

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOULOD MAMMERY TIZI-OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie Mécanique

Option : Energétique.

Thème :

**Développement d'un outil de calcul en chauffage et
climatisation.**

Réalisé par

- HAMOUDI Diana
- SI HADJ MOHAND Ouardia

Encadré par

- Mr : M. HAMZAOUI
- Mr: L. A. BENDAOU

Promotion : 2024-2025

Remerciements

Nous commençons par exprimer notre gratitude envers Allah, Le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la sagesse nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Nous tenons à témoigner notre profonde reconnaissance à Monsieur M. HAMZAOUI, notre encadrant, pour son accompagnement précieux tout au long de ce mémoire. Ses remarques pertinentes, ses conseils éclairés et ses critiques constructives ont été d'une aide inestimable pour l'avancement de nos recherches.

Nos remerciements vont également à Monsieur A. Ben DAOUD et M. LIAMINI, nos co-encadrants, pour leur disponibilité constante, leur soutien bienveillant et leurs orientations judicieuses durant tout ce projet.

Nous exprimons notre vive gratitude à Monsieur Mehdi BOUFEKKANE, architecte, pour son engagement sans faille, sa collaboration précieuse, ainsi que pour sa vision innovante, ses conseils avisés et son approche pragmatique qui ont enrichi ce travail.

Nous remercions particulièrement Monsieur L. DARADJI, Directeur du Centre National d'Études et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB), pour son expertise et son soutien précieux apportés à nos recherches.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à Monsieur HADIOUCHE et Monsieur BOUDAUD, membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail, ainsi que pour l'attention portée à notre mémoire,

Nous souhaitons également remercier l'ensemble des enseignants du département de Génie Mécanique pour le savoir qu'ils nous ont généreusement transmis.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Nous dédions ce mémoire :

À nos chers parents, pour leur amour indéfectible, leur patience infinie et leur présence silencieuse mais essentielle à chaque étape de notre vie.

À nos frères et sœurs, pour leur complicité, leur soutien discret et leurs mots d'encouragement toujours bienvenus.

À nos camarades et amis, avec qui nous avons partagé les joies, les difficultés, les nuits blanches, les réussites et les remises en question. Merci pour ces instants d'échange et d'encouragement, et pour cette aventure humaine que nous n'oublierons jamais. Merci pour votre esprit d'équipe, votre générosité et les souvenirs durables que nous avons tissés ensemble.

Et à nous-mêmes, pour avoir affronté chaque défi côte à côte. Merci pour la rigueur, la constance et ce travail d'équipe mené dans un esprit de respect, de complicité et de confiance.

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'étude thermique des bâtiments résidentiels en Algérie, avec pour objectif principal le calcul des charges thermiques de chauffage et de climatisation, en tenant compte des caractéristiques constructives de l'enveloppe du bâtiment ainsi que des conditions climatiques locales. L'étude se base sur une approche méthodique intégrant les déperditions thermiques par conduction, les gains solaires à travers les parois vitrées, ainsi que les apports internes dus aux occupants, à l'éclairage et aux équipements électriques. Les données météorologiques horaires de l'année 2023, issues de plusieurs wilayas représentatives (Alger, Adrar, El Beyadh), ont été utilisées pour modéliser les variations saisonnières et leur impact sur les charges thermiques. L'analyse comparative entre différents types de vitrage (simple et double vitrage) a mis en évidence l'importance du choix des matériaux et de l'isolation thermique dans la réduction de la consommation énergétique. Cette étude vise à fournir aux ingénieurs et architectes un outil d'aide au dimensionnement des systèmes CCV adapté au contexte climatique algérien.

Sommaire

1. Présentation des systèmes CCV	4
2. Les éléments nécessaires	4
3. Normes et réglementations	5
4. Bases de données Nécessaires	7
Données Météorologique.....	7
5. L'architecture et l'enveloppe en Algérie	7
6. Les ponts thermiques	9
7. Les zones climatiques	10
7.1. Classification des Zones Climatiques en Algérie selon le DTR	11
7.2. Classification des Zones Climatiques en Algérie selon L'ASHRAE	14
8. Conclusion.....	16
1. Introduction	18
2. Les besoins de l'occupant.....	18
2.1. Le confort thermique	19
a. Les paramètres liés à l'individu.....	19
b. Les paramètres liés à l'environnement.....	20
4. Analyse thermique de l'enveloppe architecturale.....	24
4.1. Analyse thermique des parois opaques	24
4.2. Analyse thermique des parois transparentes	25
5.1. Transfert par conduction	27
5.2. Modélisation des ponts thermiques.....	29
6. Rayonnement solaire.....	31
6.1. Rayonnement de la Voûte Céleste	31
Paramètres de l'air.....	32
6.2. Rayonnement solaire reçu au niveau du sol	32
7. Les apports thermiques internes.....	37
7.1. Les occupants.....	37
7.2. L'éclairage	38
7.3. Les machines électriques	38
8. Conclusion.....	39
1. Introduction	40

2. Présentation et interprétation des données météorologiques	41
2.1. Analyse des données météorologiques de la wilaya d'Alger.....	41
3. Graphiques de la moyenne mensuelles et l'écart type mensuel.....	47
4. Analyse comparative des données météorologiques	51
5. Discussion des résultats des gains internes.....	54
5.1. Gains internes due aux occupants	54
5.2. Gains internes due aux éclairages	55
5.3. Gains internes due aux machines et aux équipements électriques.....	55
5.4. Gains solaires internes à travers les parois transparentes.....	56
6. La charge thermique totale de chauffage et climatisation	60
6.1. Comparaison des charges de chauffage et de climatisation entre les wilayas	60
7. Analyses paramétriques	62
7.1. Type du vitrage	62
7.2. Les résistances	63
8. Conclusion.....	64
Conclusion générale	66
Références bibliographie	68
Annexe	

Liste des figures

Figure I.1: Perte de chaleur à travers un pont thermique.	10
Figure I.2: Les zones climatiques en Algérie	15
Figure II.1: la température du confort	23
Figure II.2 : Diagramme de l'air humide	23
Figure II.3 : Le comportement thermique d'une paroi opaque.	25
Figure II.4: Le comportement thermique de parties transparentes d'enveloppes (vitrage des fenêtres).	26
Figure II.5: La charge thermique totale d'un bâtiment se compose des charges externes et internes.	27
Figure II.6: Composantes du rayonnement solaires	33
Figure II.7: Répartition du flux rayonnement solaire incident (en %) pour une paroi semi transparente.	34
Figure II.8: Différents type d'assemblage de couches de verre en fonction du coefficient de transmission thermique, U_w (en $W.K - 1m - 2$).	35
Figure III.1: Evolution de la température pour la wilaya d'Alger	41
Figure III.2: Variation de la vitesse du vent de la wilaya d'Alger.	42
Figure III.3: L'évolution de l'humidité relative pour la wilaya d'Alger.	43
Figure III.4: Variations du rayonnement diffus à Alger.	44
Figure III.5: Variations du rayonnement direct à Alger.	45
Figure III.6: Variations du rayonnement global à Alger.	46
Figure III.7: La moyenne mensuel du rayonnement diffus (W/m^2) pour Alger.	47
Figure III.8: Ecart type du rayonnement diffus pour Alger.	48
Figure III.9: La moyenne mensuel du rayonnement direct (W/m^2) pour Alger.	49
Figure III.10: Ecart type du rayonnement direct pour Alger.	50
Figure III.11: La moyenne mensuel du rayonnement global (W/m^2) pour Alger.	50
Figure III.12: Ecart type du rayonnement global pour Alger.	51
Figure III.13: Variation de la température de la wilaya d'Adrar	52
Figure III.14: Variation de température de la wilaya d'El Beyedh	52
Figure III.15: Variation de la vitesse du vent de la wilaya d'El Beyedh	53
Figure III.16: Variation de la vitesse du vent de la wilaya d'Adrar	53
Figure III.17: Variation de la charge en fonction du type de vitrage.	62
Figure III.18: L'impact de la résistance thermique sur les charges totales du bâtiment.	63

Liste des tableaux

Tableau I.1: Zones climatiques hivernales en Algérie selon le DTR	13
Tableau I.2: Zones climatiques les estivales selon le DTR	14
Tableau II.1: Les valeurs du métabolisme pour diverses activités.	19
Tableau II.2: Valeurs en clo pour quelques habillements[EN ISO 7730	20
Tableau II.3: Compositions typiques des murs.	23
Tableau II.4: Facteurs de forme en conduction	30
Tableau II.5: Valeurs les gains de chaleur internes selon l'ASHRAE Handbook – HVAC Fundamentals (2017)	37
Tableau II.6: Puissances électriques des équipements (ASHREA Fondamental).	38
Tableau III.1: Gains internes due aux occupants	54
Tableau III.2: Gains internes généré par l'éclairage.	55
Tableau III.3: Gains internes due aux machines.	56
Tableau III.4: Gains internes due aux vitrages.	56
Tableau III.5: Bilans thermiques.	57
Tableau III.6: Tableau récapitulatif des calculs	59
Tableau III.7: Charges thermique pour différentes wilayas.	61
Tableau III.8: Augmentation relative.	61

Liste des abréviations

abréviations	sens
ASHRAE	-American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
DTR	-Document Technique Réglementaire
CCV	-Les systèmes de Chauffage, Climatisation et Ventilation.
INERBA	-l'Institut National d'Etudes et de Recherches du Bâtiment (INERBA)
CNERIB	-Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment
CNB	-Code national du bâtiment
EAT	-Ecart annuel de température
SHGC	- Solar Heat Gain Coefficient
OMN	-L'Organisation météorologique mondiale
ONM	-Office nationale de météorologie
Clo	-Unité spécifique utilisée pour mesurer la résistance thermique des vêtements.
Ta	-Température ambiante de l'air Ta
Tp	-Température des parois
ΔT_{1-2}	-Représente la différence de température
K	-Conductivité thermique
Φ	-Flux de chaleur
R_{tot}	-Résistance thermique totale
U	-Coefficient de transmission thermique
F	-Facteur du forme
σ	-Constante de Stephan Boltzmann
ε	-L'émissivité de la paroi
T_c	-Température du ciel
ε_c^0	-L'émissivité du ciel
n_{eb}	-Nébulosité du ciel
H_r	-Humidité relative
P_v	-Pression de la vapeur d'eau
P_{sat}	-Pression de saturation
T_{ros}	-Température de rosée
$Q_{convective}$	-Pertes de chaleur par convection
$Q_{solaire}$	-Pertes de chaleur à travers le vitrage
SHGC	-Coefficients des apports solaires à travers le vitrage.
$I_{solaire}$	-Rayonnement solaire incident
Q_{occ}	-Apports due aux occupants
$Q_{éclairage}$	-Apports due aux éclairages
$Q_{équipement}$	-Apports due aux équipements
LPD	-Densité de la puissance lumineuse
Fu	-Facteur d'utilisation
Fs	-Facteur de simultanéité

Introduction générale

Introduction générale

Avec le réchauffement climatique et l'explosion démographique, les besoins énergétiques ne cessent d'augmenter, particulièrement en matière du confort thermique. Ce qui pousse les professionnels en bâtiment à concevoir des systèmes plus adaptés et plus performants. Les systèmes de Chauffage, Climatisation et Ventilation (CCV) jouent un rôle essentiel dans le maintien du confort des occupants, tout en influençant directement la consommation énergétique des bâtiments. En Algérie, cette problématique est d'autant plus cruciale que le pays présente une grande diversité climatique, allant du climat méditerranéen humide sur la côte au climat désertique aride dans le sud. Cette variabilité exige une adaptation locale des installations CCV pour répondre aux besoins réels des habitants et éviter les surconsommations inutiles.

Le présent mémoire s'inscrit dans cette démarche et vise à développer un outil pratique de calcul des systèmes CCV, basé sur une modélisation mathématique rigoureuse et des données météorologiques. L'objectif est de garantir un fonctionnement efficace et continu des systèmes de climatisation, notamment dans les régions où les températures sont très élevées pendant une grande partie de l'année. Cet outil permettra aux ingénieurs et architectes de mieux dimensionner les équipements CCV en fonction des spécificités locales, en tenant compte des normes internationales (ASHRAE) et locales (DTR algérien).

Pour atteindre cet objectif, notre étude s'articule autour de trois chapitres principaux :

Le premier chapitre présente les fondements théoriques des systèmes CCV, les normes et réglementations en vigueur, ainsi que les caractéristiques climatiques et architecturales de l'Algérie. Il aborde également les concepts clés tels que les zones climatiques, l'enveloppe architecturale et les ponts thermiques, qui sont essentiels pour comprendre les défis énergétiques du pays.

Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation des charges thermiques liées au chauffage et à la climatisation. Il inclut une analyse détaillée des apports solaires, des déperditions par les parois, des ponts thermiques et des gains internes dus aux occupants et aux appareils électriques. Les équations et méthodes de calcul sont présentées de manière rigoureuse pour assurer la précision des résultats.

Introduction générale

Le troisième chapitre analyse et interprète les résultats obtenus à partir des données météorologiques horaires de l'année 2023 pour plusieurs wilayas représentatives. Les charges thermiques sont illustrées sous forme de graphiques et de tableaux, et une analyse paramétrique met en évidence l'impact de facteurs tels que le type de vitrage ou la résistance thermique des matériaux. Les conclusions tirées de ces résultats permettent de proposer des recommandations pour un calcul optimal des systèmes CCV.

Ce mémoire est structuré de manière à guider le lecteur à travers une progression logique, depuis les bases théoriques jusqu'aux applications pratiques. Après cette introduction, le Chapitre I pose le cadre général de l'étude, le Chapitre II détaille les outils mathématiques développés, et le Chapitre III présente les résultats et leur interprétation. Enfin, une conclusion générale synthétise les apports de ce travail et ouvre des perspectives pour de futures recherches.

En somme, ce travail contribue à une meilleure compréhension des enjeux énergétiques liés aux systèmes CCV en Algérie et propose une méthodologie pour leur calcul, en accord avec les spécificités climatiques et architecturales locales.

Chapitre I : Généralités sur la thermique du bâtiment

1. Présentation des systèmes CVC :

Les systèmes de Chauffage, Ventilation et Climatisation (CVC) jouent un rôle central dans le confort des bâtiments, qu'ils soient résidentiels, commerciaux ou industriels. Selon les normes ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), leur objectif principal est de maintenir une température agréable, une humidité équilibrée et une qualité de l'air optimale à l'intérieur des espaces [1, 2].

Ces systèmes combinent quatre fonctions clés : le chauffage pour l'hiver, la ventilation pour renouveler l'air, la climatisation pour rafraîchir en été, et le traitement de l'air. La conception de ces systèmes repose sur le calcul des charges thermiques, une étape essentielle qui évalue les besoins en chauffage ou en refroidissement d'un bâtiment. Ce calcul, conforme aux standards ASHRAE et le DTR algérien (Document Technique Réglementaire), prend en compte des facteurs variés tels que le climat local (température, ensoleillement, vent, humidité), les caractéristiques du bâtiment (orientation, matériaux, isolation, surfaces vitrées) et les habitudes d'occupation (nombre de personnes, activités, équipements) [2].

En Algérie, où les zones climatiques vont du méditerranéen au nord au désertique au sud, les systèmes CVC doivent s'adapter aux particularités régionales. L'architecture des bâtiments, notamment l'enveloppe (matériaux, isolation, ouvertures), joue un rôle clé dans la gestion des charges thermiques. Par exemple, les constructions traditionnelles, avec leurs murs épais et leurs petites ouvertures, montrent une adaptation efficace aux conditions climatiques extrêmes, réduisant les apports de chaleur en été et conservant la chaleur en hiver [3].

2. Eléments nécessaires

Le développement d'un outil de calcul des systèmes CCV dans les bâtiments, visant à analyser le confort thermique, s'appuie sur une approche multidisciplinaire faisant intervenir plusieurs domaines essentiels. La thermodynamique et les transferts de chaleur (conduction, convection, rayonnement) fournissent les fondements théoriques pour comprendre les échanges thermiques à travers les matériaux et l'air, tandis que la psychrométrie, à travers le diagramme d'air humide, facilite la visualisation des propriétés thermodynamiques de l'air et la conception de systèmes de climatisation efficaces. L'ingénierie des systèmes CCV et le calcul des charges thermiques sont cruciaux pour dimensionner et optimiser ces installations, en répondant aux exigences en matière de chauffage, de climatisation et de ventilation. L'architecture et la conception bioclimatique jouent un rôle clé en s'appuyant sur les outils tels que le diagramme bioclimatique pour

adapter les stratégies de conception aux conditions locales, tout en réduisant les ponts thermiques dans les structures typiques. La science des matériaux contribue à l'analyse des propriétés thermiques des matériaux de construction et à l'optimisation de l'isolation. Par ailleurs, l'énergétique du bâtiment et la simulation énergétique permettent d'évaluer les performances thermiques et énergétiques des constructions, tandis que la qualité de l'air intérieur oriente la conception des systèmes de ventilation et de traitement de l'air pour garantir un confort optimal. La création de l'outil exige également des compétences en informatique et en modélisation numérique pour élaborer des modèles précis et des interfaces utilisateur intuitives. Enfin, la réglementation, les normes de construction et les certifications énergétiques encadrent la conformité et la durabilité des projets. Cette approche interdisciplinaire, qui intègre des considérations environnementales et l'utilisation d'énergies renouvelables, forme la base nécessaire pour concevoir des systèmes CCV performants, durables et adaptés aux défis actuels en matière de confort thermique et d'efficacité énergétique dans les bâtiments.

3. Normes et réglementations

Les normes et codes constituent des ensembles de règles, de lignes directrices et de spécifications techniques, établis par des organismes spécialisés, visant à assurer la sécurité, la qualité, la performance et la durabilité des produits, services et processus. Leur utilisation est cruciale pour respecter les exigences réglementaires, protéger la santé et la sécurité publiques, et uniformiser les pratiques de conception, de mise en œuvre et de contrôle. En s'appuyant sur ces références, les ingénieurs peuvent élaborer des solutions robustes, adaptées aux contraintes techniques et réglementaires, tout en améliorant l'efficacité énergétique et en rationalisant l'utilisation des ressources. Dans le cadre de cette étude, des standards reconnus seront appliqués, notamment les normes ASHRAE pour les systèmes CVC, le DTR algérien pour les spécificités locales.

L'application conjointe des normes et des codes permet de garantir que les bâtiments sont construits selon des critères de performance élevés, contribuant ainsi à un environnement bâti plus durable et confortable pour les occupants.

➤ **Standards ASHRAE** : L'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) est une organisation internationale dédiée aux technologies du bâtiment, fondée en 1894, elle compte plus de 54 000 membres à travers le monde. L'ASHRAE publie des normes et des directives reconnues internationalement pour les systèmes CCV, souvent intégrées dans les codes du bâtiment et utilisées par les ingénieurs-conseils, les entrepreneurs en mécanique, les architectes et les organismes gouvernementaux. Elle organise également deux réunions chaque année pour promouvoir l'innovation et l'efficacité énergétique dans l'industrie. [4]

Parmi les documents clés, on peut citer :

- **ASHRAE Standard 55** : Confort thermique. [5]
- **ASHRAE Standard 62.1** : Qualité de l'air intérieur acceptable. [6]
- **ASHRAE Standard 90.1** : Efficacité énergétique dans les bâtiments. [7]

➤ **DTR (Document Technique Réglementaire - Algérie)** : est un ensemble de documents officiels élaborés par les autorités algériennes, notamment le Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville, dans le cadre de la réglementation thermique et énergétique des bâtiments. La création du DTR remonte à plusieurs décrets, notamment le décret n° 82-319 du 23 octobre 1982, qui a transformé l'Institut National d'Etudes et de Recherches du Bâtiment (INERBA) en Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB). Ces documents servent de référence technique pour les professionnels du secteur de la construction, en définissant des normes, des méthodes de calcul et des exigences minimales à respecter pour garantir la performance énergétique, le confort thermique et la qualité de l'air intérieur des bâtiments. Les DTR sont adaptés aux spécificités climatiques et architecturales de l'Algérie, tout en s'inspirant des standards internationaux. [2]

Voici les principaux DTR relatifs à la réglementation thermique et énergétique en Algérie :

- **DTR C3.2** : Règlement thermique des bâtiments d'habitation. Ce document définit les règles de calcul des pertes calorifiques et inclut des annexes sur la classification thermique des communes d'Algérie, les caractéristiques thermo physiques des matériaux, et des exemples de calcul. [8]
- **DTR C3.2/4** : Réglementation thermique de bâtiment. Ce document permet de définir les principes généraux réglementaires de la conception thermique (chauffage et climatisation) des

bâtiments, et de mettre à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluation des besoins énergétiques pour les périodes d'hiver et d'été. [9]

- **DTR C3.31** : Ventilation naturelle de locaux à usage d'habitation. Ce document définit les principes généraux qui réglementent la conception des installations de ventilation naturelle dans les bâtiments résidentiels. Ventilation naturelle de locaux à usage d'habitation. [10]

4. Bases de données Nécessaires

Données Météorologique

Une base de données météorologique est un système organisé qui collecte, stocke, gère et distribue des informations sur les conditions atmosphériques. Ces informations peuvent inclure des mesures du rayonnement solaire de température, d'humidité, de pression atmosphérique, de vitesse et de direction du vent, de couverture nuageuse et d'autres paramètres essentiels. Ces données doivent être disponibles, moyennées ou cumulées, à différentes échelles de temps, telles que l'heure, le jour, la décennie, le mois, la saison ou l'année. [11]

Pour mener une étude fiable sur les systèmes CCV, il est généralement nécessaire de disposer de données sur une période d'au moins 5 ans pour plusieurs raisons :

- Analyse des tendances à long terme : Les données sur plusieurs années permettent d'identifier des tendances et des variations saisonnières qui ne seraient pas apparentes sur une période plus courte.
- Modélisation climatique : Les modèles climatiques nécessitent des données sur plusieurs années pour être précis et fiables.
- Validation des systèmes : Tester et valider les systèmes CCV nécessite des données historiques pour s'assurer que les solutions proposées fonctionnent dans diverses conditions météorologiques.

