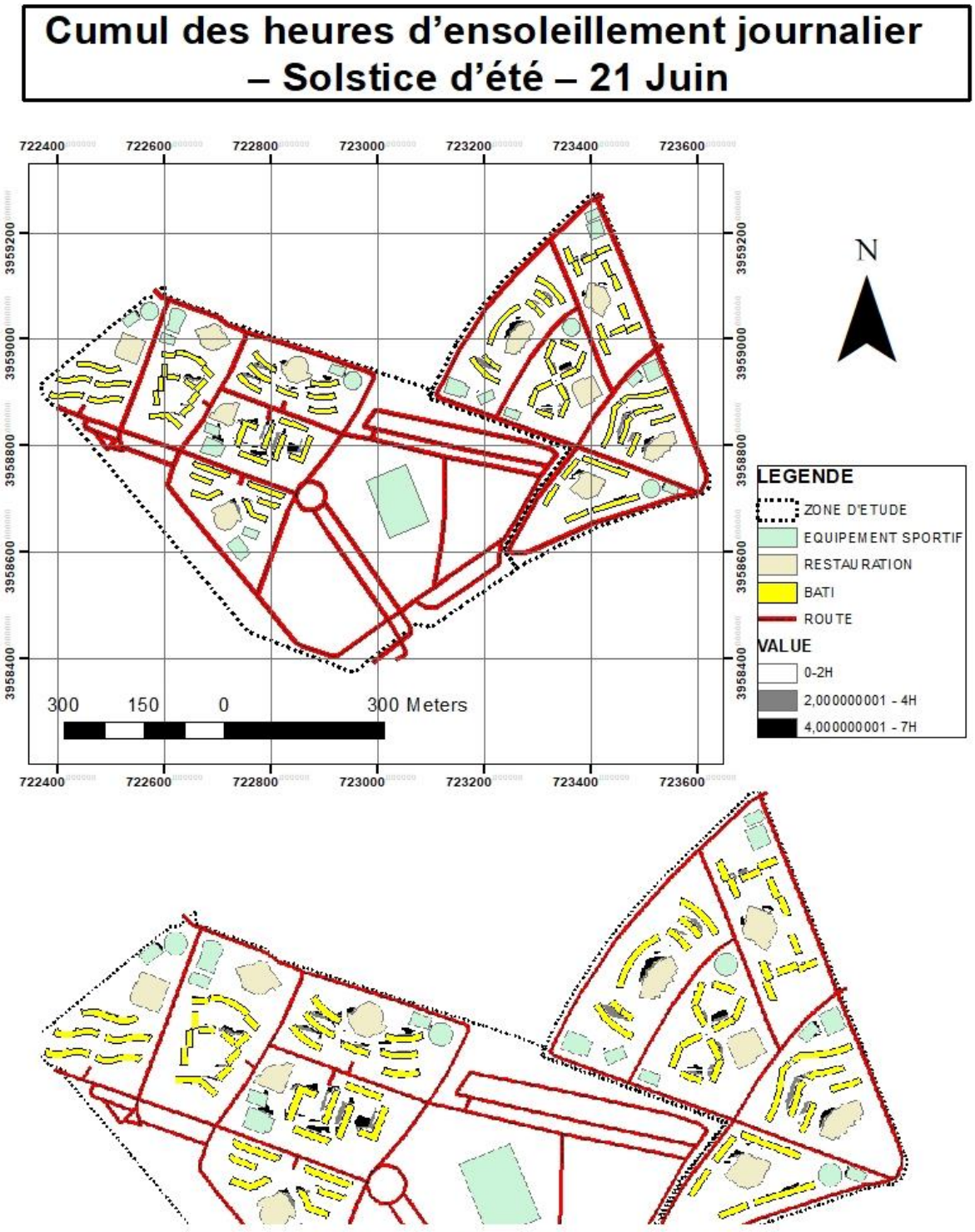


Figure 9 CARTE 21 JUIN 2

4.2.2. Hiver (21 décembre)

En **hiver**, lors du solstice du 21 décembre, **le contraste est net**. Les cartes révèlent **une prédominance marquée des zones ombragées**, avec des surfaces entières restant privées de lumière directe pendant une grande partie, voire la totalité de la journée. **La faible hauteur solaire**, combinée **à la longueur des ombres projetées par les bâtiments**, accentue cet effet. **Les rues étroites et les cours intérieures profondes** figurent parmi les secteurs les plus défavorisés en termes d'ensoleillement.

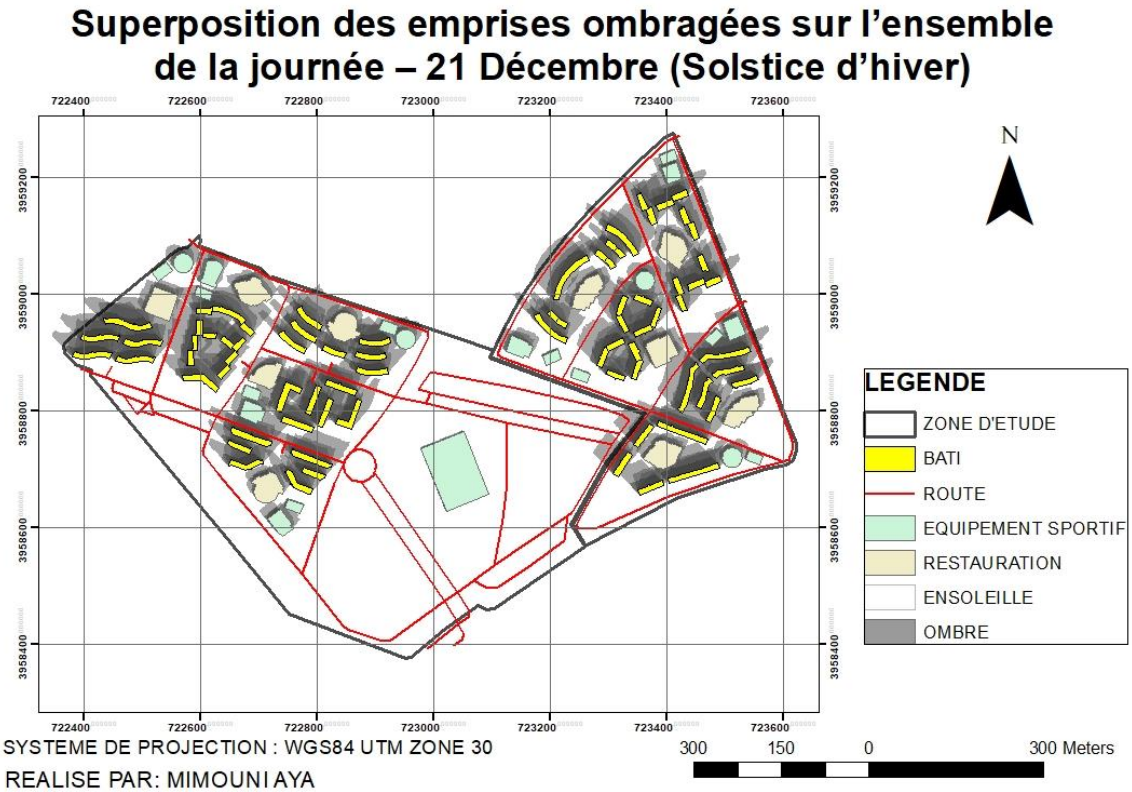


Figure 10 CARTE 21 DECEMBRE 1

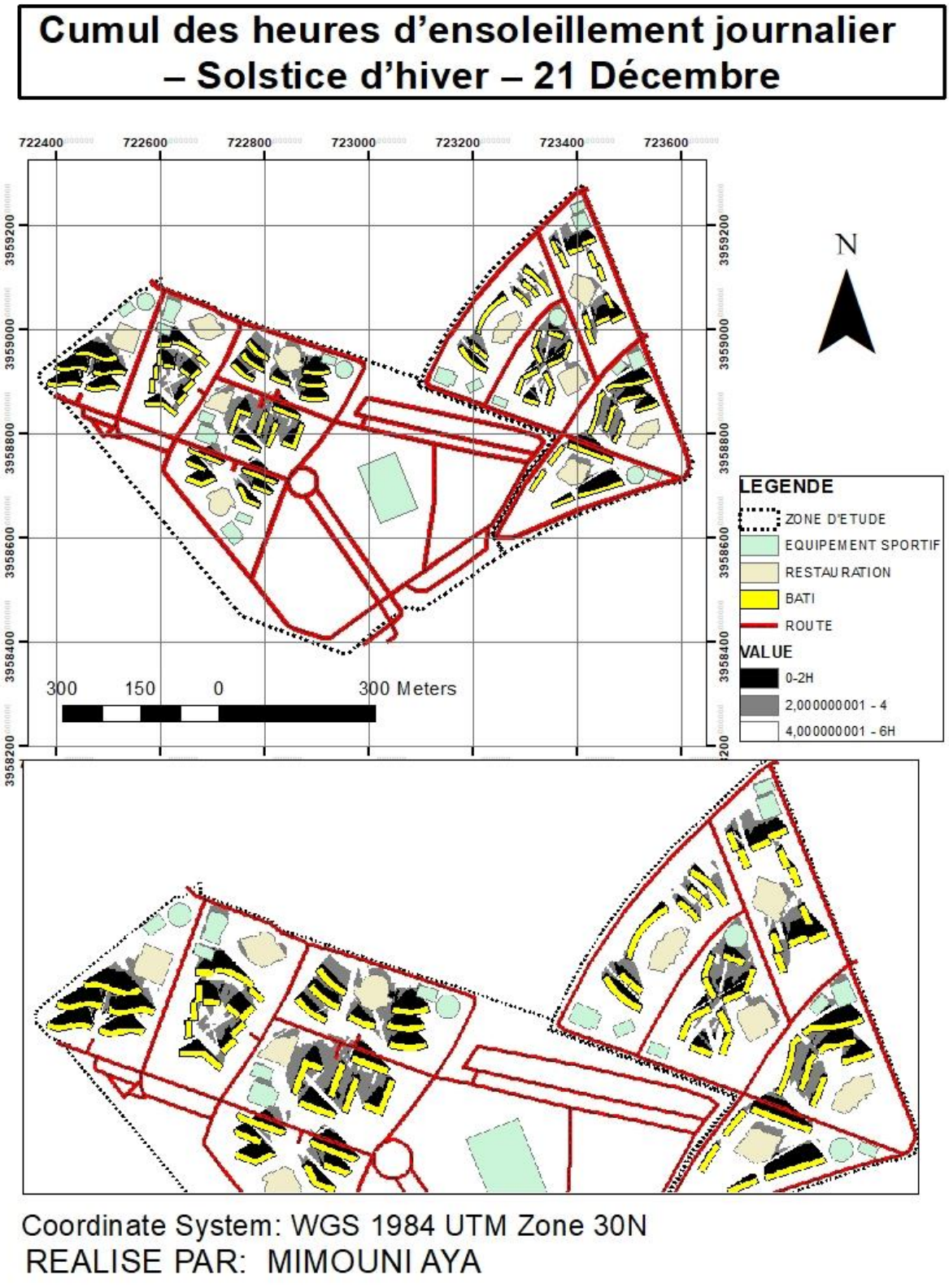


Figure 11 CARTE 21 DECEMBRE 2

4.2.3. Les saisons de **printemps (21 mars)** et **automne (21 septembre)** présentent des situations intermédiaires. Les cartes mettent en évidence **une meilleure répartition entre les zones ensoleillées et ombragées**. La trajectoire solaire, plus élevée qu'en hiver mais moins qu'en été, permet **un ensoleillement correct en milieu de journée**, notamment sur les façades orientées sud et les espaces publics bien dégagés. Toutefois, **les premiers et derniers instants de la journée** restent marqués par des ombres relativement longues, similaires à celles observées en hiver.