5. L'architecture et l'enveloppe en Algérie

L'Algérie, riche en histoire et en culture, possède une diversité architecturale exceptionnelle. Influencée par les styles berbères, arabe, andalou et l'architecture coloniale française, elle présente des constructions traditionnelles en terre crue, des bâtiments coloniaux

en pierre et en béton, ainsi que des édifices modernes en béton armé conçus par des architectes renommés. Parmi les monuments emblématiques figurent la Grande Mosquée d'Alger, la Casbah d'Alger, la basilique Notre-Dame d'Afrique, le musée national des beaux-arts d'Alger et les ksour traditionnels tels que celui de Beni Isguen à Ghardaïa, qui témoignent de l'héritage berbère ancestral. [12]

En Algérie, l'enveloppe des bâtiments joue un rôle essentiel dans la performance énergétique et le confort thermique des habitations. L'enveloppe comprend les murs, les toits, les fenêtres et les portes, agissant comme une barrière entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Une enveloppe bien conçue réduit la consommation d'énergie en limitant les pertes de chaleur en hiver et en empêchant la surchauffe en été. [13]

Dans les bâtiments isolés en Algérie, des matériaux comme la laine de roche, la laine de verre et le liège sont utilisés pour améliorer l'efficacité énergétique. Cependant, ces matériaux peuvent être coûteux. Par conséquent, l'usage de l'âme d'air (vide d'air) est plus courant. L'âme d'air est une technique d'isolation consistant en une cavité d'air entre deux parois, permettant de limiter les transferts thermiques. Bien qu'elle ne soit pas aussi performante que les isolants mentionnés précédemment, elle offre un compromis économique pour améliorer le confort thermique des bâtiments.

En revanche, de nombreux bâtiments en Algérie ne sont pas isolés, ce qui entraîne une consommation d'énergie élevée pour le chauffage et la climatisation. Les constructions non isolées sont souvent inconfortables du point de vue thermique et représentent une source importante de consommation d'énergie. Cependant, des initiatives de réhabilitation thermique sont en cours pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants et réduire leur impact environnemental [14].

L'isolation joue un rôle crucial pour maximiser le confort et réduire la consommation d'énergie. Plusieurs isolants sont utilisés, notamment la fibre de bois, la laine de verre et la laine de roche. La fibre de bois, fabriquée à partir de copeaux ou de résidus de bois, gagne en popularité grâce à ses performances isolantes exceptionnelles et ses avantages écologiques. Elle retient efficacement la chaleur, résiste aux moisissures et à la condensation, et offre une isolation thermique et acoustique de qualité (conductivité thermique très faible, avec un coefficient compris entre 0,036 et 0,050 W/m). En outre, ce matériau naturel assure une sécurité accrue puisqu'il ne dégage pas de fumées

toxiques en cas d'incendie. Cependant, la fibre de bois présente aussi quelques inconvénients comme la sensibilité à l'humidité, nécessitant l'utilisation d'un pare-vapeur, une inflammabilité, demandant un traitement pour améliorer sa résistance au feu, et des émissions de poussières lors de la manipulation, nécessitant des précautions adéquates durant l'installation. [15]

6. Les ponts thermiques

Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique, autrement uniforme, est sensiblement modifiée par une absence ou une réduction locale de l'isolation thermique. Les ponts thermiques entraînent des déperditions de chaleur supplémentaires par rapport aux pertes à travers les parois du bâtiment. Dans un bâtiment non isolé, les ponts thermiques représentent de faibles pertes (généralement inférieures à 15 %), car les déperditions totales par les parois sont très élevées. En revanche, lorsque les parois sont fortement isolées, le pourcentage de pertes dues aux ponts thermiques devient important, atteignant plus de 30 %. Toutefois, les déperditions globales restent faibles.

Les principaux ponts thermiques d'un bâtiment se situent aux jonctions des façades et planchers, façades et refends, façades et toitures, façades et planchers bas. Aux niveaux des percements (portes, fenêtres, loggias...), il s'agit de ponts thermiques structuraux. Ces ponts thermiques varient en importance selon la constitution des parois, qu'elles soient isolées ou non. [16]

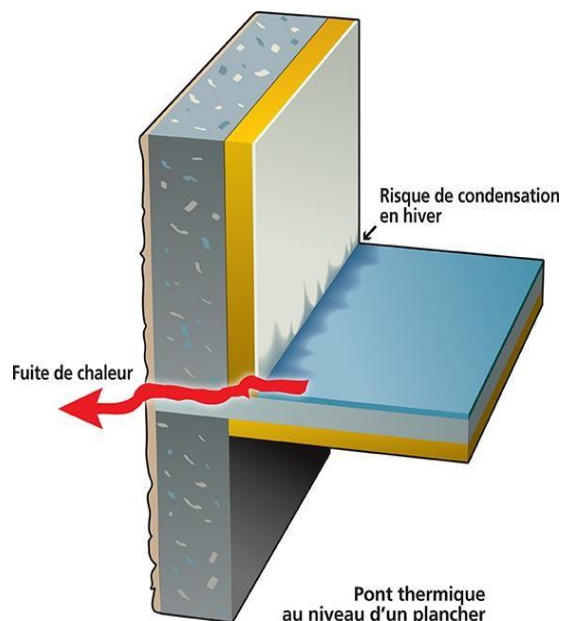


Figure I.1.: un pont thermique.[16]

Il existe principalement deux types de ponts thermiques :

- **Ponts thermiques linéaires (2D)** : Ils sont caractérisés par un coefficient linéique (ψ) exprimé en $W/m^2.K$. Par exemple, la liaison entre un plancher et un mur extérieur. La déperdition en W/K à travers un pont thermique linéaire se calcule en multipliant le coefficient linéique par la longueur du pont thermique en mètres.
- **Ponts thermiques ponctuels (3D)** : Ils sont caractérisés par un coefficient ponctuel (χ) exprimé en W/K . Par exemple, la liaison entre un plancher et deux murs perpendiculaires de façade.[17]

7. Les zones climatiques

Une zone climatique est une région géographique définie en fonction de ses caractéristiques climatiques spécifiques, telles que la température, l'humidité, les précipitations, l'ensoleillement et les vents. Ces zones permettent de classer les différents types de climats à travers le monde, offrant ainsi une base pour l'analyse et la planification dans divers domaines, notamment l'architecture, l'ingénierie, l'agriculture et l'énergie. [18]

L'utilisation des zones climatiques est essentielle pour adapter les conceptions et les technologies aux conditions environnementales locales. Par exemple, dans le secteur de la construction, elles permettent de déterminer les exigences en matière d'isolation thermique,

de chauffage, de refroidissement et de ventilation, afin d'améliorer le confort des occupants et de réduire la consommation d'énergie. De même, en agriculture, elles aident à choisir les cultures adaptées et à planifier les cycles de production.

L'importance des zones climatiques réside dans leur capacité à fournir un cadre de référence pour la prise de décision éclairée, en tenant compte des spécificités environnementales. Elles jouent un rôle clé dans la conception de bâtiments durables, la gestion des ressources énergétiques et la lutte contre les impacts du changement climatique. En outre, elles servent de base pour l'élaboration de normes et de réglementations, comme celles définies par l'ASHRAE ou le DTR algérien, qui intègrent des critères adaptés aux différents climats.

7.1. Classification des Zones Climatiques en Algérie selon le DTR

La classification des zones climatiques en Algérie, telle que définie par le DTR 3.2/4, distingue deux saisons principales : l'hiver et l'été. Cette distinction est essentielle car le climat algérien présente des variations saisonnières marquées, influencées par des facteurs géographiques tels que la latitude, l'altitude, la proximité de la mer Méditerranée et l'étendue du désert saharien. Ainsi, en hiver, le pays est divisé en 5 zones climatiques, tandis qu'en été, il est classé en 9 zones. Cette différence s'explique par la complexité des conditions climatiques estivales, qui varient davantage en fonction de l'ensoleillement, de l'humidité et des températures maximales.

- **En hiver** : les 5 zones climatiques sont principalement définies en fonction des températures minimales et des besoins en chauffage.
 1. Régions côtières : Climat méditerranéen doux et humide, avec des températures modérées en hiver.
 2. Hauts plateaux : Hivers plus rigoureux, avec des températures basses et des gelées fréquentes.
 3. Zones montagneuses : Conditions hivernales froides, souvent accompagnées de neige.
 4. Régions steppiques : Hivers frais et secs, avec des amplitudes thermiques importantes entre le jour et la nuit.
 5. Zones désertiques : Nuits très froides, malgré des journées relativement tempérées.

Cette répartition permet d'adapter les systèmes de chauffage aux besoins spécifiques de chaque région, en tenant compte des déperditions thermiques et des conditions locales.

• **En été** : la classification est plus détaillée, avec 9 zones (six zones climatiques générales et trois sous-zones) en raison de la grande variabilité des conditions climatiques. Les critères principaux incluent les températures maximales, l'ensoleillement, l'humidité et les besoins en climatisation. Les zones estivales sont les suivantes :

1. Régions côtières : Étés chauds et humides, avec des températures modérées par la proximité de la mer.
 2. Zones intérieures : Températures élevées et faible humidité, typiques des régions continentales.
 3. Régions désertiques : Chaleur extrême et ensoleillement intense, avec des températures dépassant souvent 40°C.
 4. Zones montagneuses : Étés tempérés, avec des nuits fraîches grâce à l'altitude.
 5. Régions steppiques : Étés chauds et secs, avec des amplitudes thermiques importantes.
 6. Zones intermédiaires : Conditions variables, influencées par l'altitude et la proximité de la mer.
- [8]

Cette classification plus fine en été est justifiée par la nécessité de prendre en compte des paramètres supplémentaires, tels que l'ensoleillement et l'humidité, qui ont un impact direct sur les besoins en climatisation et le confort thermique des occupants.

Tableau I.1: Zones climatiques hivernales en Algérie selon le DTR[2]

Zones	Altitude (m)	$t_{be}(^{\circ}\text{C})$	Zones	Altitude (m)	$t_{be}(^{\circ}\text{C})$
Zone A	<300	3	Zone C	<300	1
	300 à 450	2		300 à 450	0
	450 à 600	1		450 à 600	-1
	600 à 800	0		600 à 800	-2
	≥ 800	-1.5		≥ 800	-4.5
Zone A1	<300	7	Zone D	<300	4
	300 à 450	6		300 à 450	3
	450 à 600	5		450 à 600	2
	600 à 800	4		600 à 800	1
	≥ 800	2.5		≥ 800	-0.5
Zone B	<300	-2			
	450 à 600	-3			
	600 à 800	-4			
	≥ 800	-5.5			

Le tableau I.1 présente la répartition des zones climatiques hivernales en Algérie selon l'altitude et la température extérieure de base, comme défini par le DTR du confort algérien. Il distingue cinq zones (A, A1, B, C, D), chacune ayant des températures de base spécifiques qui varient avec l'altitude. La température de base extérieure est la température minimale de l'air extérieur prise en compte pour le calcul des besoins en chauffage d'un bâtiment. Elle est déterminée statistiquement en fonction des données climatiques locales et correspond à une température qui est atteinte ou dépassée pendant un pourcentage spécifique du temps en hiver. Par exemple, une température de base extérieure définie pour 99 % du temps signifie que, statistiquement, la température extérieure ne descend pas en dessous de cette valeur pendant 99 % de la saison hivernale. Ces températures servent de référence pour le dimensionnement et la conception des bâtiments afin d'assurer un confort thermique optimal.

Tableau I.2: Zones climatiques les estivales selon le DTR [2]

Zone climatique		Température sèche $TS_{b,e}(\text{°C})$	Humidité spécifique $HS_{b,e}(g_{vap}/Kg_{as})$	Ecart diurne $E_b(\text{°C})$	Température moyenne $TS_m(\text{°C})$	Ecart annuel de température EAT(°C)
A	alt<500 m	34	14.5	9	25.5	31
	500≤alt< 1000 m	33.5	13	10	25	32.5
	alt ≥1000 m	30.5	13	9	22.5	31.5
B	alt<500 m	38	12.5	15	26.5	36
	500≤alt< 1000 m	37	11	15	26.5	36
	alt ≥1000 m	35	10	14	25	36
B1	alt<500 m	42	11	18	29	41.5
B2	alt≥500 m	39	8.5	18	25	
C	alt<500 m	39.5	6	18	29	41
	alt≥500 m	36	11	15	29	36
D	alt<1000m	40	8.5	20	27	41.5
	alt≥1000 m	34	8.5	18	25	40
E		44	6.5	15.5	33	38
E1	alt<500 m	37	6	18	29	41
	alt≥500 m	34	11	15	29	36
F		46	5.5	16.5	36.5	43

Le tableau I.2 montre la classification des zones climatiques estivales en Algérie selon le DTR. Il distingue six zones climatiques générales (A, B, C, D, E, F) et trois sous-zones (B1, B2, E1). Chaque zone est définie par une altitude spécifique et est caractérisée par des paramètres climatiques tels que la température sèche ($T_{sh,e}$ en °C), l'humidité spécifique ($H_{sh,e}$ en (g_{vap}/kg_{as})), L'écart diurne (E_h en °C), la température moyenne (T_{sm} en °C) et l'écart annuel de température (EAT en °C). Par exemple, pour la zone A à une altitude inférieure à 500 m, la température sèche est de 34°C , l'humidité spécifique est de $14,5g_{vap}/kg_{as}$, l'écart diurne est de 9°C , la température moyenne est de $25,5\text{°C}$ et l'écart annuel de température est de 31°C .

7.2. Classification des Zones Climatiques en Algérie selon L'ASHRAE

L'ASHRAE 169 a établi une classification des zones climatiques pour aider à la conception des systèmes CCV dans différents pays. Parmi ces classifications, on trouve Montréal au Canada, qui est situé dans la zone climatique 6A, caractérisée par des hivers froids et des étés chauds et humides.

En Algérie, la classification de l'ASHRAE comprend plusieurs zones climatiques, notamment 0B, 1B, 2B, 3B, 4B, 2A et 3A, reflétant la diversité des conditions climatiques allant du méditerranéen au nord au désertique au sud. Cette classification permet de dimensionner correctement les systèmes CCV pour chaque région, assurant ainsi un confort thermique optimal. [14]

Voici la signification des zones mentionnées :[19]

- **Zone 6A** : Climat froid avec des hivers rigoureux et des étés chauds et humides. Montréal, au Canada, se trouve dans cette zone.
- **Zone 0B** : Climat extrêmement chaud et sec.
- **Zone 1B** : Climat très chaud et sec.
- **Zone 2B** : Climat chaud et sec.
- **Zone 3B** : Climat chaud et sec.
- **Zone 4B** : Climat tempéré et sec.
- **Zone 2A** : Climat chaud et humide.
- **Zone 3A** : Climat chaud et humide.

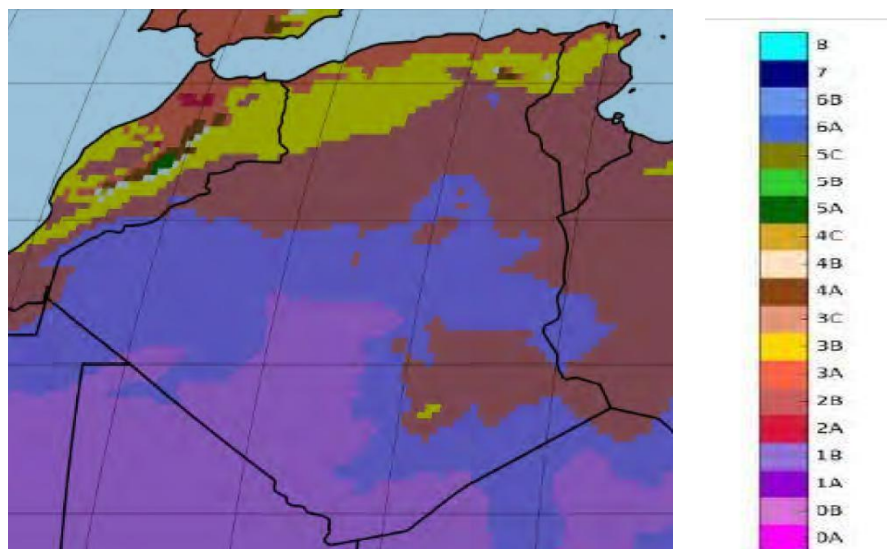


Figure I.2.: Les zones climatiques en Algérie [19].

8. Conclusion

Ce premier chapitre a permis de présenter les bases essentielles pour la compréhension des systèmes CCV. Nous avons vu leur importance dans le maintien du confort thermique et de la performance énergétique des bâtiments, en insistant sur la nécessité de calculer les charges thermiques pour une conception optimale. Les normes internationales (ASHRAE) et locales (DTR algérien) ont été introduites comme des références clés pour garantir des systèmes efficaces et conformes.

L'analyse des zones climatiques en Algérie a montré l'importance de prendre en compte les spécificités locales pour adapter les systèmes CCV. Les données météorologiques et les classifications climatiques sont des éléments indispensables pour évaluer les besoins énergétiques.

Après avoir exploré les zones climatiques, les principes architecturaux et les bases théoriques dans le premier chapitre, nous allons maintenant aborder le développement des modèles mathématiques pour concevoir des systèmes CCV performants. Ce chapitre se concentrera sur les calculs et la modélisation des charges thermiques, en commençant par la ventilation, puis en passant au chauffage et à la climatisation.

Chapitre II : Développement des modèles mathématiques

1. Introduction

La conception des systèmes de CCV repose sur le développement d'un outil de calcul des charges thermiques. Cet outil permet d'évaluer avec précision les besoins énergétiques d'un bâtiment, en intégrant des paramètres tels que les conditions climatiques, les caractéristiques structurelles et les habitudes d'occupation. Il aide ainsi les ingénieurs et les architectes à concevoir des systèmes adaptés aux exigences spécifiques de chaque projet. [20]

La modélisation mathématique joue un rôle central dans cette démarche, offrant une base solide pour une conception à la fois précise et efficace. En s'appuyant sur des équations et des calculs, les professionnels peuvent prédire les performances des systèmes avant leur mise en œuvre. Cette approche permet de minimiser les erreurs de conception et de garantir l'efficacité énergétique des bâtiments, faisant de la modélisation un outil indispensable pour les experts en génie climatique. [21]

Un outil de design CCV est crucial pour les ingénieurs et les architectes, car il facilite la prise de décisions éclairées lors de la conception des systèmes. Il permet d'explorer rapidement différentes configurations et de sélectionner la solution la plus adaptée aux besoins du projet, tout en assurant le respect des normes de performance énergétique et des réglementations en vigueur. [22]

2. Les besoins de l'occupant

Les occupants d'un bâtiment ont des besoins multiples et variés pour assurer leur confort et leur bien-être. Ces besoins incluent un confort thermique adéquat, garantissant une température intérieure agréable toute l'année. La qualité de l'air intérieur est également essentielle, nécessitant une bonne ventilation pour éliminer les polluants et maintenir une humidité relative optimale. Un éclairage approprié, tant naturel qu'artificiel, est crucial pour le confort visuel et la productivité. La protection acoustique joue un rôle important en réduisant le bruit extérieur et intérieur pour créer un environnement calme et paisible. Enfin, la consommation énergétique doit être optimisée pour minimiser l'impact environnemental et les coûts, tout en assurant le maintien de ces conditions de confort. Une approche intégrée et intelligente de la conception du bâtiment permet de répondre efficacement à ces besoins tout en respectant les contraintes énergétiques et environnementales.[23]

2.1. Le confort thermique :

Le confort thermique est une notion complexe, il peut être défini de la façon suivante : un individu est en situation de confort thermique lorsqu'il ne ressent de sensation ni chaude ni froide. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par les échanges thermiques entre le corps et son environnement. [24]

La sensation de confort thermique dépend de plusieurs paramètres :

a. Les paramètres liés à l'individu : L'individu est au centre des préoccupations dans un bâtiment, et ses caractéristiques personnelles sont déterminantes pour son confort thermique. Parmi ces paramètres, le niveau d'activité physique et l'habillement sont des éléments majeurs qui impactent directement la sensation de confort.

- **Le métabolisme :** Selon Fabbri (2015), le métabolisme (m) est la production de chaleur permettant de maintenir la température du corps à environ $36,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il varie en fonction de l'état de santé, de l'âge, du sexe et du type de régime alimentaire. [24]

Tableau II.1: Les valeurs du métabolisme pour diverses activités.[16]

Activité	W/m ²	met
Repos, couché	45	0.8
Repos, assis	58	1.0
Activité légère, assis (bureau, école)	70	1.2
Activité légère, debout (laboratoire, industrie légère)	95	1.6
Activité moyenne, debout (travail sur machine)	115	2.0
Activité soutenue (travail lourd sur machine)	175	3.0

- **L'habillement :** c'est la conduction thermique par le vêtement (K), exprime le transfert de chaleur par conduction à travers les vêtements, entre la température de la peau et l'environnement extérieur. Le niveau d'habillement des occupants est défini par une valeur relative, exprimée en « clo », qui correspond à une unité d'habillement thermique. Le tableau suivant présente différentes valeurs associées aux niveaux d'habillement typiques.[24]

Tableau II.2 : Valeurs en clo pour quelques habillements[EN ISO 7730][23]

Tenue vestimentaire	[clo]	[m ² K/W]
-Nu, debout	0.0	0.0
-Shorts, costume de bain	0.1	0.015
-Tenue tropicale : slip, chemise courte à col ouvert, shorts, chaussettes légères et sandales	0.3	0.045
-Tenue d'été : slip, chemise courte, pantalons longs légers ou jupe chaussettes légères et chaussures	0.5	0.08
-Tenue de travail légère : sous-vêtements légers, chemise courte à col ouvert, pantalons de travail, chaussettes et chaussures	0.7	0.11
-Tenue d'intérieur d'hiver : sous-vêtements, chemise à manches longues, pull-over, pantalons ou robe, chaussettes épaisses et chaussures	1.0	0.15
-Tenue de ville d'hiver : idem mais sous-vêtements à manches et jambes longues, et veste.	1.5	0.23
-Tenue d'hiver fourrée	3.0	0.45

b. Les paramètres liés à l'environnement : Les paramètres physiques de l'environnement intérieur influent directement la sensation de confort thermique, car ce sont les éléments essentiels que l'individu ressent pour exprimer son confort.

- **La température ambiante de l'air (Ta) :** La température ambiante de l'air se réfère à la température de l'air actuelle, elle correspond à la température mesurée à l'intérieur ou dans le milieu ambiant.

- **L'humidité relative :** est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température Ta et la quantité maximale d'eau contenue à la même température. L'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration, le corps est la plupart du temps en situation d'inconfort.[24]

- **La température radiante des parois :** la température des parois (T_p) représente la répartition des températures sur une paroi, elle est un phénomène complexe. La température des parois (T_p) est égale à la moyenne des températures des parois environnantes pondérées par leur surface, elle influence les échanges thermiques par rayonnement c'est pour cette raison qu'on peut appeler la température des parois une température radiante.

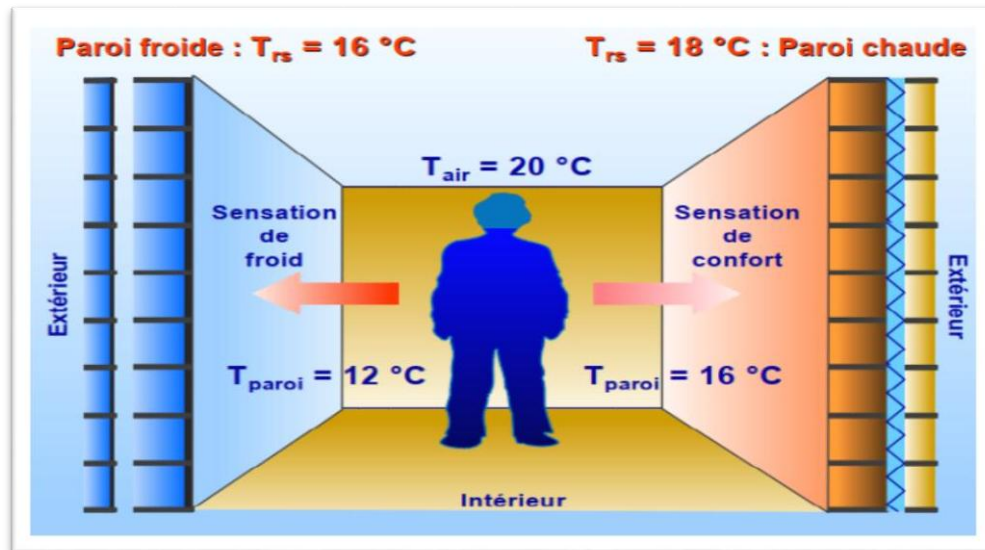


Figure II.1: La température de confort [23]

- **La vitesse relative de l'air :** La vitesse d'air a un rôle important dans les échanges thermique à l'intérieur des bâtiments, principalement elle influe les échanges par convection et augmente l'évaporation de la surface de la peau.[23]

2.2. La plage de confort

Pour assurer un confort hygrothermique optimal à une température ambiante d'environ 22 °C , il est recommandé de maintenir l'humidité relative entre 40 % et 65 %.

Cette plage de confort peut être visualisée plus précisément à l'aide du diagramme psychrométrique, qui permet de définir les conditions idéales de température et d'humidité pour le bien-être thermique des occupants. [16]

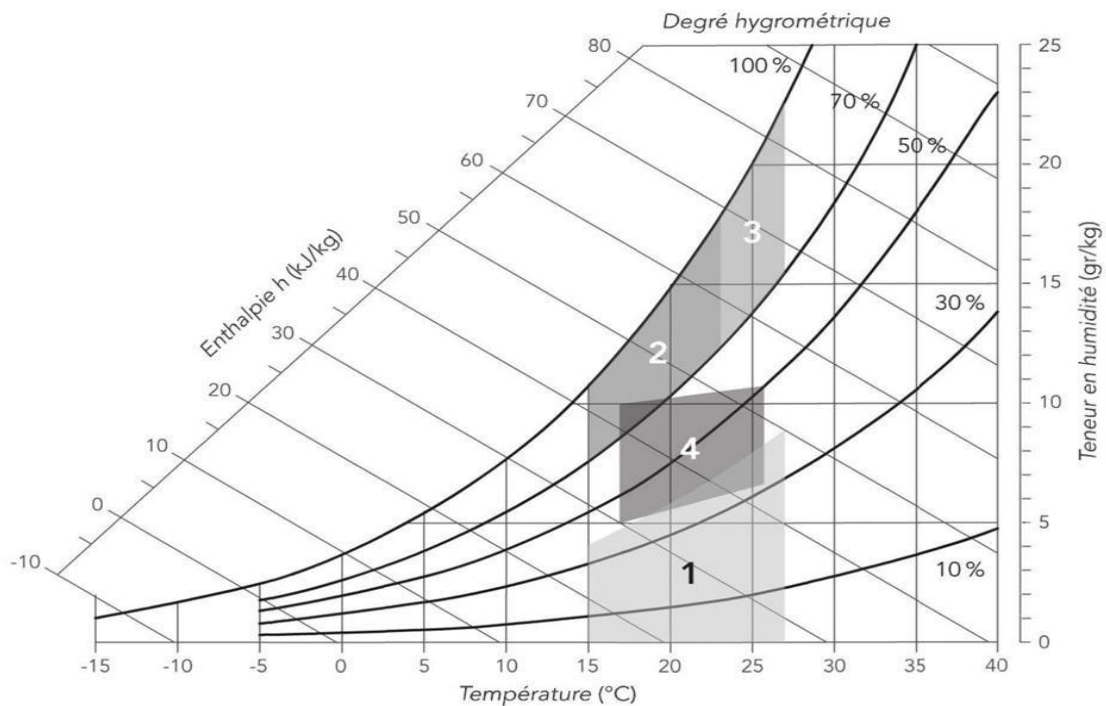


Figure II.2: Diagramme de l'air humide [16]

Zone 1 : à éviter en raison des problèmes de sécheresse.

Zone 2 et 3 : à éviter en raison du développement de bactéries et de microchampignons.

Zone 3 : à éviter à cause du développement d'acariens.

Zone 4 : correspond au polygone de confort hygrothermique, où les conditions de température et d'humidité sont considérées comme optimales pour la santé et le bien-être.

3. Description du projet architectural

Ce bâtiment résidentiel, situé à Rouïba en Algérie, allie modernité et fonctionnalité grâce à une organisation spatiale optimisée et une conception architecturale bien pensée. Il s'étend sur une largeur de 18 mètres et une longueur de 25 mètres, soit une emprise au sol totale de 450 m². Développé sur plusieurs niveaux, il comprend deux sous-sols où sont regroupés les services techniques et les équipements communs tels qu'un parking, un local technique, une piscine, une salle de sport et une cafétéria. Le rez-de-chaussée est quant à lui réservé aux commerces, favorisant une interaction dynamique entre la vie résidentielle et les activités urbaines du quartier. Les trois étages supérieurs abritent des appartements de type F2 et F3, soigneusement conçus pour offrir un cadre de vie confortable et agréable.

Sur le plan architectural, le bâtiment est structuré autour de deux cages d'escalier latérales qui assurent une circulation fluide entre les niveaux. Il bénéficie également d'ouvertures sur ses deux façades principales (avant et arrière), ce qui permet un éclairage naturel généreux et une ventilation transversale efficace, contribuant au confort thermique des logements. La toiture, aménagée pour accueillir les installations techniques, reste modulable afin de permettre d'éventuelles extensions. Par son équilibre entre esthétique contemporaine et utilité pratique, ce bâtiment offre un cadre de vie pratique et agréable, grâce à une organisation bien pensée et une architecture adaptée aux besoins des habitants. Il combine confort, fonctionnalité et ouverture sur l'environnement urbain, faisant de lui un lieu de vie moderne et bien intégré à son contexte, Voici un tableau qui synthétise les données fournies sur les compositions typiques :

Tableau II.3: Compositions typiques des murs.

Type d'élément	Description
Mur de fondation	<ul style="list-style-type: none"> • Remblais • Enduit bitumeux étanchéité fondation • Mur de béton armé coulé sur place. EP. 200mm • Cloison en brique. EP. 100mm (en option selon choix du maitre de l'œuvre) • Enduit + peinture de finition
Mur extérieur revêtement enduit monocouche	<ul style="list-style-type: none"> • Enduit monocouche - couleur à définir. EP. 10mm • Sous-couche d'accrochage façade. EP. 10mm • Cloison en brique. EP. 150mm • Polystyrène expansé. EP. 50mm (en option selon choix du maitre de l'œuvre) • Cloison en brique. EP. 100mm • Enduit ciment. EP. 10mm • Enduit + peinture de finition
	<ul style="list-style-type: none"> • Galet de rivière • Revêtement bicouche bitume modifier

Toiture	<ul style="list-style-type: none"> • Panneau polystyrène Extrudé XPS3 EP. 50mm • Forme de pente en mortier ciment EP. Min. 50mm - 2% pente • Film polyane • Dalle de béton armé. EP. 250mm • Suspente faux plafond. 200mm avec barre oméga • Plaque de plâtre. Ep. 13m
----------------	--

4. Analyse thermique de l'enveloppe architecturale :

L'enveloppe du bâtiment joue un rôle central dans la gestion du bilan thermique, influençant les flux et échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Sa performance thermique repose essentiellement sur les propriétés des parois opaques et transparentes, qui déterminent la transmission et la dissipation énergétique à travers la structure.[23]

4.1. Analyse thermique des parois opaques :

Les parois opaques de l'enveloppe du bâtiment jouent un rôle fondamental dans la gestion thermique. En contact direct avec le rayonnement solaire, elles séparent deux espaces présentant des températures différentes, ce qui entraîne des pertes et des gains de chaleur.

Le transfert thermique au sein de ces parois repose sur plusieurs mécanismes, incluant l'absorption et le stockage de la chaleur, qui varient selon les propriétés des matériaux utilisés. L'efficacité thermique dépend essentiellement de la quantité de rayonnement reçue, directement influencée par l'orientation du bâtiment.

Pour assurer un confort optimal, l'enveloppe extérieure doit limiter les déperditions de chaleur en hiver, tout en protégeant contre la surchauffe estivale. Cette capacité d'atténuation repose sur les phénomènes de conduction, convection et rayonnement, qui déterminent la transmission thermique à travers les parois.[23]

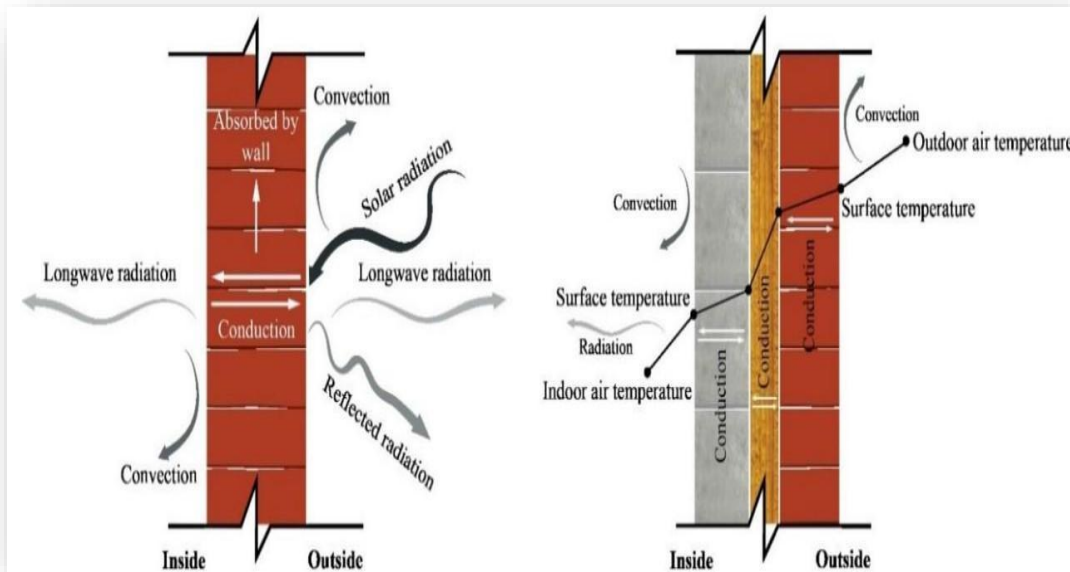


Figure II.3 : Le comportement thermique d'une paroi opaque. [23]

4.2. Analyse thermique des parois transparentes :

Les parois transparentes de l'enveloppe du bâtiment jouent un rôle clé dans les échanges thermiques, notamment en ce qui concerne les gains de chaleur. Leur faible résistance au rayonnement solaire accentue l'apport énergétique à l'intérieur du bâtiment.

- La performance thermique de ces surfaces dépend de plusieurs facteurs :
- La taille et l'orientation des ouvertures, qui influencent la quantité de chaleur transmise.
- Le type et l'épaisseur du vitrage, qui modulent l'isolation thermique et la transmission lumineuse.
- L'étanchéité à l'air des fenêtres, qui impacte les pertes énergétiques et le confort intérieur.[23]

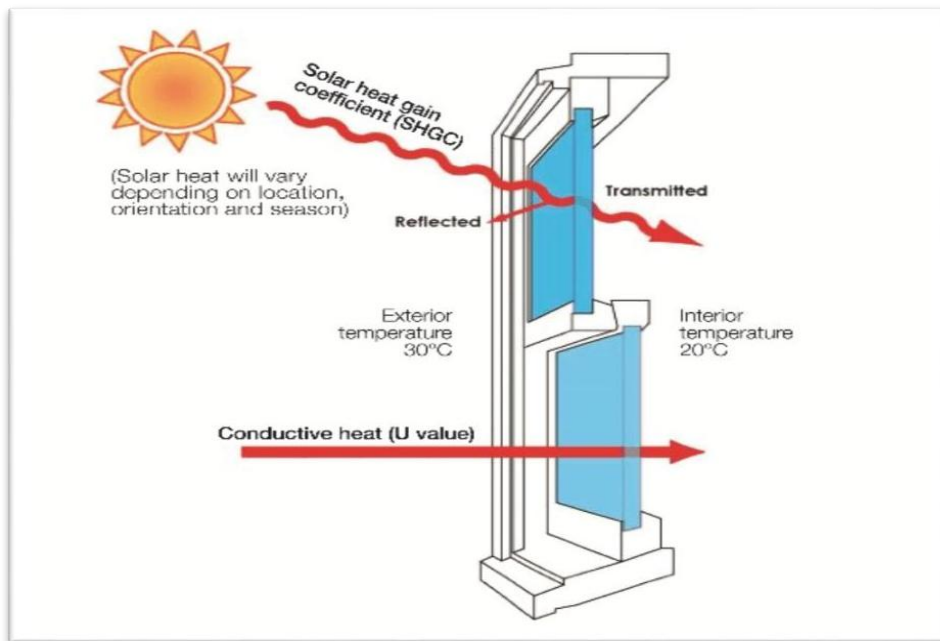


Figure II.4 : Le comportement thermique de parties transparentes d'enveloppes (vitrage des fenêtres). [23]

5. Modélisation des charges thermiques dans le bâtiment :

Le dimensionnement des systèmes des CCV repose sur plusieurs étapes essentielles, parmi lesquelles figure le calcul des charges de chauffage et de refroidissement. Ce calcul nécessite une analyse approfondie des caractéristiques du bâtiment, telles que son architecture, son usage et son occupation, ainsi que des conditions définies par le client ou imposées par les normes, comme le confort thermique ou le renouvellement de l'air. Les données météorologiques jouent également un rôle clé. Ce processus de design est itératif, les données initiales évoluant au fil de la conception pour garantir le confort thermique des occupants en tout temps. [25]

La charge thermique d'un bâtiment correspond à la quantité de chaleur à extraire ou à introduire pour maintenir une température cible, tandis que la charge de refroidissement indique la chaleur à évacuer. Ces calculs, connus sous le nom de bilan thermique, sont cruciaux pour estimer les puissances nécessaires et dimensionner adéquatement les équipements de chauffage et de climatisation. Ils prennent en compte trois types principaux d'échanges thermiques : les apports externes, les apports internes et l'air neuf, qui influencent directement les besoins énergétiques du bâtiment. [25]

L'échange thermique a toujours lieu en raison de la différence de température entre un local et l'extérieur ou un local mitoyen.

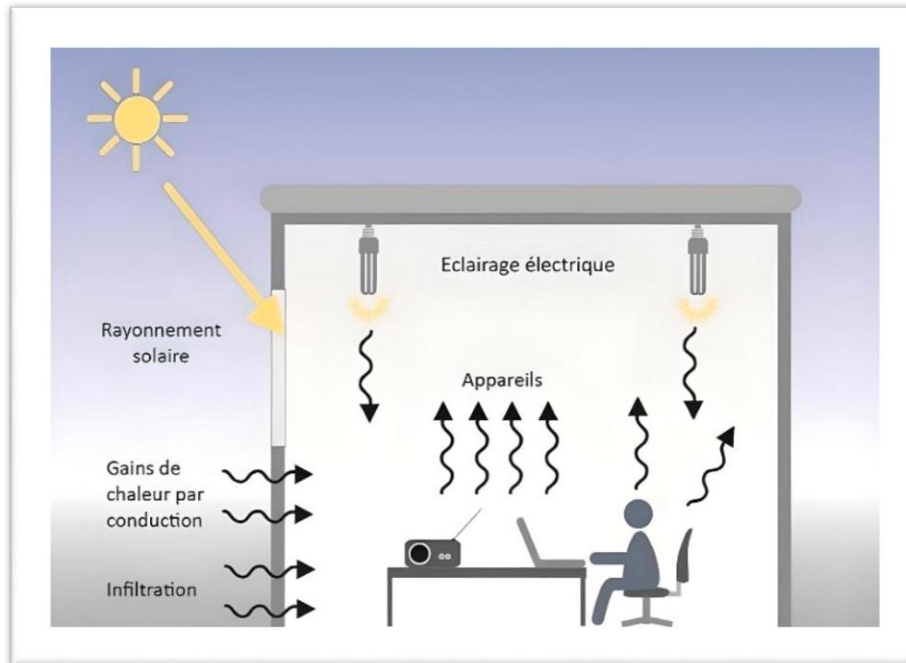


Figure II.5: La charge thermique totale d'un bâtiment se compose des charges externes et internes. [16]

5.1. Transfert par conduction :

La conduction thermique est un mode de transfert d'énergie où l'énergie cinétique moyenne des particules se répartit progressivement des zones à haute température vers les zones à basse température, par diffusion. Ce phénomène atteint un état d'équilibre lorsque les conditions aux limites du système restent constantes : cette stabilisation caractérise le régime permanent, où les températures et les flux thermiques deviennent indépendants du temps. [26]

Dans cette étude, nous adoptons le régime quasi-permanent, qui offre un compromis optimal entre précision et simplicité de modélisation. Cette approche nous permet de prendre en compte les variations temporelles lentes des températures tout en évitant la complexité analytique et numérique du régime transitoire complet. En effet, le régime transitoire nécessiterait la résolution d'équations différentielles dépendant du temps et une discrétisation fine des paramètres thermiques, ce qui alourdirait considérablement les calculs sans apporter de gain significatif en précision pour notre application. Par ailleurs, bien que les parois des bâtiments soient composées de plusieurs couches de matériaux hétérogènes, nous supposons un contact parfait entre celles-ci, ce qui nous amène à

considérer la résistance thermique d'interface comme négligeable.

Cette approche nous permet d'adopter une représentation plus stable et simplifiée du transfert thermique au sein des parois du bâtiment.

La conduction thermique dans une paroi est traduite par un transfert d'énergie thermique au travers du matériau, dû à un gradient de température, et est généralement modélisée par la loi de Fourier.

$$\Phi = -K A \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

- Φ : flux de chaleur (puissance thermique) en watts (W)
- K : conductivité thermique du matériau en W/m·K
- A : surface d'échange perpendiculaire au flux thermique en m²
- $\frac{dt}{dx}$: gradient de température selon l'épaisseur de la paroi, en K/m.

Le signe négatif indique que la chaleur se propage des hautes vers les basses températures.

-Cas d'une paroi multicouche

Les parois des bâtiments sont généralement composées de plusieurs couches de matériaux différents (ex : béton, isolant, plâtre). Dans ce cas, le flux thermique reste constant à travers chaque couche si l'on suppose un contact parfait entre les couches (résistance thermique d'interface négligée).