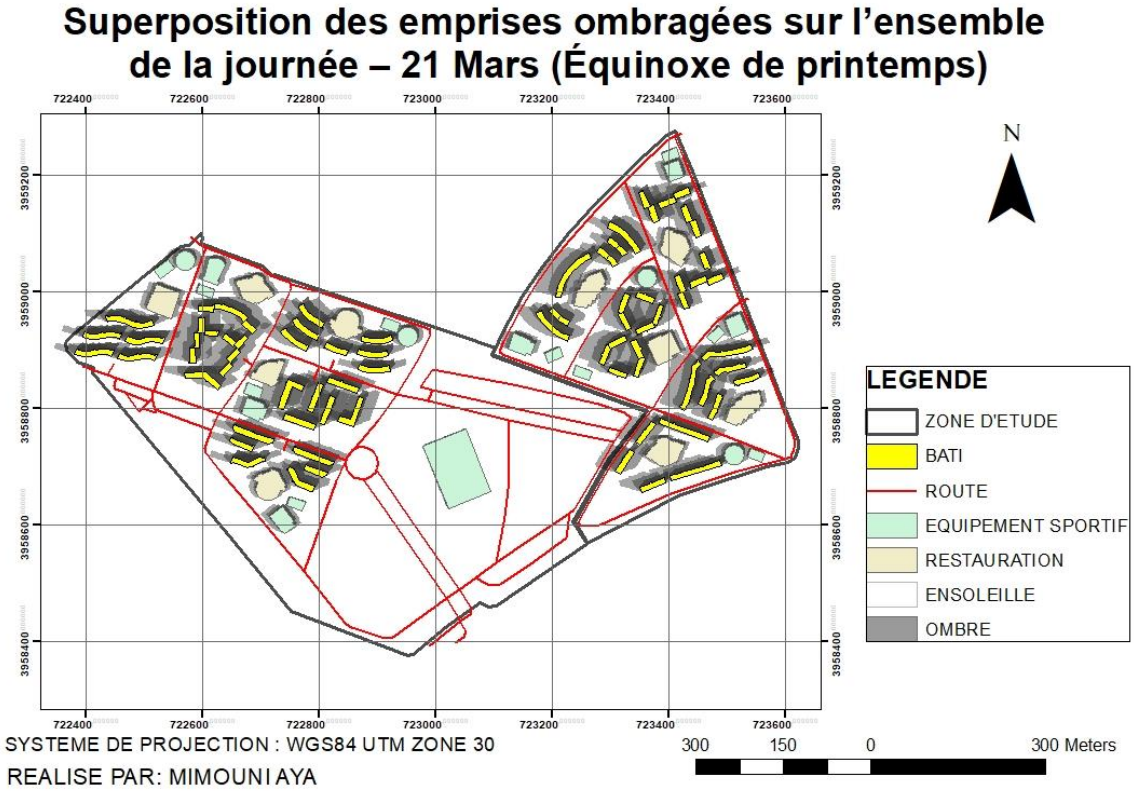


Figure 12 CARTE 21 MARS 1

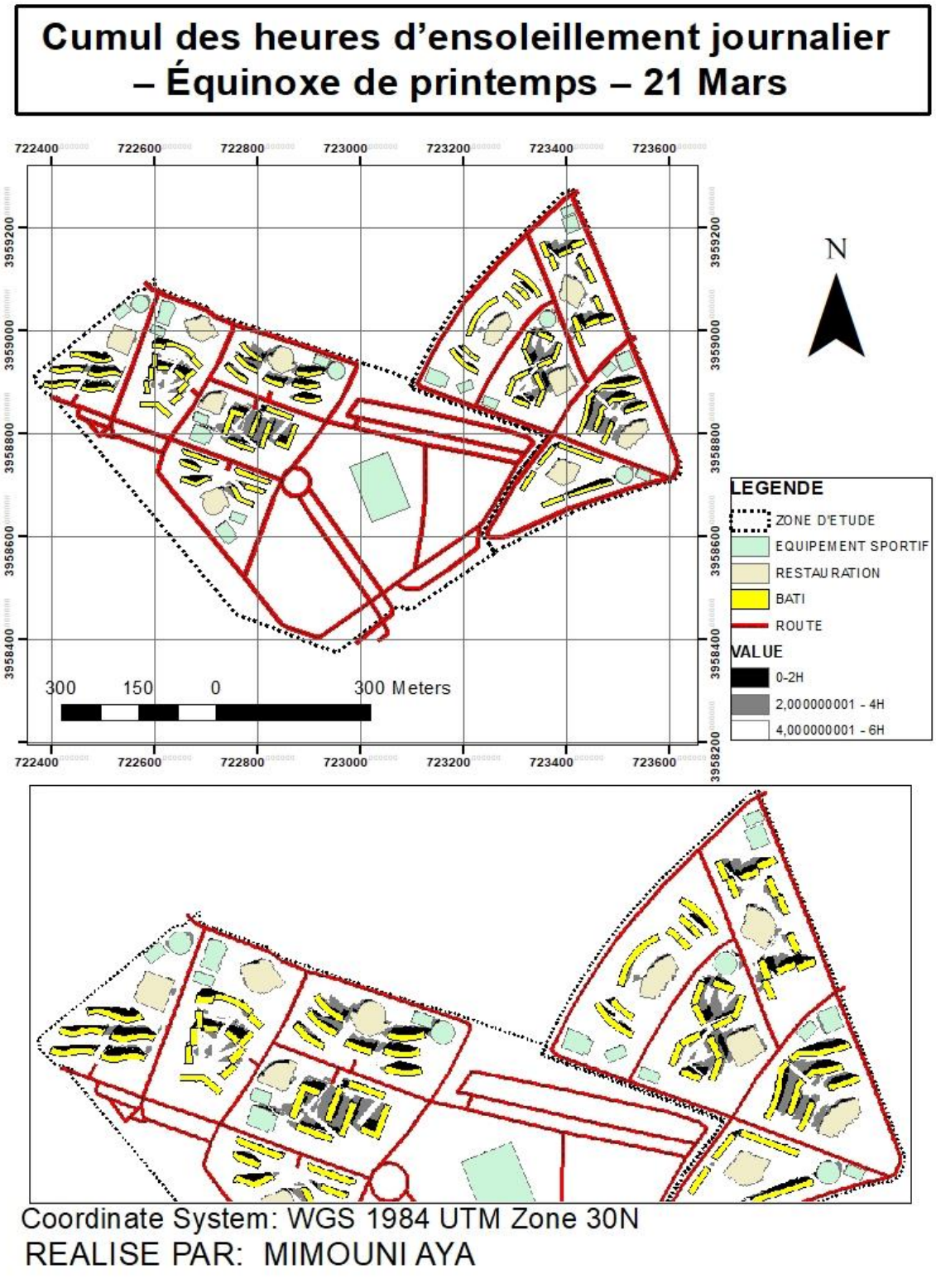


Figure 13 CARTE 21 MARS 2

4.2.4. Automne (21 septembre) Situation proche du printemps, avec un ensoleillement modéré et des ombres qui s'étendent en début et en fin de journée.