Pour une paroi plane multicouche, le flux thermique s'écrit :

$$\Phi = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{tot}} \quad (2)$$

T_{int} : Température intérieure (°C)

T_{ext} : Température extérieure (°C)

R_{tot} : Résistance thermique totale de la paroi (m²·K/W)

➤ Calcul de la résistance thermique d'une couche composée :

$$R_{total} = \frac{1}{h_{int}} + \sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_{ext}} \quad (3)$$

e : épaisseur de la couche (m).

h_{int} : résistance superficielle intérieure.

h_{ext} : résistance superficielle extérieure.

5.2. Modélisation des ponts thermiques :

La résolution analytique de l'équation de la chaleur en deux ou trois dimensions présente souvent des contraintes majeures en raison de sa complexité. Par conséquent, une approche alternative consiste à exploiter des solutions établies de l'équation de diffusion thermique.

Ces solutions permettent de simplifier les calculs en utilisant des paramètres caractéristiques tels que le facteur de forme S , qui relie le flux thermique à la conductivité thermique et à l'écart de température entre les surfaces délimitant le domaine d'étude. [27]

Le facteur de forme S est défini par :

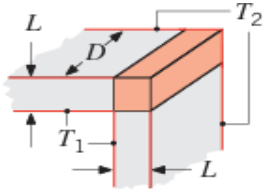
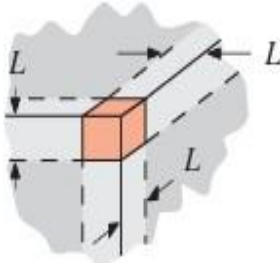
$$\mathbf{q} = S K \Delta T_{1-2} \quad (04)$$

ΔT_{1-2} : représente la différence de température entre deux frontières.

Par conséquent, la résistance thermique en conduction bidimensionnelle peut être formulée comme suit :

$$R_{t,cond(2D)} = \frac{1}{SK} \quad (5)$$

Tableau II.4: Facteurs de forme en conduction [27]

Systeme	Schéma	Restrictions	Facteur de forme
Conduction à travers le bord des murs adjacents.		$D > 5L$	$D \cdot 0.54$
Conduction à travers l'angle formé par trois murs, avec une différence de température ΔT_{1-2} entre les surfaces concernées		$L \ll$ Longueur et largeur du m	$0.15 L$

Dans notre modèle, nous avons calculé les charges de climatisation et de chauffage en nous basant uniquement sur les échanges à travers les parois, Toutefois, les ponts thermiques n'ont pas été explicitement pris en compte dans le modèle initial. Afin d'intégrer leur impact sur le bilan énergétique du bâtiment, nous adoptons une estimation en considérant qu'ils représentent environ 30 % de la charge thermique totale. Cette approximation permet de corriger le modèle tout en restant compatible avec les exigences de précision du projet.

6. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire constitue une source essentielle d'énergie thermique influençant la performance énergétique des bâtiments. Son impact dépend de plusieurs paramètres, notamment l'orientation du bâtiment et le choix des menuiseries. Les apports solaires peuvent être directs, lorsque les rayons traversent les baies vitrées et fenêtres, générant une charge thermique conséquente (une surface de 1,5 m² exposée équivaut à un radiateur).. Les apports solaires indirects, quant à eux, résultent du rayonnement pénétrant à travers les murs extérieurs et les ponts thermiques, modifiant ainsi la température intérieure. Par ailleurs, le bâtiment interagit en permanence avec son environnement immédiat, incluant l'air ambiant, le ciel et les objets avoisinants, qui influencent également son comportement thermique. Dans cette partie, nous analyserons les facteurs liés à ces éléments qui affectent la température intérieure du bâtiment, afin d'optimiser sa conception et améliorer son efficacité énergétique.[16]

Le flux de chaleur échangé par rayonnement entre une surface extérieure et le ciel s'écrit :[33]

$$\Phi_{rad} = \sigma \varepsilon F (T_p^4 - T_c^4) \quad (06)$$

σ : La constante de Stephan Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} \text{ (W.m}^{-2}.K^{-4}\text{)}$.

ε : l'émissivité de la paroi (en fonction des couleurs et de type des matériaux).

F : facteur de forme (on estime $F=1$ pour maximiser les résultats).

T_c : Température du ciel (°C).

T_p : Température de la paroi extérieure (°C).

6.1. Rayonnement de la Voûte Céleste

On considère que la voûte céleste se comporte comme un corps noir à la température du ciel T_c . La température du ciel T_c est estimée à partir de la relation suivante : [28]

$$T_c = \varepsilon_c^{0.25} T_e \quad (07)$$

Où T_e est la température de l'air extérieur en (°C) et ε_c l'émissivité du ciel donnée par :

$$\varepsilon_c = 1 - (1 - \varepsilon_c^0)(1 - 0.56 n_{eb}) \quad (08)$$

ε_c^0 est l'émissivité du ciel pour un temps clair et n_{eb} la nébulosité du ciel en dixième [CV]

-La nébulosité désigne la fraction du ciel couverte par des nuages. Elle s'exprime généralement en huitièmes (octas) de la voûte céleste observée, allant de 0 (ciel complètement dégagé) à 8 (ciel totalement couvert).

-Pour le jour :

$$\varepsilon_c^0 = 0.77 + 0.0038T_{ros} \quad (9)$$

-Pour la nuit :

$$\varepsilon_c^0 = 0.752 + 0.0048T_{ros} \quad (10)$$

• Paramètres de l'air

La température de rosée (en Kelvin) est obtenue à partir de la relation suivante [29]

$$T_{ros} = -241 \frac{\log_{10}(P_v) - 2.7877}{\log_{10}(P_v) - 2.7877 - 7.625} \quad (11)$$

P_v : Est la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'atmosphère en Pascals (Pa) ou en bars (bar).

La vapeur d'eau se présente dans l'air sous forme de vapeur si $P_v < P_{sat}(T)$, on définit alors

L'humidité relative H_r de l'air par la relation :

$$H_r = \frac{p_v}{p_{sat}(T)} 100 \quad (12)$$

H_r: Représente l'humidité relative de l'air en pourcentage (%).

$$P_v = H_r P_{sat}(T) \quad (13)$$

P_{sat}(T) : est la pression de saturation (d'équilibre liquide-vapeur) de la vapeur d'eau à la température T en Pascals (Pa) ou en bars (bar).

$$\log_{10}(P_{sat}) = \frac{7.625 \times T}{241 + T} + 2.7877 \quad (14)$$

6.2. Rayonnement solaire reçu au niveau du sol

L'atmosphère terrestre perturbe considérablement le flux de photons provenant du Soleil par divers processus. Ainsi, après avoir traversé l'atmosphère, le rayonnement solaire peut être décomposé en deux composantes distinctes : [30]

- **Rayonnement direct**

Le rayonnement direct désigne la partie du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications. Il provient exclusivement du disque solaire, sans inclure les portions diffusées, réfléchies ou réfractées par l'atmosphère. [31]

- **Rayonnement diffus**

Le rayonnement diffus représente la fraction du rayonnement solaire qui émane de l'ensemble de la voûte céleste, à l'exclusion du disque solaire. Il est dispersé par les particules solides et liquides présentes dans l'atmosphère et se propage sans direction privilégiée. [30]

- **Rayonnement global**

Le rayonnement global correspond à l'ensemble du rayonnement solaire reçu sur une surface horizontale. Il résulte de la combinaison du rayonnement direct provenant du Soleil et du rayonnement diffus issu de l'ensemble de la voûte céleste. La figure 8 représente les différentes composantes du rayonnement solaire au niveau du sol. [31]

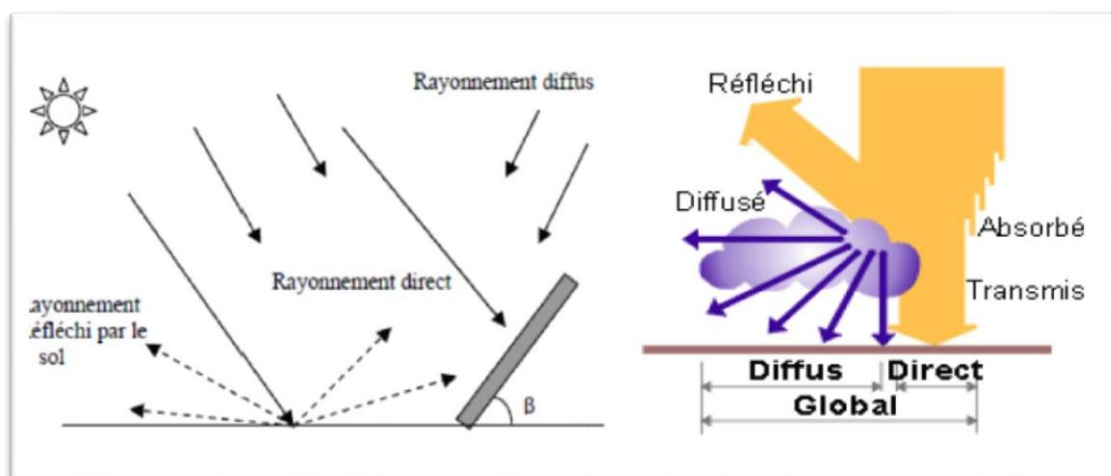


Figure II.6: Composantes du rayonnement solaires [30]

6.3. Rayonnement à travers les parois transparentes

Le rayonnement solaire à travers les parois transparentes influence directement le confort thermique et la consommation énergétique des bâtiments. Il agit sur la transmission de la lumière, la gestion des apports solaires et les variations de température intérieure. [31]

- **Le vitrage :**

Le vitrage, élément semi-transparent d'une fenêtre, est crucial puisqu'il permet à la lumière naturelle d'entrer et offre une vue vers l'extérieur. Lorsque la lumière traverse différents matériaux, une partie est transmise, une autre réfléchi, et une fraction est absorbée selon les propriétés du matériau. Les matériaux comme le verre, qui n'absorbent pas totalement la lumière, sont dits (semi-)transparents ou translucides. Les vitrages translucides diffusent la lumière, rendant les images floues, tandis que les parois opaques ne laissent passer aucune lumière visible.[31]

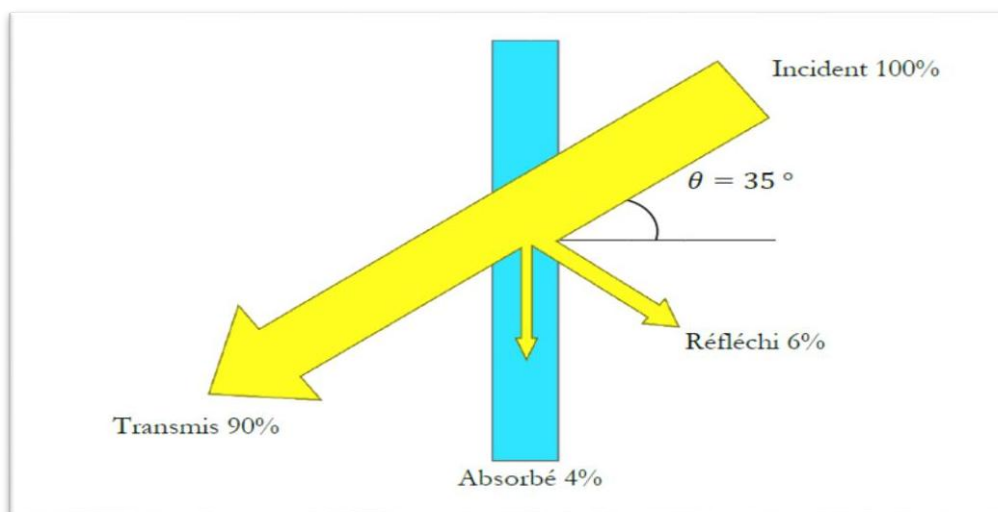
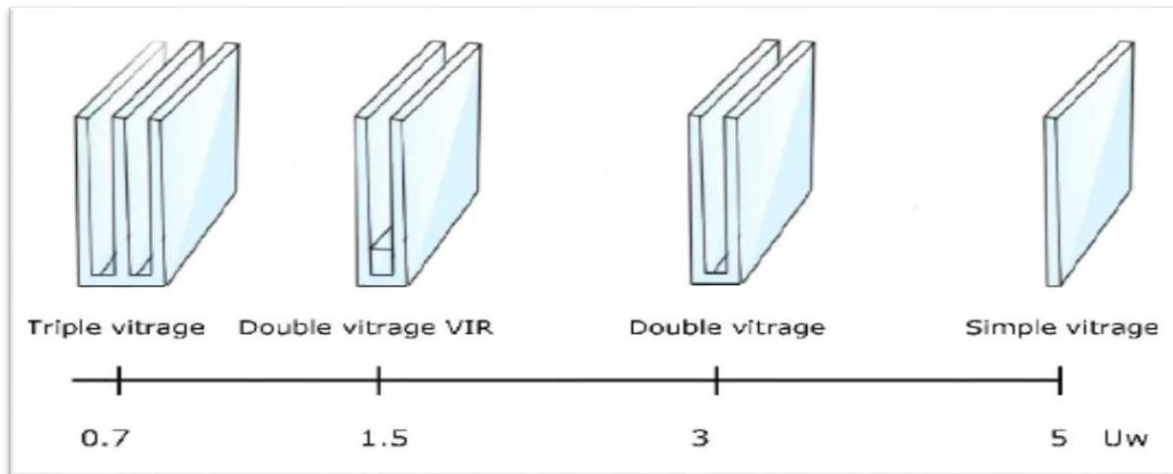


Figure II.7: Répartition du flux rayonnement solaire incident (en %) pour une paroi semi-transparente. [31]

Les fenêtres peuvent être équipées d'un simple vitrage ou de plusieurs couches de verre. Lorsqu'elles en comportent plusieurs, ces dernières sont assemblées de manière hermétique pour former ce qu'on appelle des vitrages isolants. Ces vitrages sont séparés par des intercalaires et l'espace entre eux est rempli de gaz généralement de l'air, mais aussi des gaz plus performants comme l'argon, le krypton ou le xénon, voire des mélanges de ceux-ci.

L'utilisation de gaz lourds (argon, krypton, xénon, etc.) plutôt que de gaz légers (hydrogène, hélium, azote) améliore significativement l'isolation thermique. En effet, les gaz lourds conduisent moins bien la chaleur, ce qui renforce l'efficacité des doubles ou triples vitrages en réduisant les déperditions énergétiques.[31]



FigureII.8: Différents type d'assemblage de couches de verre en fonction du coefficient de transmission thermique, U_w (en $W.K^{-1}m^{-2}$).[31]

Pour un vitrage semi-transparent, lorsqu'un flux de rayonnement solaire incident I_{inc} est considéré, la transmittance τ , la réflectance ρ et l'absorptance α tiennent compte à la fois des réflexions multiples entre les deux faces de la couche vitrée et de l'absorption lors de chaque traversée du matériau. Par exemple, sur la Figure1, le vitrage réfléchit 6 % du flux solaire, en absorbe 4 % et en transmet 90 %. Ainsi, l'absorptance, la transmittance et la réflectance représentent respectivement les fractions du flux incident total qui sont absorbées, transmises ou réfléchies, en intégrant l'ensemble des effets des inter-réflexions et de l'absorption. [31]

$$\alpha = \frac{I_a}{I_{tot}} ; \quad \tau = \frac{I_{tr}}{I_{tot}} ; \quad \rho = \frac{I_r}{I_{tot}} ;$$

Finalement, la conservation de l'énergie nous donne l'équation suivante : [31]

$$\alpha + \tau + \rho = 1$$

-Cas particuliers :

- Corps opaque $\tau = 0$
- Corps transparent $\tau = 1$

En raison de leur double fonction, Les parois transparentes jouent un rôle crucial dans le bilan thermique d'un bâtiment.

- Les apports thermiques externes :

Les apports thermiques externes correspondent aux échanges d'énergie entre le bâtiment et son environnement extérieur. Ils sont principalement dus au rayonnement solaire à travers les parois transparentes et aux déperditions par conduction à travers les murs et la toiture en fonction de variations de la température et de l'humidité extérieures. Ces flux sont quantifiés à l'aide de la relation suivante : [7]

$$Q_{externes} = Q_{convection} + Q_{solaire} \quad (15)$$

-Les pertes de chaleur par convection à travers les vitrages sont évaluées par :

$$Q_{convection} = U * A * (T_{int} - T_{ext}) \quad (16)$$

Où :

Q : Déperditions thermiques en (watts).

A : Surface vitrée en (m^2).

U : Coefficient de transmission thermique du vitrage en ($W/m^2.K$).

-Apports solaire à travers les vitrages :

-Les apports solaires à travers les vitrages ont été calculés en utilisant la relation suivante : [7]

$$Q_{solaire} = A * SHGC * I_{solaire} \quad (17)$$

Q : apports solaire à travers les vitrages en (watts).

SHGC : coefficients des apports solaires à travers le vitrage.

Il représente la fraction du rayonnement solaire incidents qui pénètre à travers un vitrage se forme de chaleur, compris entre (0 et 1) et c'est une mesure adimensionnelle.

I_{solaire}: Rayonnement solaire incident (W/m^2).

Correspond spécifiquement au rayonnement diffus reçu sur les surfaces vitrées, afin de tenir compte de la contribution indirecte du soleil (diffusion par l'atmosphère, les nuages, ou les réflexions environnantes) dans le bilan thermique du bâtiment.

7. Les apports thermiques internes :

La chaleur produite naturellement à l'intérieur du bâtiment provient de plusieurs sources : la chaleur métabolique dégagée par les occupants, ainsi que celle générée par les appareils électriques, l'éclairage, et autres équipements. Bien que leur énergie initiale ne soit pas destinée au chauffage, elle contribue à l'élévation de la température ambiante en se transformant en puissance thermique. Cette chaleur se calcule par la relation suivante : [7]

$$Q_{internes} = Q_{occup} + Q_{éclairage} + Q_{machines}$$

7.1. Les occupants

Chaque personne génère une chaleur moyenne (sensible + latente) environ de 135 W en cas de repos, donc : [7]

$$Q_{occup} = \text{Nombre d'occupants} * 135 \quad (18)$$

À partir des densités d'occupation fournies dans le tableau 6.2.2.1 dans l'ASHREA 62.1, on peut estimer combien de personnes peuvent occuper un espace donné. [6]

$$\text{Nombre d'occupants} = \frac{\text{Surface}}{\text{m}^2/\text{Personne}} \quad (19)$$

La densité d'occupation retenue correspond au nombre moyen de personnes par 100 m² selon la typologie des locaux. Ce choix normatif s'explique par l'absence de données spécifiques sur la capacité maximale d'accueil de chaque espace.

Tableau II.5: Valeurs des gains de chaleur internes selon l'ASHRAE Handbook – HVAC Fundamentals (2017) [32]

Activité	Chaleurs sensibles (W)	Chaleurs latentes (W)	Total
Repos/ assis	75	60	135
Bureau/travail léger	85	90	175
Marche légère	140	180	320
Travail physique intense	240	300	540

7.2. L'éclairage

L'éclairage contribue à la charge thermique selon la formule : [7]

$$Q_{\text{Eclairage}} = \text{Surface de l'éclairage} * \text{LPD} \tag{20}$$

Où :

LPD : Densité de la puissance lumineuse (en W/m^2).

7.3. Les machines électriques :

Les apports due aux éclairages se calcul avec la relation ci-dessus : [7]

$$Q_{\text{equip}} = \sum(\text{Puissances électriques nominale de chaque appareil}) * F_u * F_s \tag{21}$$

Où :

Q_{equip} : apports due au machines électriques (en watts)

F_u : Facteur d'utilisation (0.5 à 1 selon l'usage) qui indique la proportion du temps d'utilisation par rapport à l'occupation ou au fonctionnement.

F_s : Facteur de simultanéité (indiqué si les appareils sont allumé tous en même temps).

Tableau II.6: Puissances électriques des équipements (ASHREA Fundamental). [32]

Equipement	Puissances électriques
-Ordinateur bureau	120–150 W
-Imprimante laser	400–1000 W
-Machine à café	1000–1500 W
-Réfrigérateur (bureau)	100–200 W
-Tapis de course	1000–1500 W
-Vélo elliptique	200–300 W
-Télévision	100–200 W

8. Conclusion

La modélisation des charges appliquées au bâtiment est une étape clé de l'analyse structurale. Elle transforme les sollicitations réelles en données utilisables pour le calcul. Ce chapitre a permis de créer un modèle fiable, intégrant les charges permanentes, variables et climatiques, selon les normes en vigueur.

Cette étape, bien que technique, est indispensable pour garantir la fiabilité des analyses qui vont suivre. À présent, le modèle étant entièrement calibré, nous allons pouvoir analyser les résultats obtenus, les interpréter dans le contexte du comportement global de la structure.

Chapitre III : résultats et discussions

1. Introduction :

Ce chapitre présente l'analyse des résultats obtenus à travers les calculs et simulations numériques réalisés pour l'étude des systèmes CVCA (Chauffage, Ventilation, Climatisation et Aération). Les données météorologiques (température, humidité relative, vitesse du vent, rayonnement global/direct/diffus) collectées entre 2005 et 2023 pour différentes zones climatiques algériennes ont été traitées à l'aide d'Excel pour le calcul des charges thermiques, tandis que MATLAB a été utilisé pour la visualisation des données. Une attention particulière est portée à l'évaluation des flux de chaleur horaires par façade ainsi qu'aux performances énergétiques du bâtiment étudié.

Bien que notre analyse couvre l'évolution des principales données météorologiques entre 2005 et 2023, incluant le rayonnement solaire (global, direct et diffus), la température sèche, la vitesse du vent et l'humidité relative, ce sont les données horaires de l'année 2023 qui ont été retenues comme base principale de notre étude. Ce choix repose sur les changements climatiques marquants observés durant cette période, notamment :

- Des anomalies thermiques record, avec des températures dépassant les 48 °C dans plusieurs régions côtières, et jusqu'à 50 °C à Adrar, classée parmi les villes les plus chaudes au monde en aout.
- Une canicule sans précédent, confirmée par l'Office National de la Météorologie (ONM), avec des relevés extrêmes dans des zones habituellement tempérées comme Alger et Blida.
- Une variabilité météorologique accrue, caractérisée par des épisodes de sécheresse prolongée, des précipitations orageuses intenses, et une humidité relative élevée dans les zones côtières.
- La confirmation par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) que 2023 est l'année la plus chaude jamais enregistrée, avec une température moyenne mondiale dépassant de 1,45 °C les niveaux préindustriels.

Ces éléments font de 2023 une année charnière pour l'analyse climatique en Algérie, illustrant les effets concrets du réchauffement global à l'échelle régionale.

2. Présentation et interprétation des données météorologiques

Dans le cadre de cette étude, nous avons sélectionné six wilayas représentatives de la diversité climatique de l'Algérie, à savoir : Alger, Tizi-Ouzou, El beyedh, Guelma, Adrar, et Sidi Bel Abbas. Ce choix permet de couvrir différents contextes géographiques et climatiques afin de mieux cerner les besoins spécifiques en matière de CCV. Dans cette section, nous présentons les résultats pour une wilaya représentative « Alger, afin d'illustrer la méthode d'analyse appliquée à l'ensemble du territoire étudié. Les autres wilayas feront l'objet d'une présentation similaire dans les sections suivantes.

2.1. Analyse des données météorologiques de la wilaya d'Alger

- La température sèche horaire

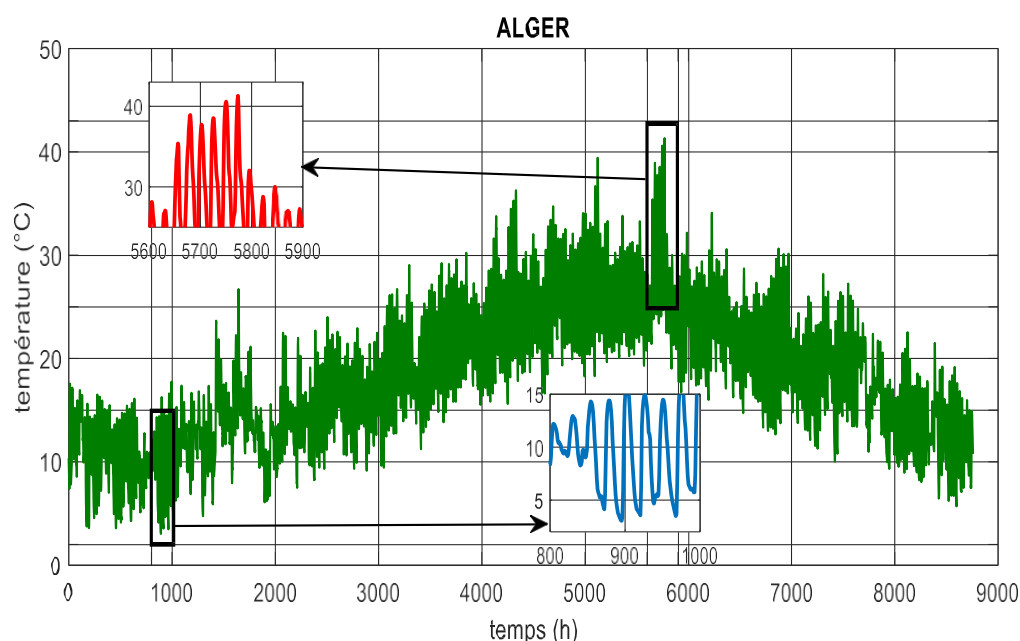


Figure III.1: Evolution de la température pour la wilaya d'Alger.

-Figure III.1 montre l'évolution des températures en (°C) en fonction du temps (h) à Alger pour 2023. Le graphique présente des variations thermiques significatives, avec des extrêmes allant de 3,04°C à 41,35°C. Une augmentation notable des températures apparaît au milieu de la période (saison estivale), où les valeurs varient autour de 41°C (zone encadrée en rouge entre 5600h et 5900h). Néanmoins, les températures minimales, observées vers 1000h (zone encadrée en bleu), reflètent la fraîcheur hivernale caractéristique du mois de février. Les fluctuations régulières visibles illustrent bien les cycles journaliers et saisonniers propres au climat méditerranéen algérois. L'amplitude thermique, bien que marquée, reste moins prononcée que dans les régions continentales, ce qui souligne l'effet modérateur de la mer Méditerranée sur le climat local.

- Vitesse du vent :

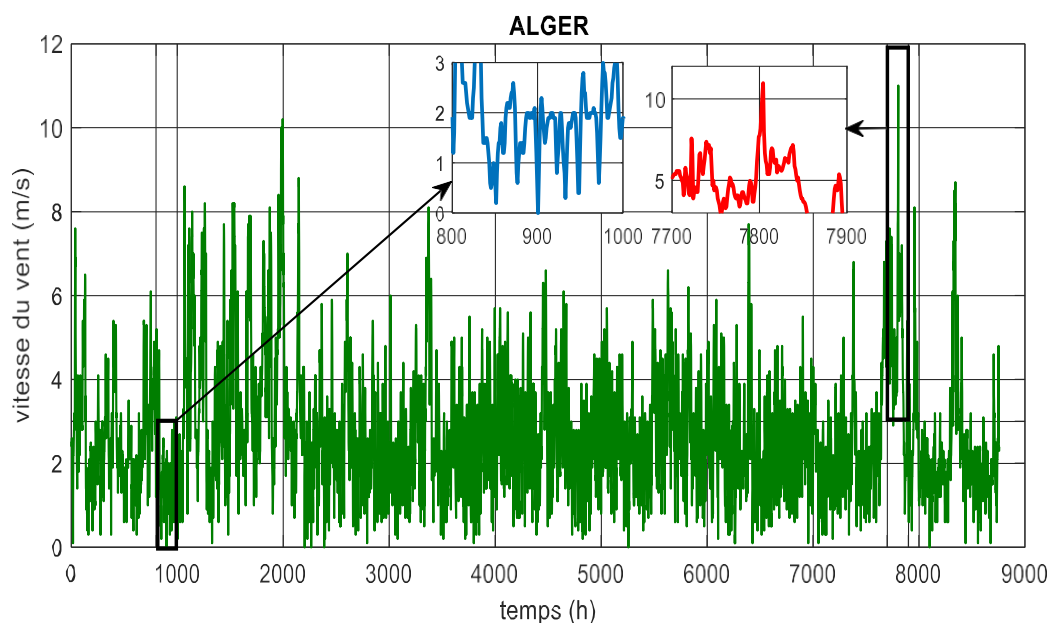


Figure III.2: Variation de la vitesse du vent de la wilaya d'Alger.

- Figure III.2 représente un graphique montre l'évolution de la vitesse du vent (en m/s) en fonction du temps (h) dans la wilaya d'Alger sur une période de 9000 heures. On observe que la vitesse du vent varie entre un minimum de 0 m/s et un maximum de 11 m/s, ce qui reflète une variabilité importante. Deux zones ont été agrandies pour mieux illustrer cette dynamique :

la première (en bleu) correspond à une période de vents très faibles, tandis que la seconde (en rouge) met en évidence une phase de vents plus forts, atteignant les valeurs maximales enregistrées. Ces fluctuations traduisent la diversité des conditions climatiques locales, et montrent que la wilaya d'Alger connaît à la fois des périodes calmes et des épisodes venteux significatifs, ce qui est à considérer dans les études liées au confort thermique, à la ventilation naturelle ou au potentiel éolien.

- L'humidité relative :

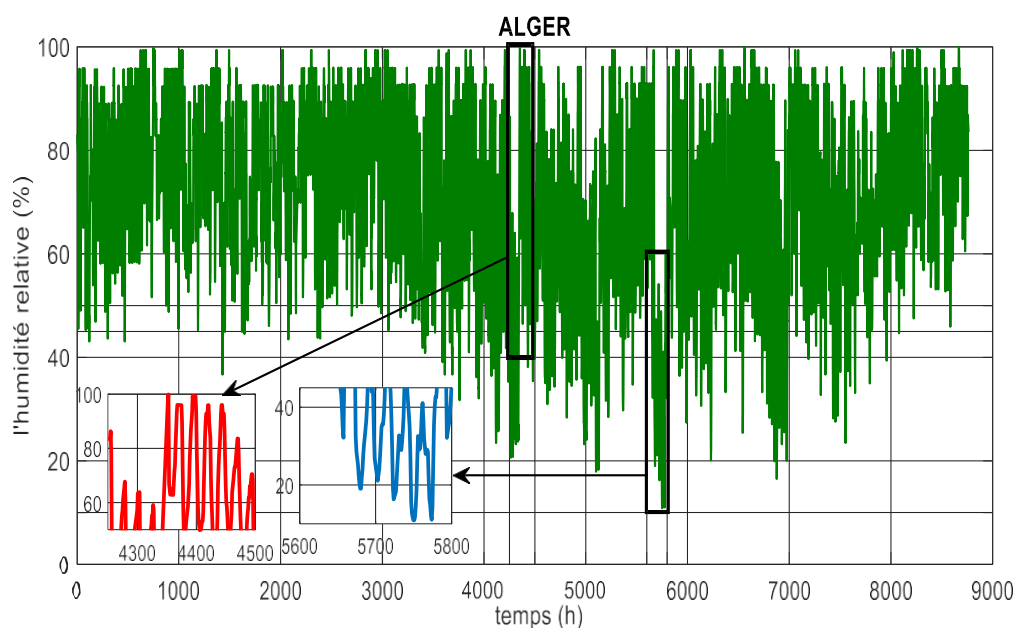


Figure III.3: L'évolution de l'humidité relative pour la wilaya d'Alger.

-Figure III.3 montre les variations d'humidité relative (%) à Alger tout au long de 2023. On constate que l'humidité change considérablement au fil des saisons, avec des pics et des baisses marquées. Le niveau maximal (100%) a été enregistré en juin à 4351,5 heures (voir zoom rouge), ce qui correspond à une saturation de l'air, souvent liée à du brouillard ou de fortes pluies. À l'opposé, le minimum (10,9%) est survenu en août à 5748,5 heures (zoom bleu), caractéristique des temps secs et chauds de l'été. Ces fortes variations entre humidité élevée et air très sec révèlent le climat saisonnier typique d'Alger. Une telle amplitude doit être prise en compte pour évaluer le confort.

• Le rayonnement diffus

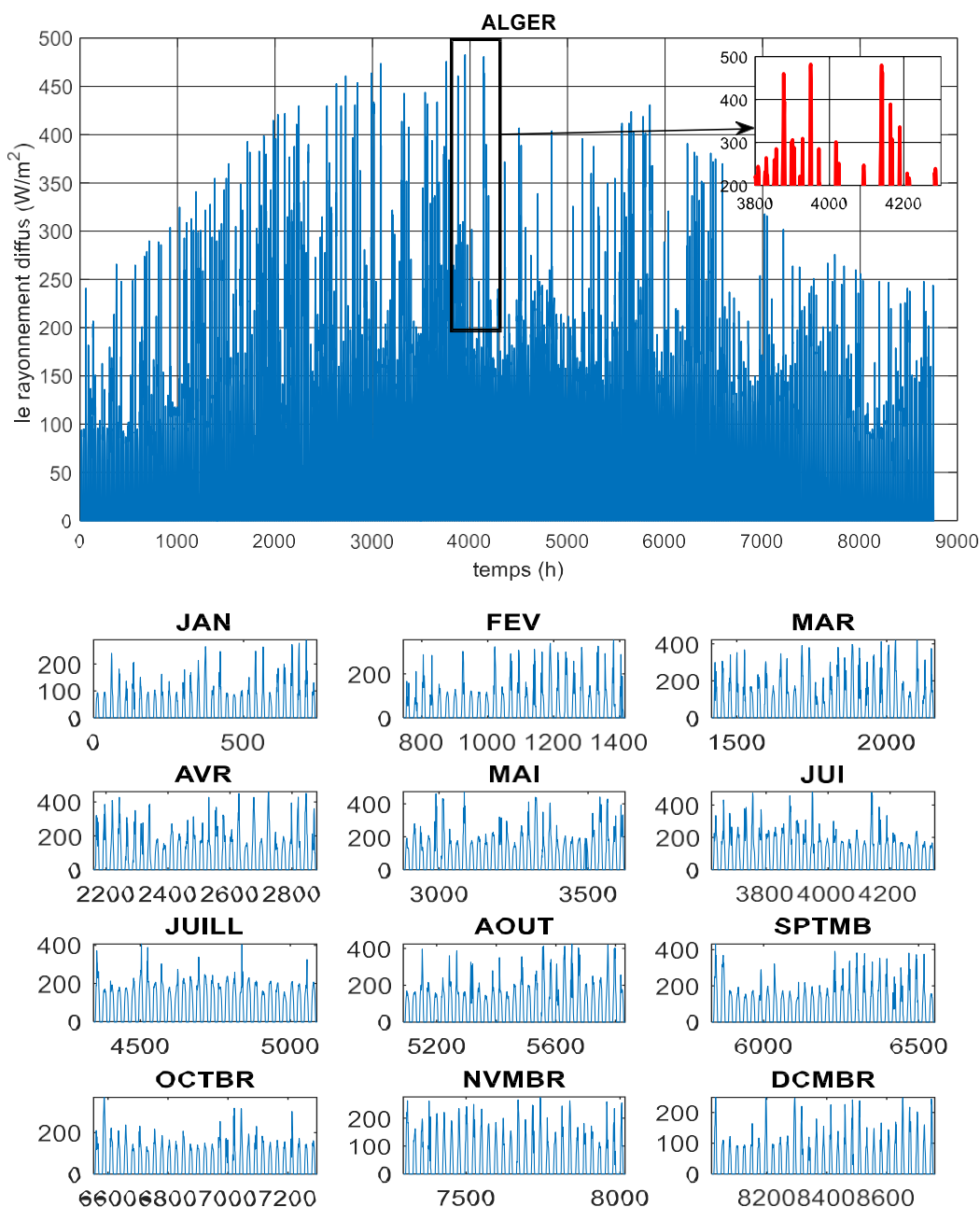


Figure III.4: Variations du rayonnement diffus à Alger.

- Figure III.4 montre l'évolution annuel et mensuel du rayonnement diffus (en W/m^2) en fonction du temps (h) au cours de l'année 2023 à d'Alger. On remarque dans le graphe que les valeurs varient selon les saisons. En hiver, le rayonnement diffus est faible, puis il augmente au printemps pour atteindre son maximum en juin ($483 W/m^2$ vers 3948 heures). Ce pic s'explique par le fait que le soleil est plus fort en été et que les nuages diffusent bien la lumière. En résumé, plus il y a de nuages et plus le soleil est haut dans le ciel, plus le rayonnement diffus est important.

- Le rayonnement direct

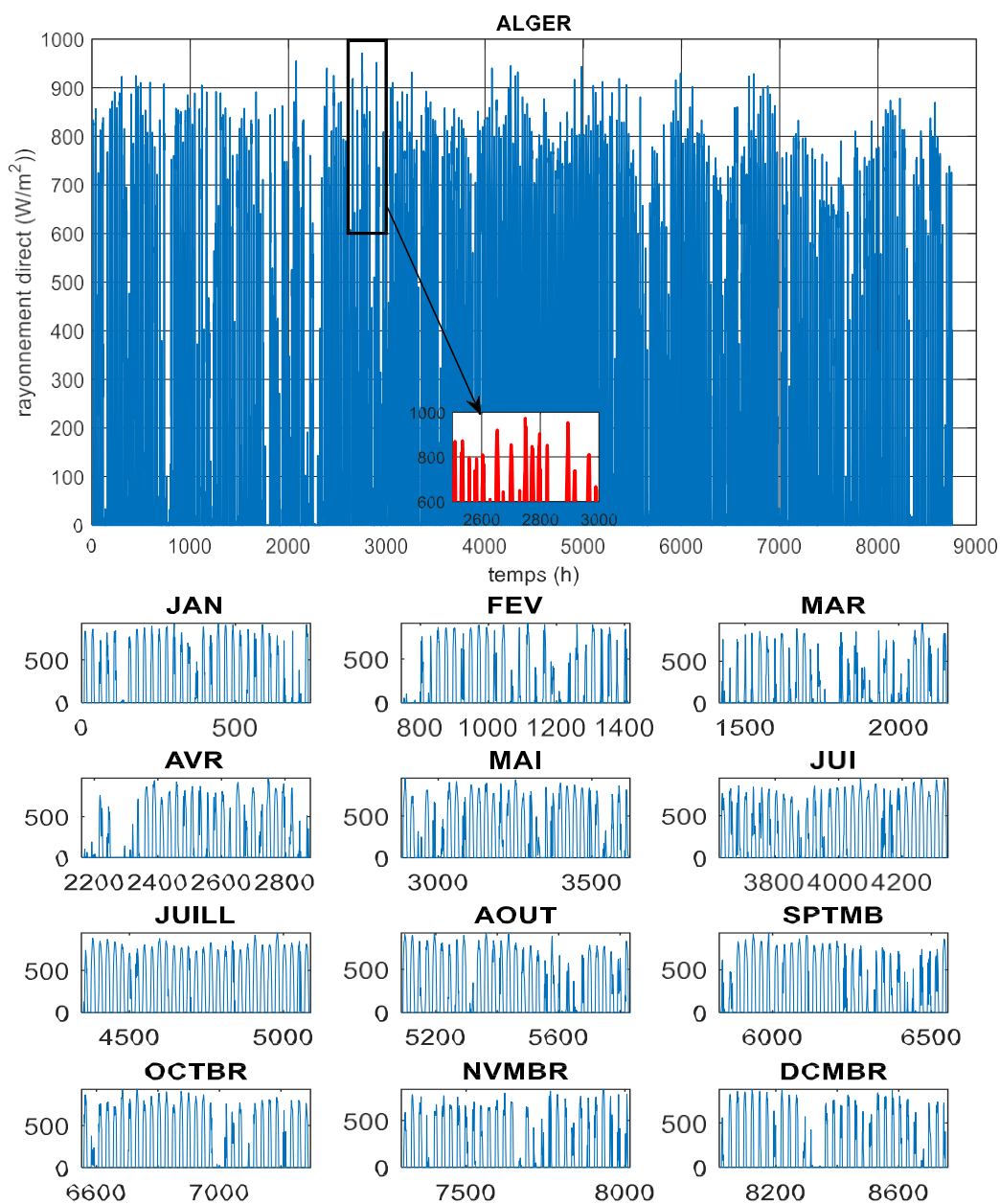


Figure III.5: Variations du rayonnement direct à Alger.

-Figure III.5 montre l'évolution de rayonnement direct en (W/m²) en fonction du temps (h). Le graphique présente des variations du rayonnement direct importantes selon les saisons. Le pic annuel (972 W/m²) se produit en avril, bénéficiant d'un ciel dégagé et de longues journées ensoleillées. Les valeurs chutent à zéro pendant la nuit. La courbe diminue progressivement à partir de septembre, marquant le retour des faibles niveaux hivernaux. Cette analyse montre clairement que le rayonnement solaire direct à Alger varie considérablement selon la période de l'année, avec des conditions optimales au printemps.