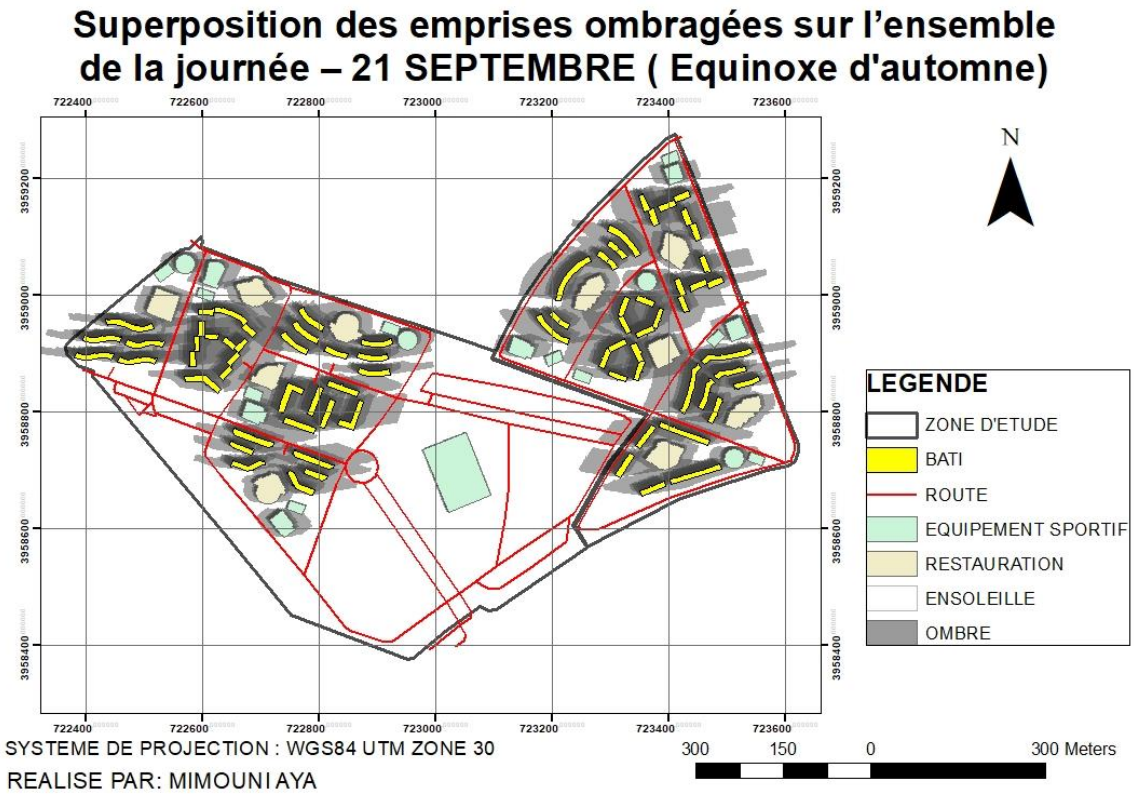


Figure 14 CARTE 21 SEPTEMBRE 1

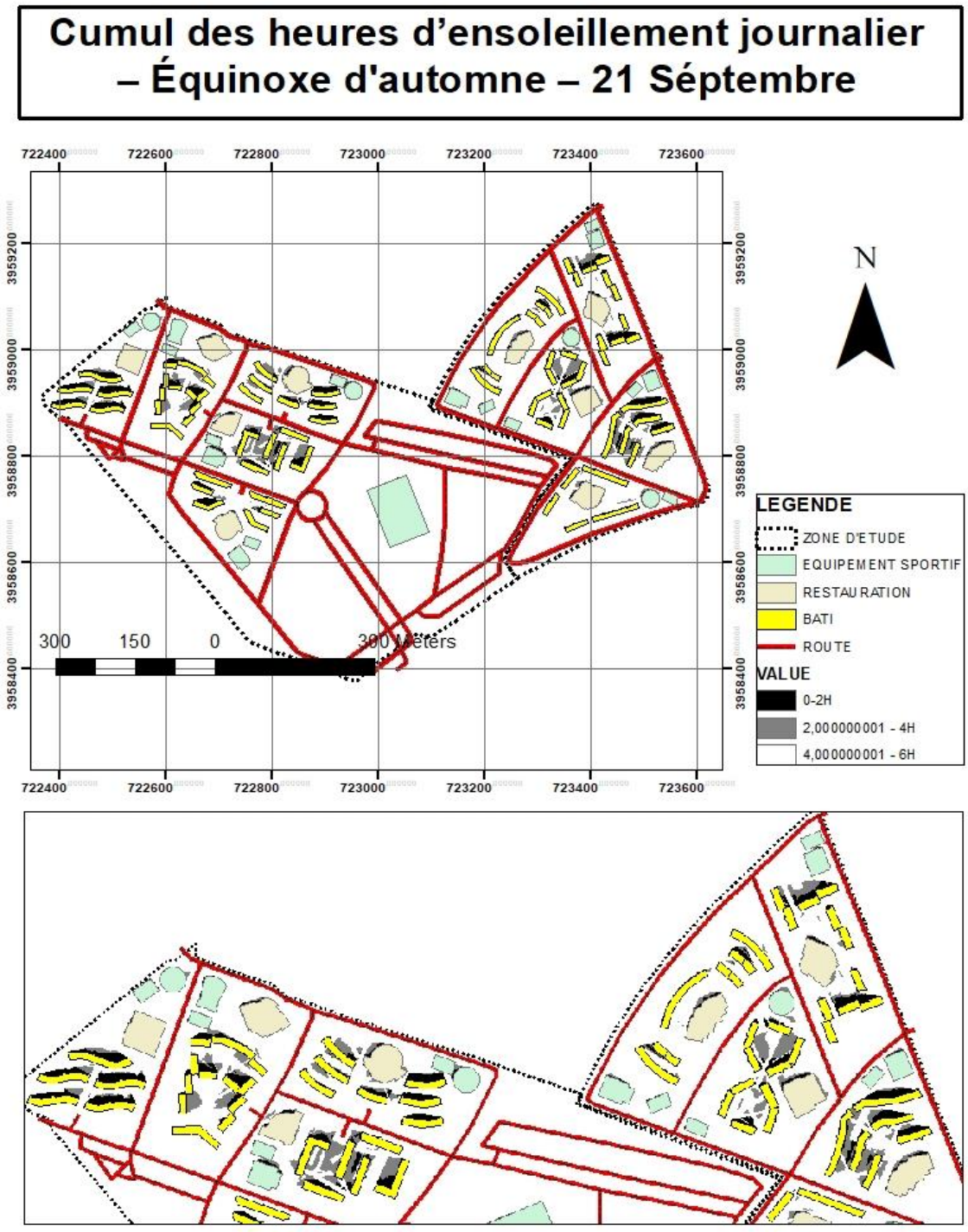


Figure 15 CARTE 21 SEPTEMBRE 2

- **L’hiver est la saison la plus critique** pour l’ensoleillement, avec de grandes zones restées en ombre toute la journée.
- **En été**, même les zones les plus encaissées profitent d’au moins quelques heures de lumière.
- **Le printemps et l’automne** présentent des situations intermédiaires mais confirment que certaines zones restent structurellement défavorisées.