- Rayonnement global

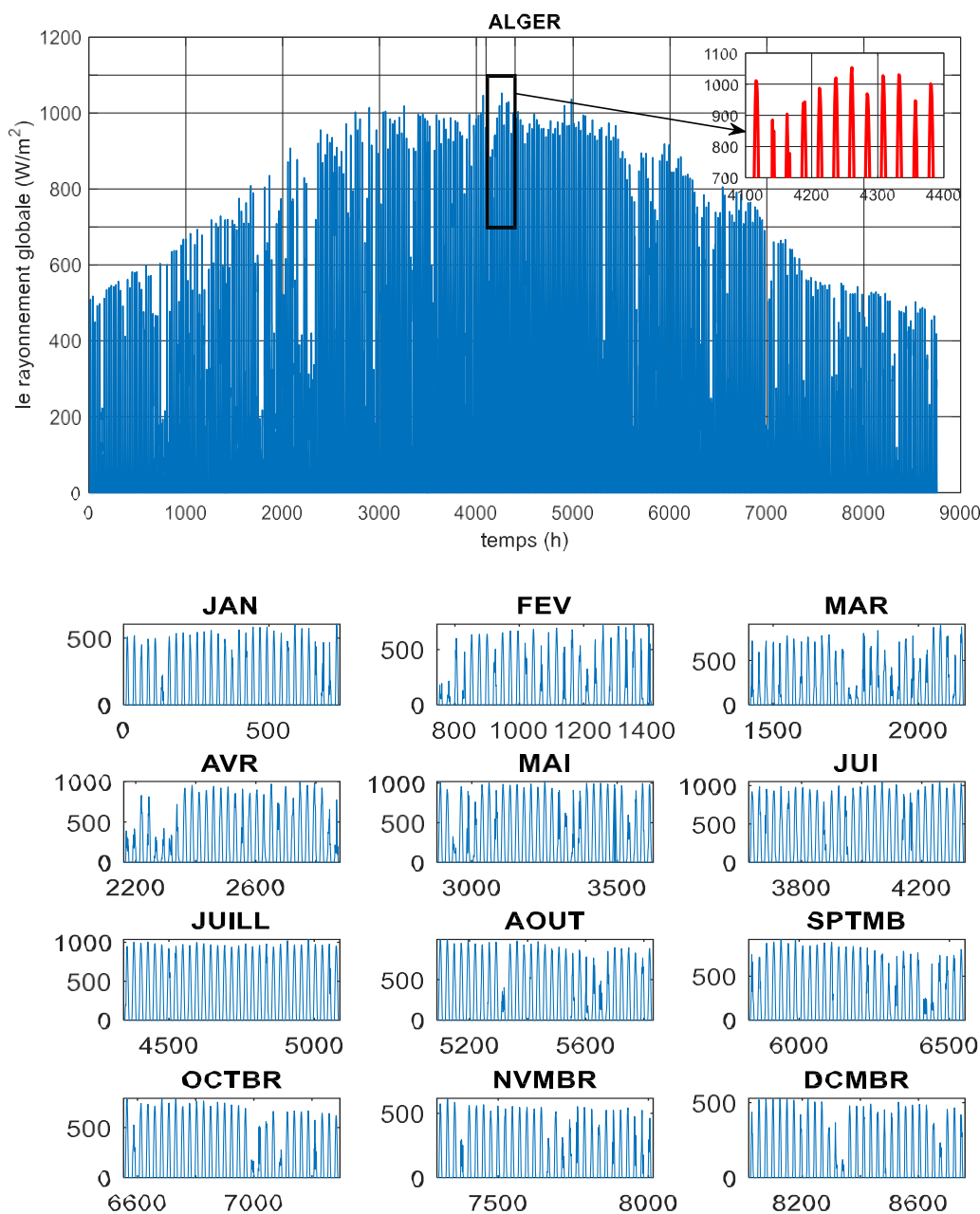


Figure III.6: Variations du rayonnement global à Alger.

- Figure III.6 représentant l'évolution du rayonnement global (en W/m²) en fonction du temps (h) pour la wilaya d'Alger sur l'année 2023 met en évidence une forte variabilité à la fois journalière et saisonnière. On constate que le rayonnement global atteint son maximum de 1053 W/m² au mois d'avril, ce qui traduit une intensité solaire particulièrement élevée au printemps, probablement favorisée par une atmosphère claire et une durée d'ensoleillement optimale. À l'inverse, les valeurs minimales, souvent nulles, apparaissent principalement durant la nuit, comme le montrent les zooms mensuels. En hiver, le rayonnement global reste modéré, reflétant une possible augmentation de la

couverture nuageuse. Au printemps, les valeurs augmentent nettement pour culminer en avril (4260,5h), puis restent élevées en été. À partir de septembre, le rayonnement global diminue progressivement, retrouvant des niveaux plus faibles en automne et en hiver. Cette figure met ainsi en évidence l'influence de la saisonnalité et des conditions atmosphériques locales sur la disponibilité du rayonnement solaire global à Alger.

3. Graphiques de la moyenne mensuelles et l'écart type mensuel

Afin de mieux comprendre la distribution et la variabilité du rayonnement solaire au cours de l'année 2023, nous avons représenté graphiquement les moyennes mensuelles et les écarts types des trois composantes principales du rayonnement : global, direct et diffus, pour la wilaya d'Alger.

- **Le rayonnement diffus**

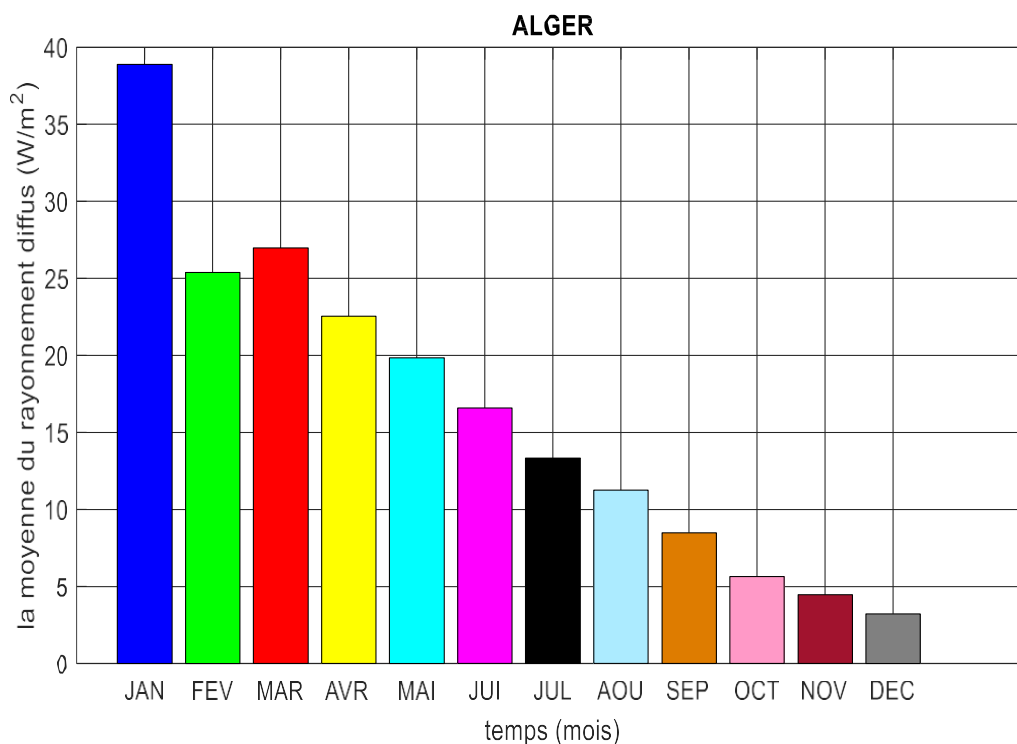


Figure III.7: La moyenne mensuel du rayonnement diffus (W/m²) pour Alger.

- Figure III.7 montre la moyenne du rayonnement diffus (en W/m^2) pour chaque mois à Alger. On observe que le rayonnement diffus est maximal en janvier, puis il diminue progressivement au fil des mois pour atteindre son minimum en décembre. Cela indique que les mois d'hiver reçoivent plus de rayonnement diffus, probablement en raison d'une couverture nuageuse plus importante, tandis que l'été est caractérisé par un rayonnement diffus plus faible.

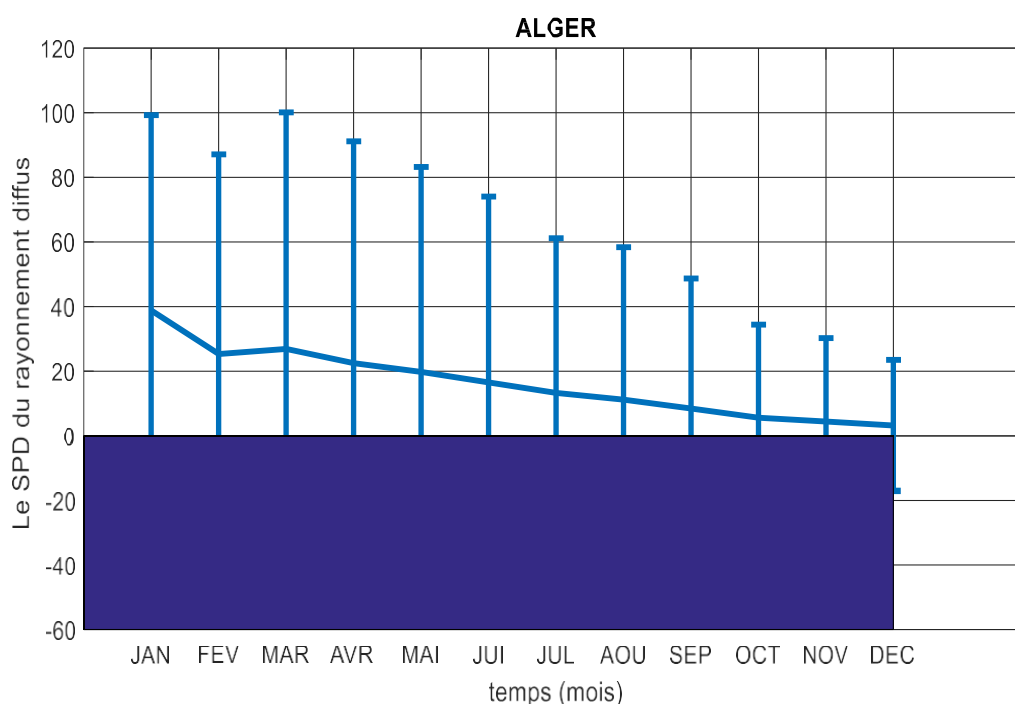


Figure III.8: Ecart type du rayonnement diffus pour Alger.

- Figure III.8 montre l'écart type du rayonnement diffus pour la wilaya d'Alger. On observe que l'écart type du rayonnement diffus est plus grand en janvier et février. Cela veut dire que le rayonnement diffus change beaucoup pendant ces mois. Ensuite, il devient plus stable et change moins le reste de l'année.

- Rayonnement direct

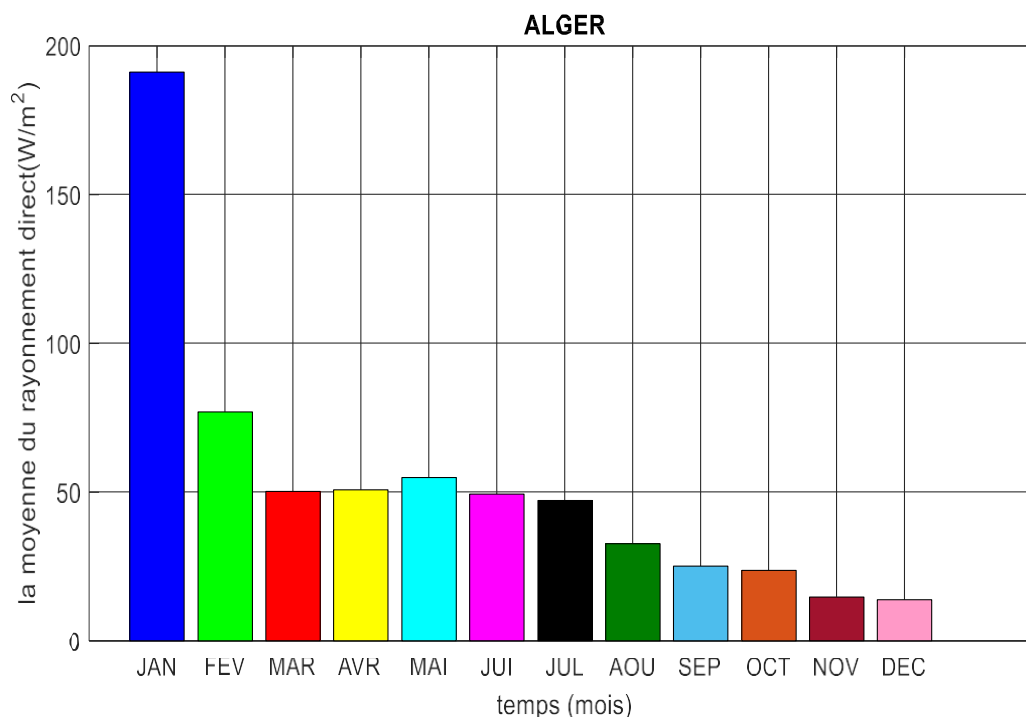


Figure III.9: La moyenne mensuelle du rayonnement direct (W/m²) pour Alger.

-Figure III.9 montre la moyenne du rayonnement direct (en W/m²) pour chaque mois à Alger. Le rayonnement direct est très élevé en janvier, puis il chute fortement dès février et reste relativement bas le reste de l'année, avec une légère diminution supplémentaire vers le mois de décembre. Cette tendance suggère que le rayonnement solaire direct est principalement concentré en début d'année, ce qui peut être lié à des conditions atmosphériques.

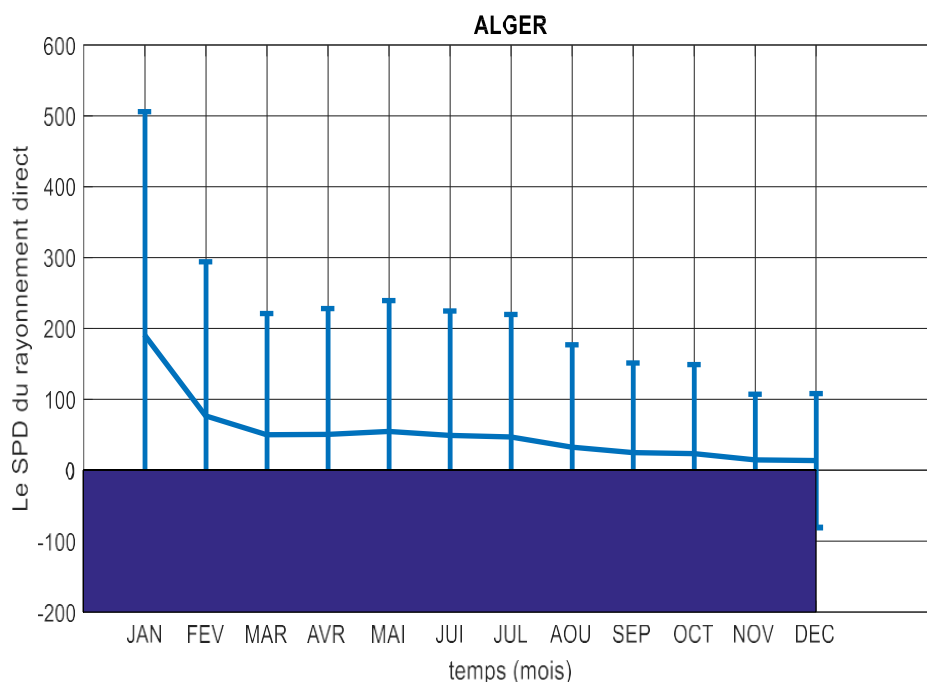


Figure III.10: Ecart type du rayonnement direct pour Alger.

- Figure III.10 montre écart type du rayonnement direct pour la wilaya d’Alger. Le graphique indique que l’écart type du rayonnement direct est très élevé en janvier, donc il varie beaucoup à ce moment-là. À partir de février, il diminue et reste assez bas, ce qui veut dire que le rayonnement direct change moins pendant les autres mois.

• Rayonnement global

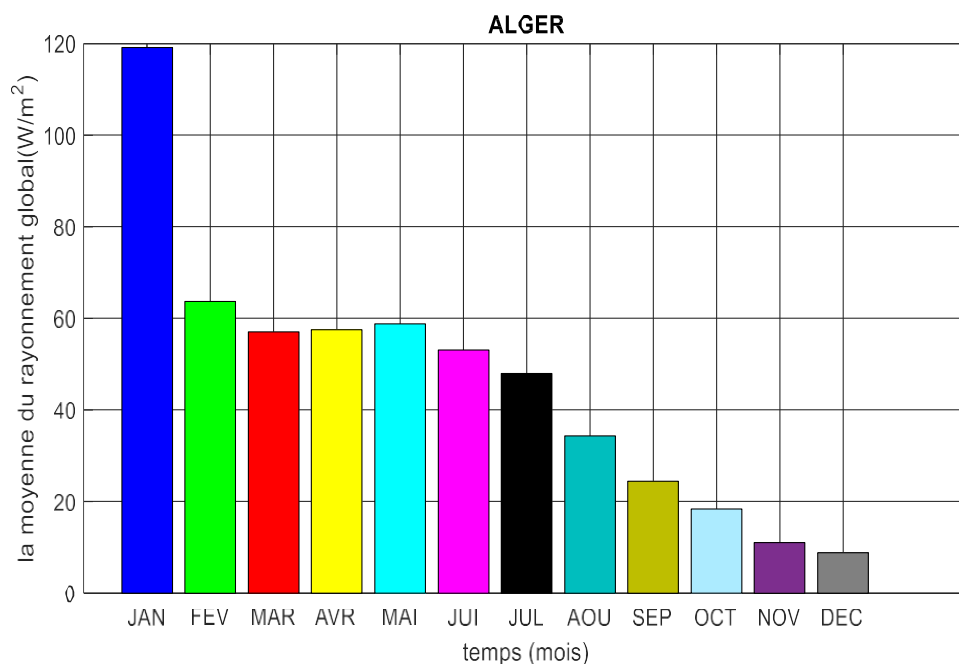


Figure III.11: La moyenne mensuelle du rayonnement global (W/m²) pour Alger.

- Figure III.11 montre la moyenne du rayonnement global (en W/m^2) pour chaque mois à Alger. Le rayonnement global suit une tendance similaire aux deux autres types de rayonnement : il est maximal en janvier, puis diminue progressivement jusqu'à décembre. Cela indique que le rayonnement global reçu à Alger est nettement plus important en hiver qu'en été.

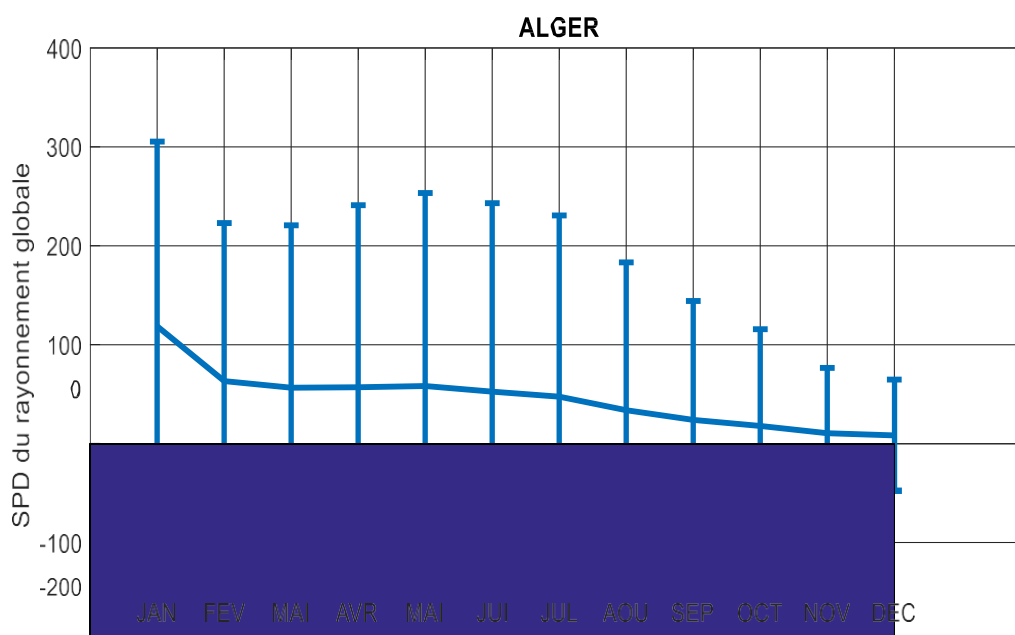


Figure III.12: Ecart type du rayonnement global pour Alger.

- Figure III.12 montre l'écart type du rayonnement global pour la wilaya d'Alger. On remarque que le mois du janvier est plus élevé. Cela signifie qu'il y a beaucoup de variations au début de l'année. Ensuite, ces variations diminuent et le rayonnement global devient plus régulier pendant le reste de l'année.

4. Analyse comparative des données météorologiques

Afin de mieux comprendre les variations climatiques régionales en Algérie, une comparaison a été menée entre trois wilayas représentatives de différentes zones géographiques : Alger (zone côtière), Adrar (zone saharienne) et El Bayadh (zone des hauts plateaux). Cette analyse se concentre sur deux paramètres météorologiques essentiels : la température de l'air et la vitesse du vent.

• Température sèche

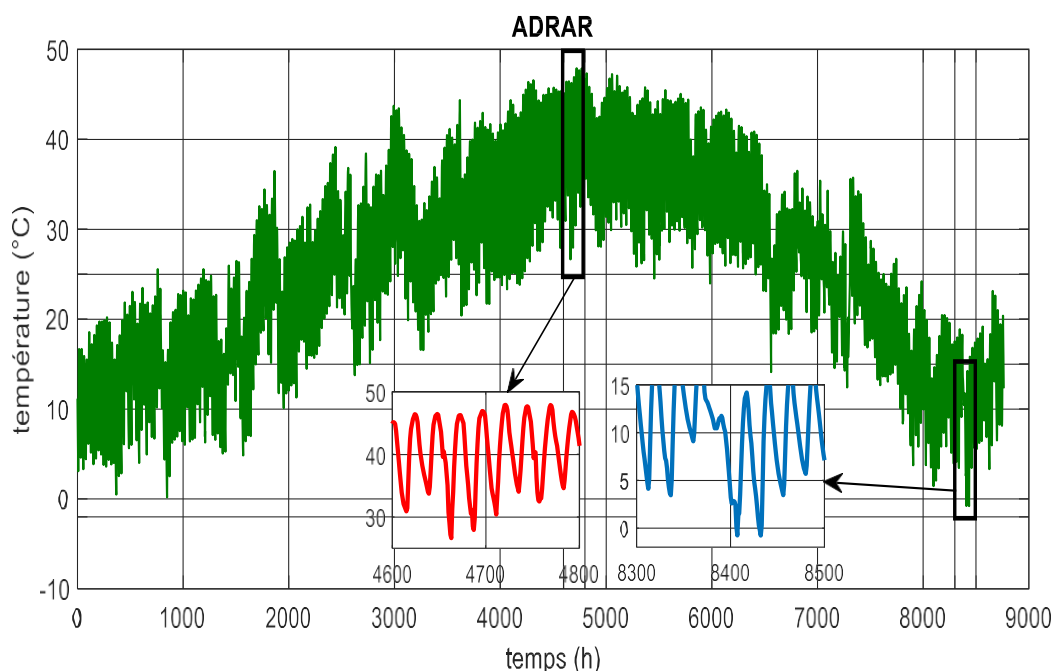


Figure III.13: Variation de la température de la wilaya d'Adrar.

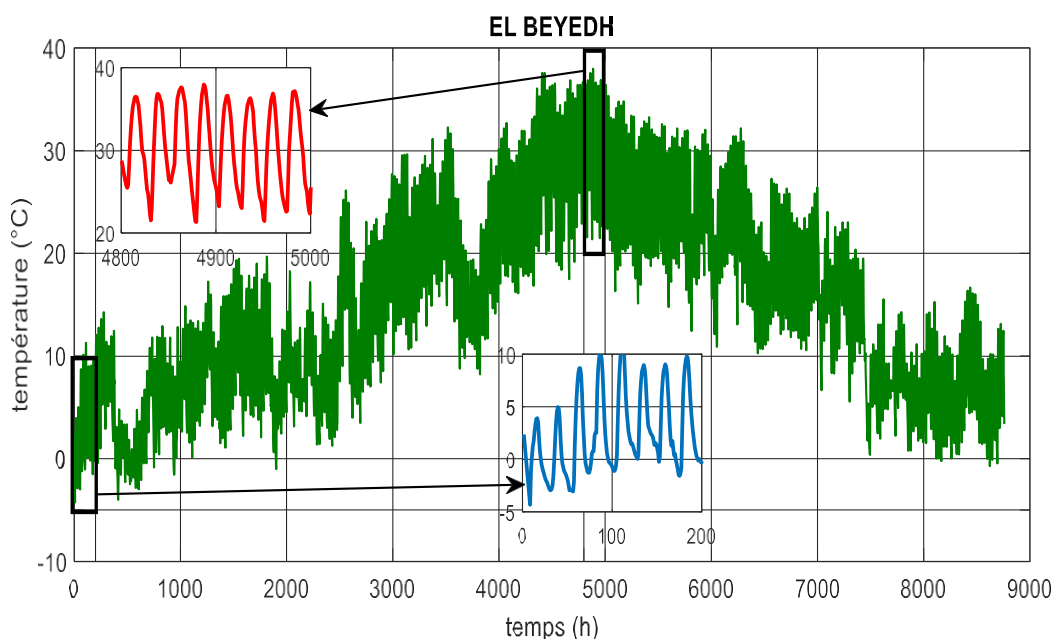


Figure III.14: Variation de température de la wilaya d'El Beyedh.

-L'analyse des données météorologiques et l'interprétation des graphiques révèlent que la wilaya d'Alger, avec son climat méditerranéen, présente des hivers doux et des étés modérés. À l'inverse, El Beyedh, située sur les Hauts Plateaux, connaît des hivers froids (avec des températures inférieures à 0°C) et des étés chauds, caractéristiques d'un climat continental à forte amplitude thermique. Comparant à la wilaya d'Adrar, dans le Sahara, elle se distingue

par des étés extrêmement chauds et des nuits fraîches en hiver. Ces trois wilayas illustrent parfaitement la diversité climatique de l'Algérie.

• La vitesse du vent

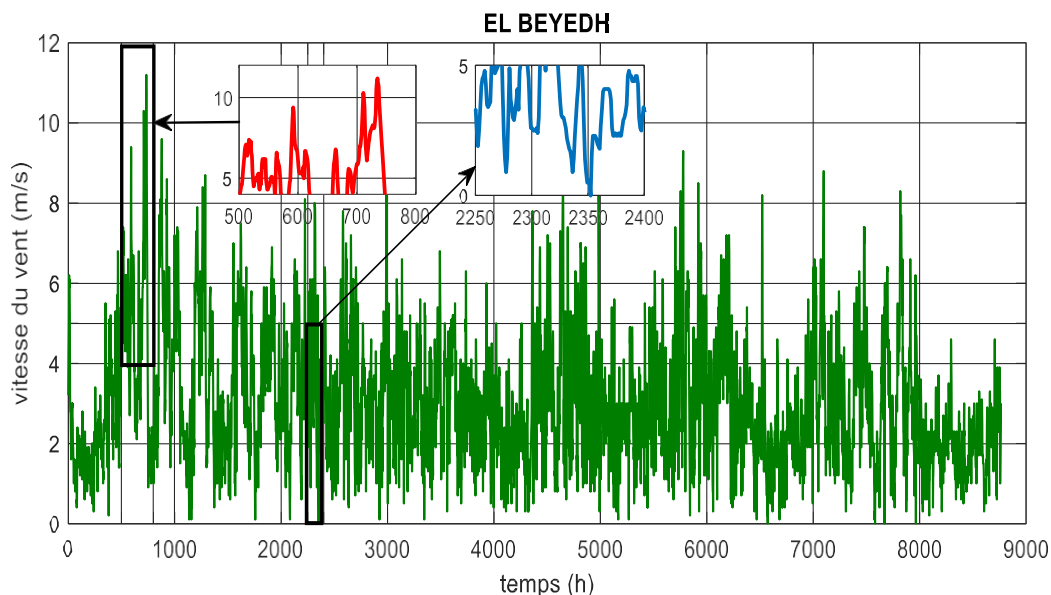


Figure III.15: Variation de la vitesse du vent de la wilaya d’El Beyedh.

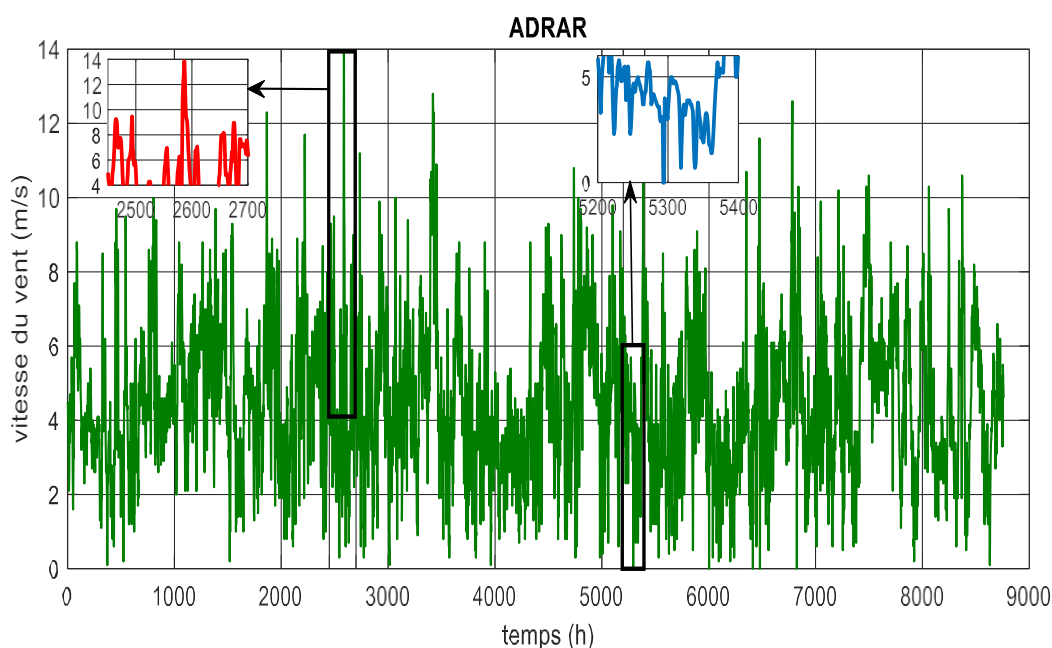


Figure III.16: Variation de la vitesse du vent de la wilaya d’Adrar.

-Concernant la vitesse du vent, la wilaya d’Adrar enregistre des vents plus forts et plus fréquents, avec des vitesses maximales nettement supérieures à celles observées dans les autres régions. Bien qu’El Bayadh présente également des vitesses de vent relativement élevées, les valeurs maximales restent inférieures à celles enregistrées à Adrar. De son côté,

Alger se distingue par une grande variabilité, alternant entre des périodes calmes et des épisodes de vents forts, influencés principalement par la proximité de la mer Méditerranée.

5. Discussion des résultats des gains internes :

Dans notre étude, nous avons évalué les gains thermiques internes pour différents types d'espaces, conformément aux normes ASHRAE Standard 62.1 (2016) ASHRAE Handbook – HVAC Fundamentals (2017) et d’ASHRAE 90.1 (2016).

5.1. Apports internes due aux occupants :

Les apports thermiques internes dus aux occupants ont été évalués pour chaque type de local, la densité d'occupation a été extraite du tableau 6.2.2.1 de l'ASHRAE Standard 62.1 (2016). Cette densité exprimée en personnes/100 m² a permis d'estimer le nombre moyen d'occupants présents dans chaque espace. Ensuite, en se basant sur la valeur moyenne de chaleur dégagée par personne (sensible + latente), estimée à environ 135 W/personne selon l'ASHRAE Handbook – HVAC Fundamentals (2017), nous avons calculé les gains thermiques totaux pour chaque espace.

-Tableau III.1 montre que les espaces à forte densité d'occupation, comme le supermarché ou la salle de sport, génèrent des apports thermiques internes plus importants, ce qui influence directement les charges climatiques estivales. À l'inverse, les espaces à faible densité, comme le bureau ou la chambre à coucher, présentent des gains thermiques plus modérés, ce qui permet un dimensionnement moindre des systèmes de ventilation et de climatisation.

Tableau III.1: Apports internes due aux occupants

espace	Densité d'occupe(per/m ²)	Surface (m ²)	Occupants	Apports.ther.totale(W)
Bureau	5	18,2	0,91	135
			≈1	
Chambre à couché	10	13,3	1,33	270
			≈2	
Salle de sport	10	74,925	7,4925	1011,4875
Supermarché	8	481,23	38,4984	5197,284
Cafétéria	10	53,482	5,3482	722,007

5.2. Apports internes due aux éclairages :

Les calculs des apports thermiques internes dus à l'éclairage ont été effectués en se basant sur les valeurs de la densité de la puissance électrique (LPD) fournies dans l'ASHRAE Standard 90.1-2016. Le tableau III.2 donne, pour chaque local, la puissance électrique installée par mètre carré (W/m^2), ce qui permet d'estimer la quantité de chaleur dégagée par l'éclairage.

Les résultats montrent que le supermarché présente l'apport thermique le plus élevé dû à l'éclairage (3946 W), ce qui s'explique par sa surface importante et la densité élevée d'éclairage nécessaire pour garantir un bon niveau de visibilité et d'attractivité commerciale.

En revanche, la chambre à coucher génère le gain le plus faible (87,12 W) en raison de sa petite surface et de l'utilisation modérée de l'éclairage. Ces apports thermiques sont importants à prendre en compte lors du dimensionnement des systèmes de climatisation, surtout dans les bâtiments où l'éclairage reste actif pendant de longues heures.

Tableau III.2: Apports internes générés par l'éclairage.

Espace	Surface (m^2)	LPD (W/m^2)	Q (éclairage)
Bureau	18,2	8,5	154,7
chambre à couché	13,2	6,6	87,12
Salle de sport	74,925	7,3	546,9525
Supermarché	481,23	8,2	3946,086
Cafétéria	53,482	8,5	454,597

5.3. Apports internes due aux machines et aux équipements électriques :

Les apports thermiques générés par les équipements électriques ont été estimés à partir de la puissance électrique nominale de chaque appareil ou à travers une méthode simplifiée basée sur la densité de puissance en W/m^2 selon le type d'espace. Les valeurs utilisées proviennent principalement de l'ASHRAE Standard 90.1-2016.

-Le tableau III.3 montre les résultats obtenus dans le tableau 3 montre que les locaux équipés d'appareils électriques nombreux et puissants génèrent des apports thermiques non négligeables. Ces apports calorifiques nécessitent une considération particulière dans le calcul

des systèmes de climatisation, particulièrement pour les bâtiments à usage commercial ou tertiaire caractérisés par un fonctionnement prolongé et continu des équipements.

Tableau III.3: Apports internes due aux machines.

Types d'appareils	Fu	Fs	Puissances électriques(W)	Q (équipements) (W)
Ordinateur, moniteur	0,8	1	60	48
Imprimante	0,2	0,9	800	144
Machine à café, bouilloire	0,1	0,7	1200	84
Réfrigérateur	0,5	1	150	75
Ventilateur	0,3	1	50	15
Chargeurs	0,5	0,8	50	20

5.4. Apports solaires internes à travers les parois transparentes

Les calculs des déperditions thermiques dues aux parois vitrées ont été effectués en tenant compte de deux types principaux de vitrages : simple vitrage et double vitrage, ainsi que leurs caractéristiques respectives, notamment le coefficient U et le SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) proviennent principalement de l'ASHREA. ET aussi en se basant sur les données climatiques de la wilaya d'Alger, notamment la température extérieure maximale et le rayonnement solaire global, pour évaluer à la fois les pertes de chaleur par conduction et les gains solaires dus au rayonnement incident.

Tableau III.4: Apports internes due aux vitrages.

Types du vitrage	Coeff.Trans.U (W/m ² . K)	SHGC	Surfaces (m ²)		Apports solaire (W)	flux convective(W)	flux total (W)	Somme (W)
Simple vitrage	7,1	0,82	Façade principale	201,35	173857,7	26232,885	200090,6	362447,6
			Façade postérieure	175,36	151416,3	10940,71	162357,1	
Doubles vitrages	3,4	0,59	Façade principale	201,35	125092,7	12562,227	137654,9	257541,6
			Façade postérieure	175,36	108945,9	10940,71	119886,6	

-Tableau III.4 montre une comparaisant entre le simple vitrage ($U = 7,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{SHGC} = 0,82$) et double vitrage ($U = 3,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $\text{SHGC} = 0,59$). Les résultats montrent que le double vitrage réduit considérablement les flux thermiques totaux, ce qui améliore le confort intérieur et diminue la charge sur les systèmes CCV, ce qui confirme l'importance du choix des vitrages pour le bâtiment.

-Calculs des bilans thermiques pour le bâtiment :

Le bilan thermique du bâtiment a été évalué en considérant l'ensemble de son enveloppe, comprenant les quatre façades extérieures et la toiture. La méthode de calcul repose sur la détermination des résistances thermiques totales (R) et des conductances (K) de chaque paroi, permettant d'estimer les déperditions thermiques pour chaque composant. Les calculs intègrent les caractéristiques des matériaux et les conditions aux limites spécifiques au projet. Cette approche permet de déterminer précisément les déperditions thermiques pour chaque paroi.

Tableau III.5: Bilans thermiques.

Paroi	Composant	e[m]	λ [W/mC°]	R.Comp [m²C°/W]	1/hi+1/he [m²C°/W]	R.Tot [m²C°/W]	K [W/m²C°]	L [m]	H [m]	A [m²]	S.T. Ouv [m²]
Façade principale	Lame d'air ext			0,16							
	Cloison en brique	0,15	0,48	0,3125							
	Polystyrène expansé	0,05	0,046	1,086956522	0,17	2,097789855	0,476692171	44	13,5	594	201,35
	Cloison en brique	0,1	0,48	0,208333333							
	Lame d'air int			0,16							

Paroi	Composant	e [m]	λ [W/mC°]	R.Comp [m²C°/W]	1/hi+1/he [m²C°/W]	R. Tot [m²C°/W]	K [W/m²C°]	L [m]	H [m]	A [m²]	S.T.Ouv[M²]
Façade postérieure	Lame d'air ext			0,16				44	13,5	594	175,36
	Cloison en brique	0,15	0,48	0,3125				7,6	6,4	48,64	
	Polystyrène expansé	0,05	0,046	1,086956522	0,17	2,097789855	0,476692171	15,1	6,4	48,32	
	Cloison en brique	0,1	0,48	0,208333333						690,96	
	Lame d'air int			0,16							

Paroi	Composant	e [m]	λ [W/mC°]	R.Comp [m²C°/W]	1/hi+1/he [m²C°/W]	R.Tot [m²C°/W]	K [W/m²C°]	L [m]	H[m]	A [m²]
Façades latérales	Lame d'air extérieur	0,1	0,48	0,16	0,17	0,175333333	5,703422053	14,5	13,5	195,75
	Cloison en brique			0,208333333						
	Lame d'air intérieure			0,16						

Paroi	Composant	e [m]	λ [W/mC°]	R.Comp [m²C°/W]	1/hi+1/he	R.Tot [m²C°/W]	K [W/m²C°]	L [m]	l [m]	A [m²]
Toiture	Lame d'air extérieur			0,16	0,14	2,78952381	0,3584841	14,5	44	638
	Panneau polystyrène Extrudé XPS3	0,05	0,03	1,666666667						
	Dalle de béton armé	0,25	1,75	0,142857143						
	Plaque de plâtre	0,13	0,25	0,52						
	Lame d'air intérieure			0,16						

-Déperditions par transmission :

Le tableau ci-dessus montre un exemple de résultat de calcul pour les déperditions par transmission pour l'ensemble du bâtiment.

Exemple de calcul :

Tableau III.6: Tableau récapitulatif des calculs.

Hours since Jan 1	Alger, epw: Dry bulb temp (C)	log(Psat)	Psat	Relative humidity (%)	Relative humidity	Pv	log(Pv)	T rosé			L'émissivité du ciel pour un temps clair	L'émissivité du ciel	Tc (°C)	Tc (°k)	Diffuse irradiance (W/m2)	diffu/s*σ	Tc^4	Tparoi (K)	Tparoi (°C)	Façade principale	Façade postérieure	Façades latérales	Toiture	La somme	
0,5	10,37	3,102	1265	83,06	0,831	1051	3,022	-56,38	-7,391	7,629	0,799	0,799	9,804	283		0	0	6E+09	283	9,804	2470	3243	14702	3018	23434
1,5	9,95	3,09	1230	82,59	0,826	1016	3,007	-52,84	-7,406	7,135	0,797	0,797	9,402	282,6		0	0	6E+09	282,6	9,402	2545	3342	15151	3110	24149
2,5	9,52	3,077	1195	82,12	0,821	981,5	2,992	-49,21	-7,421	6,632	0,795	0,795	8,99	282,1		0	0	6E+09	282,1	8,99	2622	3443	15610	3204	24880
3,5	9,1	3,065	1162	81,64	0,816	948,5	2,977	-45,63	-7,436	6,137	0,793	0,793	8,588	281,7		0	0	6E+09	281,7	8,588	2697	3542	16057	3296	25593
4,5	8,67	3,052	1128	81,17	0,812	916	2,962	-41,98	-7,451	5,634	0,791	0,791	8,177	281,3		0	0	6E+09	281,3	8,177	2774	3643	16515	3390	26323
5,5	8,25	3,04	1097	80,7	0,807	885	2,947	-38,38	-7,466	5,141	0,79	0,79	7,777	280,9		0	0	6E+09	280,9	7,777	2849	3742	16962	3482	27034
6,5	7,82	3,027	1065	80,23	0,802	854,4	2,932	-34,7	-7,481	4,638	0,788	0,788	7,367	280,5		0	0	6E+09	280,5	7,367	2926	3842	17418	3575	27762
7,5	7,4	3,015	1035	79,76	0,798	825,4	2,917	-31,07	-7,496	4,145	0,786	0,786	6,967	280,1		0	0	6E+09	280,1	6,967	3001	3941	17864	3667	28472
8,5	8,84	3,057	1142	79,75	0,798	910,4	2,959	-41,34	-7,453	5,546	0,791	0,791	8,337	281,5	51	1E+09	6E+09	293,8	20,61	448,3	588,6	2668	547,8	4253	
9,5	12,23	3,156	1432	71,95	0,72	1030	3,013	-54,29	-7,4	7,337	0,798	0,798	11,56	284,7	74	2E+09	7E+09	301,5	28,37	-1005	-1320	-5984	-1228	-9538	

6. La charge thermique totale de chauffage et climatisation.

Les charges thermiques de chauffage ont été calculées en prenant en compte les déperditions thermiques par transmission à travers l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment (murs, toiture,), auxquelles ont été ajoutées les déperditions à travers les parois transparentes (fenêtres). Un facteur correctif de 1.3 a été appliqué à ces déperditions afin d'intégrer l'impact des ponts thermiques, représentant environ 30 % des déperditions totales. Ce total a ensuite été diminué des gains internes dus aux occupants, aux équipements électriques et à l'éclairage, qui contribuent à réduire la charge de chauffage.

Concernant les charges thermiques de climatisation, la démarche a été similaire : les déperditions par transmission ont été multipliées par le même facteur 1.3, et les gains thermiques dus aux parois transparentes ont été ajoutés. À cela, ont été additionnés les gains internes (occupants, machines, éclairage), qui constituent une part significative de la charge de refroidissement. Cette approche permet d'estimer avec réalisme les besoins en chauffage et en climatisation, tout en tenant compte des caractéristiques constructives du bâtiment, notamment le type de vitrage utilisé.