4.3. Bilan général des variations saisonnières

En comparant les cartes des différentes saisons, on remarque que :

- Les **façades sud** et les **espaces ouverts** sont les plus favorisés, bénéficiant de plusieurs heures d’ensoleillement même en hiver.
- À l’inverse, les **façades nord** et les **zones étroites entre les bâtiments** sont les plus touchées par le manque de lumière.
- La **forme urbaine**, la **hauteur des bâtiments** et leur **orientation** jouent un rôle majeur dans la répartition de l’ensoleillement.

4.4. Recommandations d’aménagemen pour une meilleure accessibilité solaire :

Suite à l’analyse détaillée de la répartition de l’ensoleillement dans la zone d’étude, plusieurs constats ont été faits concernant la présence de zones faiblement exposées à la lumière solaire, notamment durant les saisons hivernales. Afin d’améliorer les conditions d’éclairement naturel et de limiter les effets négatifs liés aux ombres portées, les recommandations suivantes peuvent être proposées :

4.4.1. Repenser la hauteur et l’implantation des futurs bâtiments
Pour les phases d’extension ou de réaménagement des deux sites, il est conseillé de limiter la hauteur des nouvelles constructions dans les zones déjà sensibles à l’ombre. L’orientation des bâtiments devrait également être optimisée afin de favoriser la pénétration de la lumière naturelle, en privilégiant des orientations nord-sud lorsque cela est possible.

4.4.2. Préserver et aménager des couloirs d'ensoleillement
La création de percées visuelles et de couloirs ouverts entre les bâtiments permettra de favoriser l'entrée de la lumière solaire dans les espaces publics et les cours intérieures, surtout dans les zones résidentielles.

4.4.3. Utiliser des matériaux et des couleurs favorisant la réflexion lumineuse
Dans les zones sujettes à un faible ensoleillement, l'utilisation de revêtements de façades et de sols de couleur claire est recommandée afin de maximiser la réflexion et la diffusion de la lumière naturelle.

4.4.4. Intégration de dispositifs de redirection de la lumière
Pour les espaces intérieurs souffrant d'un manque de lumière, il est possible d'envisager l'intégration de solutions technologiques simples comme des réflecteurs fixes ou des héliostats, permettant de rediriger la lumière solaire vers les zones les plus sombres.

4.4.4.1. Héliostat

- **Principe** : Dispositif motorisé utilisant des miroirs pour suivre la course du soleil et concentrer la lumière sur un point fixe, principalement pour produire de l'énergie thermique.
- **Utilisation** : Dans des centrales solaires à concentration comme PS10 (Espagne) ou Ivanpah Solar Facility (États-Unis).
- **Limite** : Conçu pour l'industrie, **pas adapté aux petites structures résidentielles**.

4.4.4.2. Solarspot / Solatube

- **Principe** : Systèmes de puits de lumière tubulaires qui captent la lumière via une coupole sur le toit et la redirigent à l'intérieur par des conduits très réfléchissants.
- **Utilisation** : Éclairage passif de pièces sans motorisation ni automatisation.
- **Limite** : Installation fixe, sans possibilité de suivre le soleil.

4.4.4.3. Miroirs urbains manuels (Italie, Japon)

- **Principe** : Dans des zones urbaines très denses (par ex. Gênes en Italie, Tokyo au Japon), des **miroirs fixes manuels** sont utilisés pour rediriger la lumière naturelle vers des ruelles sombres ou des fenêtres de bâtiments en contrebas.
- **Utilisation** : Installation artisanale et manuelle pour corriger des problèmes d'ombre sans motorisation.
- **Limite** : Aucun système intelligent ou automatisé n'est utilisé.

4.4.5. Végétalisation raisonnée des espaces extérieurs

Bien que la plantation d'arbres soit essentielle pour le confort thermique en été, il est important de choisir des essences et des emplacements qui ne bloquent pas l'ensoleillement hivernal, surtout dans les zones déjà identifiées comme étant à faible exposition solaire.

4.4.6. Intégration d'études d'ensoleillement dès la phase de conception des projets futurs

Il est fortement recommandé que toute nouvelle opération d'aménagement dans le secteur de Belgaïd intègre systématiquement une étude d'ensoleillement prévisionnelle, afin d'anticiper les effets des formes urbaines sur la lumière naturelle.

4.4.7. Sensibilisation des acteurs de l'aménagement

Les résultats de cette étude peuvent également servir de support de sensibilisation auprès des urbanistes, architectes et décideurs locaux afin de promouvoir une approche plus durable et plus respectueuse du climat lumineux urbain.

4.5. Perspectives sur la méthode

La méthode adoptée dans le cadre de cette étude, fondée sur la modélisation 3D du tissu urbain et la simulation horaire des ombres à l'aide des outils ArcGIS et ArcScene, a permis de visualiser avec précision la répartition de l'ensoleillement selon les saisons et les moments de la journée. Cette approche a offert des résultats pertinents pour identifier les espaces sous-exposés à la lumière naturelle.

Toutefois, plusieurs pistes d'amélioration peuvent être envisagées pour enrichir et affiner l'analyse :

Automatisation du processus de simulation : L'utilisation de logiciels plus récents ou spécialisés, tels qu'ArcGIS Pro ou des extensions comme Ladybug Tools, permettrait de réduire le travail manuel et d'accélérer le traitement des données.

Intégration de la végétation et d'autres éléments urbains : La prise en compte des arbres, du mobilier urbain ou de micro-reliefs locaux permettrait d'obtenir une représentation plus fidèle des obstacles influençant la lumière naturelle.

Simulation étendue sur l'année : Réaliser une simulation continue sur plusieurs jours, voire sur l'ensemble de l'année, permettrait d'obtenir un bilan plus précis de l'ensoleillement réel et de sa variation temporelle.

Application à d'autres contextes urbains : Cette méthode peut être transposée à d'autres sites pour étudier le potentiel solaire, évaluer la pertinence de l'installation de panneaux photovoltaïques ou guider les choix d'aménagement en milieu dense.

5. Conclusion générale

L'analyse de l'ensoleillement menée sur le projet du Village Méditerranéen et de la Nouvelle Cité Universitaire de Belgaïd a permis de mettre en évidence les disparités spatiales de l'exposition solaire au sein de ces deux nouveaux pôles urbains. En combinant la modélisation 3D et les outils d'analyse SIG, il a été possible de quantifier les heures d'ensoleillement journalières, de cartographier les zones les plus et les moins exposées, et de proposer une lecture saisonnière de la distribution de la lumière naturelle.

L'approche méthodologique adoptée, reposant sur l'extrusion des bâtiments 2D en 3D, puis sur la simulation des ombres projetées heure par heure, a permis de générer des résultats précis et adaptés au contexte local. Cette démarche a non seulement permis de comprendre les impacts de la morphologie urbaine sur l'ensoleillement mais aussi d'offrir des pistes d'amélioration en termes d'aménagement et de qualité de vie.

Les cartes produites révèlent que certaines zones, notamment au sein de la Nouvelle Cité Universitaire, souffrent d'un ensoleillement faible pendant les mois d'hiver, ce qui pourrait avoir des répercussions sur le confort thermique, la santé des occupants et la consommation énergétique des bâtiments.

Dans cette perspective, les recommandations formulées dans ce travail pourront servir de base aux urbanistes et aux aménageurs locaux pour intégrer plus systématiquement l'analyse solaire dans les futures opérations de développement urbain à Belgaïd.

Enfin, cette étude souligne l'importance et l'utilité des outils SIG dans l'aide à la décision pour un urbanisme plus durable, soucieux des questions d'environnement, de bien-être et de performance énergétique.

Glossaire des termes techniques

Azimut solaire
L'azimut solaire correspond à l'angle entre la direction du nord géographique et la projection horizontale de la position du soleil. Il permet de connaître la direction du soleil à un moment donné (exprimé en degrés).

Altitude solaire
L'altitude solaire désigne l'angle entre l'horizon et la position du soleil dans le ciel. Plus l'altitude est élevée, plus le soleil est haut dans le ciel.

SIG (Système d'Information Géographique)
Un SIG est un outil informatique permettant de stocker, analyser et visualiser des données géographiques sous forme de cartes. Il est utilisé dans l'étude de l'ensoleillement pour la manipulation des données spatiales.

Modélisation 3D
Technique permettant de représenter des objets en trois dimensions dans un environnement informatique. Dans le contexte de cette étude, elle permet de reproduire la forme et la hauteur des bâtiments.

Multipatch
Format de données dans ArcGIS permettant de stocker des objets 3D complexes comme des bâtiments. Les multipatchs sont souvent utilisés pour les analyses d'ombrage.

Raster
Données spatiales sous forme de grille, où chaque cellule (pixel) possède une valeur représentant un attribut donné (exemple : ombre, élévation, ensoleillement…).

Raster Calculator
Outil d'ArcGIS permettant d'effectuer des opérations mathématiques entre plusieurs couches raster, comme le cumul des ombres sur plusieurs heures.

Sun Shadow Volume
Outil d'ArcGIS permettant de calculer le volume d'ombre projeté par un objet 3D (bâtiment) en fonction de la position du soleil à une heure et une date données.

Extrusion
Procédé de transformation d'un objet 2D en 3D en lui attribuant une hauteur. Cette méthode a été utilisée pour générer les bâtiments en 3D dans cette étude.

Reclassification
Technique de traitement raster consistant à regrouper des plages de valeurs en classes thématiques (exemple : faible, moyen, fort ensoleillement).

Zone UTM 30N
Zone de projection cartographique utilisée pour la localisation géographique de la zone d'étude (Belgaïd, Oran). Elle permet de travailler en coordonnées métriques

Temps Universel Coordonné (UTC)
Système de référence horaire international. La région d'Oran (Algérie) est généralement située dans le fuseau UTC+1.

Sky View Factor (SVF)
Indicateur utilisé en climatologie urbaine mesurant la part du ciel visible depuis un point donné au sol. Plus le SVF est faible, plus le site est fermé et ombragé.

Solar Radiation Tools
Ensemble d'outils dans ArcGIS qui permettent d'estimer la quantité de rayonnement solaire reçu sur une surface, en fonction des conditions géométriques et temporelles.

Modèle Numérique de Terrain (MNT)
Représentation numérique de la surface du sol sans les objets tels que les bâtiments ou la végétation. (Non utilisé dans cette étude, car Base Height = 0 a été utilisé).

Table des figures

Figure 1CARTE DE LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE 29
Figure 2CARTE D'OCCUPATION DU SOL 31
Figure 3 Numérisation 2D des bâtiments 36
Figure 4 Passage au modèle 3D sous ArcScene 37
Figure 5 Génération des ombres avec Sun Shadow Volume 38
Figure 6 Conversion des ombres en rasters horaires 38
Figure 7 Création des cartes des ombres et de l'ensoleillement 40
Figure 8CARTE 21 JUIN 1 44
Figure 9 CARTE 21 JUIN 2 45
Figure 10 CARTE 21 DECEMBRE 1 46
Figure 11 CARTE 21 DECEMBRE 2 47
Figure 12 CARTE 21 MARS 1 48
Figure 13 CARTE 21 MARS 2 49
Figure 14 CARTE 21 SEPTEMBRE 1 50
Figure 15 CARTE 21 SEPTEMBRE 2 51

Bibliographie

Adolphe, L. ((2001).). *Les stratégies d'éclairage naturel dans les bâtiments urbains.*

Bories, A. ((2015).). *L'éclairage urbain et ses effets sur la santé et le confort des habitants.*

Boubekri, M. ((2008)). *Daylighting in Architecture: A Comprehensive Guide to the Theory and Practice of Natural Lighting.*

Boubekri, M. ((2008).). *Daylighting in Architecture: A Comprehensive Guide to the Theory and Practice of Natural Lighting.*

Bourdic, L. e. ((2013).). *Sustainable Urban Design: From Planning to Architecture.*

Climate-data.org. ((2023).). Climat Oran (Algérie). Disponible sur : www.climate-data.org (Consulté en mai 2025).

Climate-data.org. ((2023).). Climat Oran (Algérie). Consulté en mai 2025.

Dubois, M.-C. ((2001)). *Impact of solar shading devices on daylight quality in offices. Lund University.*

Esri. ((2010).). 3D Analyst Extension for ArcGIS: User Guide. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Günter, S. ((2005).). *La morphologie urbaine et ses impacts sur la qualité de vie et l'environnement urbain.*

Institut, P. ((2011).). *Les principes de l'architecture bioclimatique.*

i-SCOPE. ((2014).). Interoperable Smart City Services through Open Platform for Urban Ecosystems. Projet européen, 2012-2014.

Ishida, T. e. ((2016).). *Sustainable Urban Design for the Mitigation of Heat Island and Energy Consumption: The Role of Daylight and Natural Ventilation.*

Jakubiec, J. A. ((2013).). *A method for predicting city-wide electric lighting consumption and savings potentials from daylighting. Energy and Buildings, Vol. 66, pp. 95-103.*

Jakubiec, J. A. ((2013).). A method for predicting city-wide electric lighting consumption and savings potentials from daylighting. Energy and Buildings, Vol. 66, pp. 95-103.

Khaled, A. B. ((2018).). Étude sur l'impact de l'urbanisation sur la qualité de vie et la gestion de la lumière naturelle dans les villes côtières d'Algérie. Journal Algérien d'Aménagement Urbain et Environnementa.

Khaled, A. e. ((2018).). *Étude sur l'impact de l'urbanisation sur la qualité de vie et la gestion de la lumière naturelle dans les villes côtières d'Algérie.*

Lechner, N. ((2015).). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects.*

Lyle, J. T. ((1994).). *Regenerative Design for Sustainable Development.*

Moudon, A. V. ((1997).). *Urban Morphology and Design: The Shaping of Cities.*

Müller, M. O. ((2015).). *Energy autarky: A conceptual framework for sustainable regional development. Sustainability (MDPI), Vol. 7(7), pp. 8781-8801.*

Ratti, C. R. ((2003).). *Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. Energy and Buildings, 35(1), 49–59.*

Rémy, J. e. ((2019).). *Urban Climate and Sustainable Design: A Framework for Low-Carbon Cities.*

Shadowmap. ((2021).). Real-time 3D solar analysis platform for urban areas. Consulté en mai 2025.(2021). Real-time 3D solar analysis platform for urban areas. Consulté en mai 2025.

Tribune, O. (2022).). Belgaïd, un pôle d'attractivité en développement. Édition du 18 juillet 2022.

Watan, E. ((2021).). Le Village Méditerranéen d'Oran : Nouveaux usages après les jeux. Édition du 22 décembre 2021.