• Comparaison des charges de chauffage et de climatisation entre les wilayas :

-Le tableau III.7 présenté met en évidence la variation des charges thermiques totales, comprenant à la fois la charge de chauffage et la charge de climatisation, pour un bâtiment situé dans différentes wilayas d'Algérie. On observe que la charge de chauffage est légèrement supérieure à la charge de climatisation dans toutes les wilayas, ce qui reflète l'importance du besoin de chauffage durant les périodes froides, même dans des régions à climat chaud comme Adrar et El Beyedh. Les valeurs les plus élevées de charges thermiques sont enregistrées à Adrar, suivie d'El Beyedh, puis d'Alger. Cette variation s'explique principalement par les différences climatiques et météorologiques propres à chaque wilaya, les régions du sud comme Adrar et El Beyedh connaissent des écarts de température plus importants entre le jour et la nuit, ainsi que des étés très chauds et des hivers parfois rigoureux, ce qui augmente à la fois les besoins en chauffage et en climatisation. À l'inverse, Alger, bénéficiant d'un climat méditerranéen plus tempéré, présente des charges thermiques globalement inférieures. Ainsi, l'analyse de ces données met en évidence l'impact direct des conditions climatiques locales sur la conception et la gestion énergétique des bâtiments dans les différentes régions d'Algérie.

Tableau III.7: Charges thermique pour différentes wilayas.

Wilayas	Charge de chauffage(W)	Charge de Climatisation(W)
ALGER	504914,0528	421732,2373
ADRAR	1132713.12	1044341.89
EL BEYEDH	520653,2785	437471,463

-Le tableau III.8 présente l'augmentation relative des charges de chauffage et de Climatisation pour les wilayas d'Adrar et d'El Bayedh, en comparaison avec Alger, qui sert de référence. On constate que la charge de chauffage à Adrar est environ 124 fois plus élevée qu'à Alger, ce qui traduit des besoins en chauffage extrêmement importants dans cette région saharienne. À El Bayedh, l'augmentation relative de la charge de chauffage est beaucoup plus modérée, avec une valeur d'environ 3,12, indiquant que les besoins en chauffage y sont trois fois supérieur à ceux d'Alger. Pour la climatisation, la charge à Adrar est près de 148 fois plus élevée que celle d'Alger, ce qui met en évidence l'exigence énergétique très forte pour le refroidissement dans cette wilaya au climat désertique. À El Bayedh, l'augmentation relative de la charge de climatisation est de 3,73, soit presque quatre fois plus qu'à Alger. Ces résultats illustrent clairement l'impact majeur des conditions climatiques extrêmes du sud algérien sur les besoins énergétiques des bâtiments, avec des charges thermiques, tant pour le chauffage que pour la climatisation, nettement supérieures à celles observées dans une ville au climat tempéré comme Alger.

Tableau III.8: Augmentation relative.

Wilayas	Charge de chauffage(W)		Charge de climatisation(W)	
	ADRAR	AL BAYEDH	ADRAR	AL BAYEDH
Augmentation relative	124.337808	3,11720889	147.631496	3,73204235

7. Analyses paramétriques

- Type du vitrage

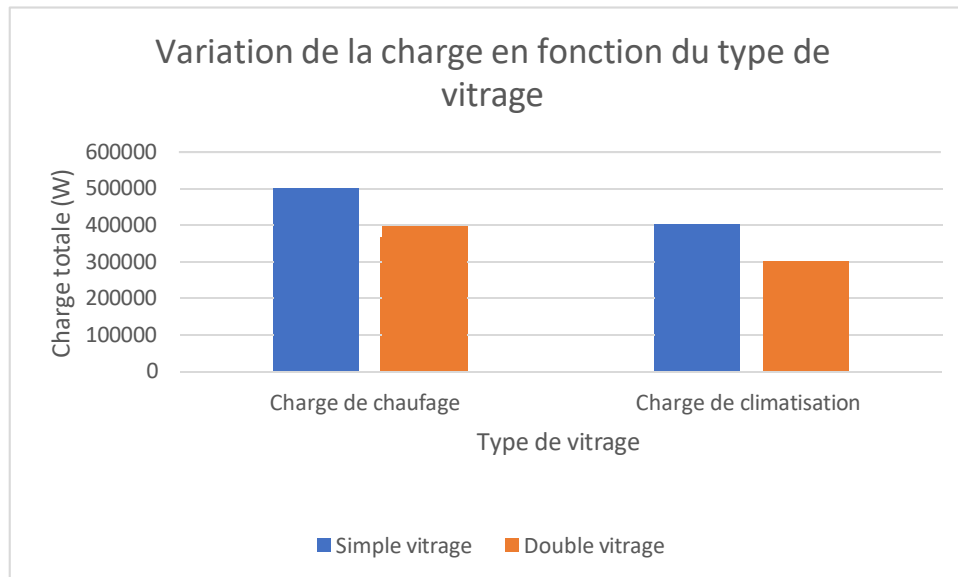


Figure III.17: Variation de la charge en fonction du type de vitrage.

- Figure III.17 illustre l'influence du type de vitrage sur les charges thermiques totales d'un bâtiment, en distinguant la charge de chauffage et la charge de climatisation. On observe que le simple vitrage entraîne des charges thermiques nettement plus élevées, aussi bien pour le chauffage que pour la climatisation, par rapport au double vitrage. Cela signifie que le double vitrage améliore l'isolation thermique du bâtiment, réduisant ainsi les besoins en énergie pour maintenir une température intérieure confortable, que ce soit en hiver ou en été. L'utilisation du double vitrage constitue donc une solution efficace pour diminuer la consommation énergétique globale du bâtiment et améliorer son efficacité énergétique.

- Les résistances

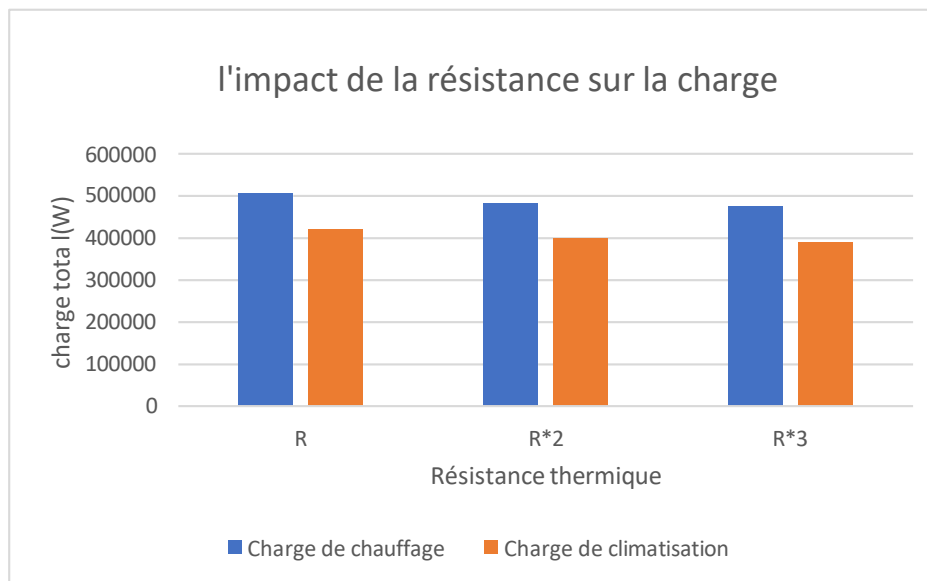


Figure III.18: L'impact de la résistance thermique sur les charges totales du bâtiment.

- Figure III.18 illustre l'impact de la résistance thermique sur les charges totales de chauffage et de climatisation d'un bâtiment. On observe que lorsque la résistance thermique augmente (de R à R*3), les charges de chauffage et de climatisation diminuent progressivement. Cela signifie qu'une meilleure isolation thermique permet de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir le confort intérieur, aussi bien en hiver (chauffage) qu'en été (climatisation). Ainsi, l'amélioration de la résistance thermique des parois du bâtiment contribue directement à une baisse significative de la consommation énergétique globale.

8. Conclusion

Ce chapitre a permis d'analyser et d'interpréter les résultats obtenus à travers l'outil mathématique développé, en utilisant des données météorologiques horaires réelles de l'année 2023 pour plusieurs wilayas représentatives de la diversité climatique algérienne (Alger, Adrar et El Bayadh).

Les analyses ont mis en évidence des différences significatives en termes de température, d'humidité, de rayonnement solaire et de vitesse du vent entre ces régions, ce qui influence directement les charges thermiques en chauffage et en climatisation. En particulier, dans des zones chaudes comme Adrar, située dans le sud saharien, les températures élevées pendant une grande partie de l'année rendent nécessaire un fonctionnement prolongé voire continu des systèmes de climatisation pour maintenir un niveau acceptable de confort.

À l'opposé, dans des zones froides comme El Bayadh, située sur les Hauts Plateaux, les hivers sont très rigoureux avec des températures pouvant descendre en dessous de 0 °C. Cela entraîne des besoins importants en chauffage, nécessitant des équipements performants et bien dimensionnés pour assurer un confort thermique constant. Ce contraste montre bien que les exigences varient fortement selon la région, ce qui impose une adaptation locale des systèmes CCV.

Par ailleurs, l'effet des caractéristiques architecturales, telles que le type de vitrage, l'isolation thermique des parois et la résistance thermique des matériaux, s'est avéré très influent sur les performances énergétiques du bâtiment. Ces paramètres montrent qu'une bonne conception thermique peut réduire notablement les besoins en.

Les résultats obtenus valident l'utilité de l'outil développé pour adapter la conception des systèmes CCV aux conditions locales, en tenant compte des particularités climatiques et des besoins spécifiques des bâtiments. Cette approche contribue à améliorer le confort thermique, et à favoriser une conception durable et efficace des bâtiments.

Conclusion générale

Conclusion général

Conclusion général

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la conception des systèmes de Chauffage, Climatisation et Ventilation (CCV) dans les bâtiments résidentiels en Algérie. Compte tenu de la grande diversité climatique du pays, il est nécessaire d'adapter ces installations aux conditions locales pour garantir à la fois le confort thermique et une utilisation rationnelle de l'énergie.

Un outil mathématique a été développé pour calculer les charges thermiques en chauffage et en climatisation. Cet outil intègre des données météorologiques précises de l'année 2023 ainsi que les caractéristiques architecturales typiques des bâtiments algériens. L'objectif n'est pas ici d'optimiser les performances énergétiques, mais plutôt de garantir un fonctionnement efficace des systèmes de climatisation, notamment dans les régions chaudes comme Adrar où ceux-ci doivent souvent fonctionner sans interruption.

Les analyses menées sur plusieurs wilayas représentatives (Alger, El Bayadh et Adrar) ont montré que les besoins en énergie varient fortement selon la région. Ces différences soulignent l'importance d'une approche localisée plutôt qu'une méthode standardisée applicable partout.

En outre, cette étude a mis en évidence l'influence notable des matériaux utilisés dans la construction ainsi que des choix architecturaux comme le type de vitrage ou l'isolation thermique. Une bonne conception peut réduire significativement les charges énergétiques.

Ce mémoire contribue à une meilleure compréhension des défis thermiques locaux et propose un outil concret pour aider les ingénieurs et architectes à dimensionner des installations plus efficaces, durables et adaptées au contexte algérien.

Références bibliographie

Références bibliographie

- **bibliographie :**

[1] : ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020.

[2] : Documentation Thermique Réglementaire (DTR) Algérienne, Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville, 2017.

[3] : A. Bouchahm, F. Bourbia, and A. Belhamri, Performance of traditional buildings in terms of natural ventilation and thermal comfort: Case study in Algeria, Building and Environment, vol. 45, no. 3, pp. 729–737, 2010.

[4] : Greenbim-eng: <https://greenbim-eng.com/ashrae>, consulter le 09/02/2025.

[5] : ASHRAE STANDARD 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2004.

[6] : ASHRAE STANDARD 62.1, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, 2016.

[7] : ASHRAE STANDARD 90.1, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. 2016.

[8] : DTR **C3.2** (Document Technique Réglementaire - Algérie), Règles de calcul des déperditions calorifiques, 1997.

[9] : DTR **C3.2/4** (Document Technique Réglementaire - Algérie), Réglementation thermique de bâtiment, 2016.

[10] : DTR C3.31 (Document Technique Réglementaire - Algérie), Ventilation naturelle de locaux à usage d'habitation, 2005.

[11] : Universalis, E. Banques de données et réseaux météorologiques. (2025). 29/01/2025 ; Avialable from : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/agrometeorologie/2-banques-de-donnees-et-reseaux-meteorologiques>.

[12] : L'Algérie et son patrimoine architectural (2025), <https://algerienne.com/lalgerie-et-son-patrimoine-architectural-joyaux-a-preserver/> consulter le 24/02/2025.

[13] : Chayma. M, Influence de l'Enveloppe Architecturale sur la Performance Énergétique des Bâtiments, l'Université 08 Mai 1945 de Guelma. (2021).

Références bibliographie

- [14] : Guide d'isolation (2025), <https://www.isoplaco.com/client/guides/isolation/>, consulter le 24/02/2025.
- [15] : La fibre de bois comme isolant, avantages et inconvénients (2025), <https://solutions-isolation.ca/blogs/blogue/la-fibre-de-bois-comme-isolant-avantages-et-inconvenients>, consulter le 24/02/2025.
- [16] : Jedidi.M, Benjeddou. O, LA THERMIQUE DU BATIMENT, Du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de climatisation ,2016.
- [17] : Fascicule Ponts Thermiques, 2017.
- [18] : ASHRAE Standard 169, Données climatiques pour les normes de conception des bâtiments.2020.
- [19] : ASHRAE Standard 169 (2022), Climatic Data For Building Design Standards, 2022.
- [20] : Martineau.A, Processus de calcul de charge des systèmes CVCA dans un contexte BIM, École de Technologie Supérieure, Montréal, 2017
- [21] : Sonia. Y. P, La modélisation mathématique dans la résolution de problèmes concrets. in Colloque international sur la formation en mathématiques des professeurs des écoles, 2023.
- [22] : Rabouille. M, Recherche de la performance en simulation thermique dynamique , application à la réhabilitation des bâtiments, Université de Grenoble, 2014.
- [23] : Khaled. M, Optimisation du confort thermique et de l'efficacité énergétique dans les établissements scolaires, cas d'un climat chaud et aride, in Département d'Architecture, Université Mohamed Khider – Biskra, 2023.
- [24] : Morel.N, Edgard.G, Énergétique du Bâtiment, Lausanne, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suisse, 2008.
- [25] : Communes vertes, <https://communes-vertes.org/reseaux-ee/knowledge-hub/batiments-municipaux/charges-thermiques-dun-batiment>, consulté 25/03/2025.
- [26] : Sacadura, J.-F., Initiation aux transferts thermiques, Tec et Doc Lavoisier, 2014.
- [27] : Bergman. T.L, L. Adrienne S, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Edition2017.
- [28] : Diaw. D, Réalisation d'un programme de simulation du comportement thermique d'un bâtiment à usage d'habitation, Université Cheikh Anta Diop de Dakar,2005.

Références bibliographie

- [29] : Jean. L, Air humide : Propriétés thermodynamiques,opérations unitaires et technologie associées à son emploi, Université de peu et des pays de l'adour.
- [30] : Aissaoui. F, Contribution à l'étude du transfert de chaleur d'un capteur solaire placé dans un climat aride : cas de la région de Biskra, Université Mohamed Khider – Biskra, 2017.
- [31] : Cherigui. A, Ahlam. A, Estimation de rayonnement solaire en M'sila cas d'un ciel clair, Université Mohamed Boudiaf de M'Sila, 2020.
- [32] : ASHREA, ASHRAE Handbook – HVAC Fundamentals, Atlanta, 2017.

Annexes

PROJET D'AMENAGEMENT

DOSSIER D'EXECUTION



SARL

EVOBAT
CONSTRUCTION

Notes Générales



MAISON D'HABITATION

ROUBA - ALGER

Révisions

REV	PAR	APP	DESCRIPTION	DATE

Information

NUMÉRO PROJET	ALG80
PHASE PROJET	AVANT PROJET SOMMAIRE
DISCIPLINE	ARCHITECTURE
DESSINÉ PAR	M. BOUFEKKANE
VERIFIÉ PAR	J. BEJJANY
DATE	19-10-2023
ECHELLE	1:100
FORMAT	A2

Titre Planche

Numéro Planche

DE - A - 000 - R 00

Phase | Disc. | Numéro | Revision

Notes Générales



MAISON D'HABITATION

ROUBA - ALGER

Révisions

REV	PAR	APP	DESCRIPTION	DATE

Information

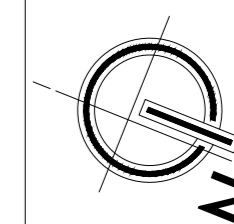
NUMÉRO PROJET	ALG80
PHASE PROJET	AVANT PROJET SOMMAIRE
DISCIPLINE	ARCHITECTURE
DESSINÉ PAR	M. BOUFEKANE
VERIFIÉ PAR	J. BEJJANY
DATE	19-10-2023
ECHELLE	1:100
FORMAT	A2

Titre Planche

PLAN D'AMENAGEMENT

SOUS-SOL 01

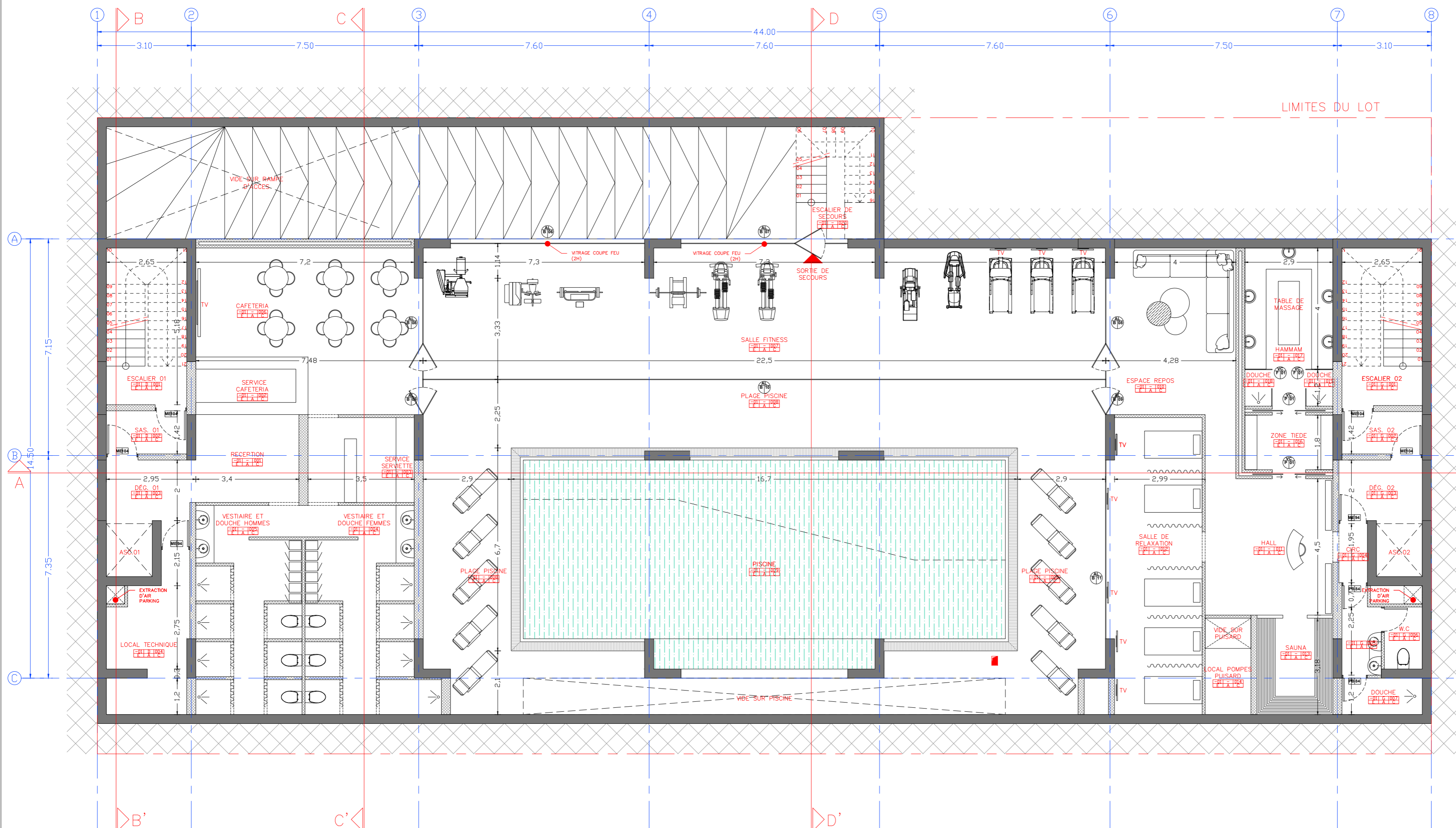
+0.00



Numéro Planche

DE - A - 102 - R 00

Phase	Disc.	Numéro	Revision
-------	-------	--------	----------



Notes Générales



MAISON D'HABITATION

ROUBA - ALGER

Révisions

REV	PAR	APP	DESCRIPTION	DATE

Information

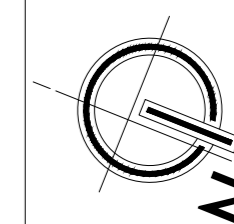
NUMÉRO PROJET	ALG80
PHASE PROJET	AVANT PROJET SOMMAIRE
DISCIPLINE	ARCHITECTURE
DESSINÉ PAR	M. BOUFEKKANE
VERIFIÉ PAR	J. BEJJANY
DATE	19-10-2023
ECHELLE	1:100
FORMAT	A2

Titre Planche

PLAN D'AMENAGEMENT

RDC

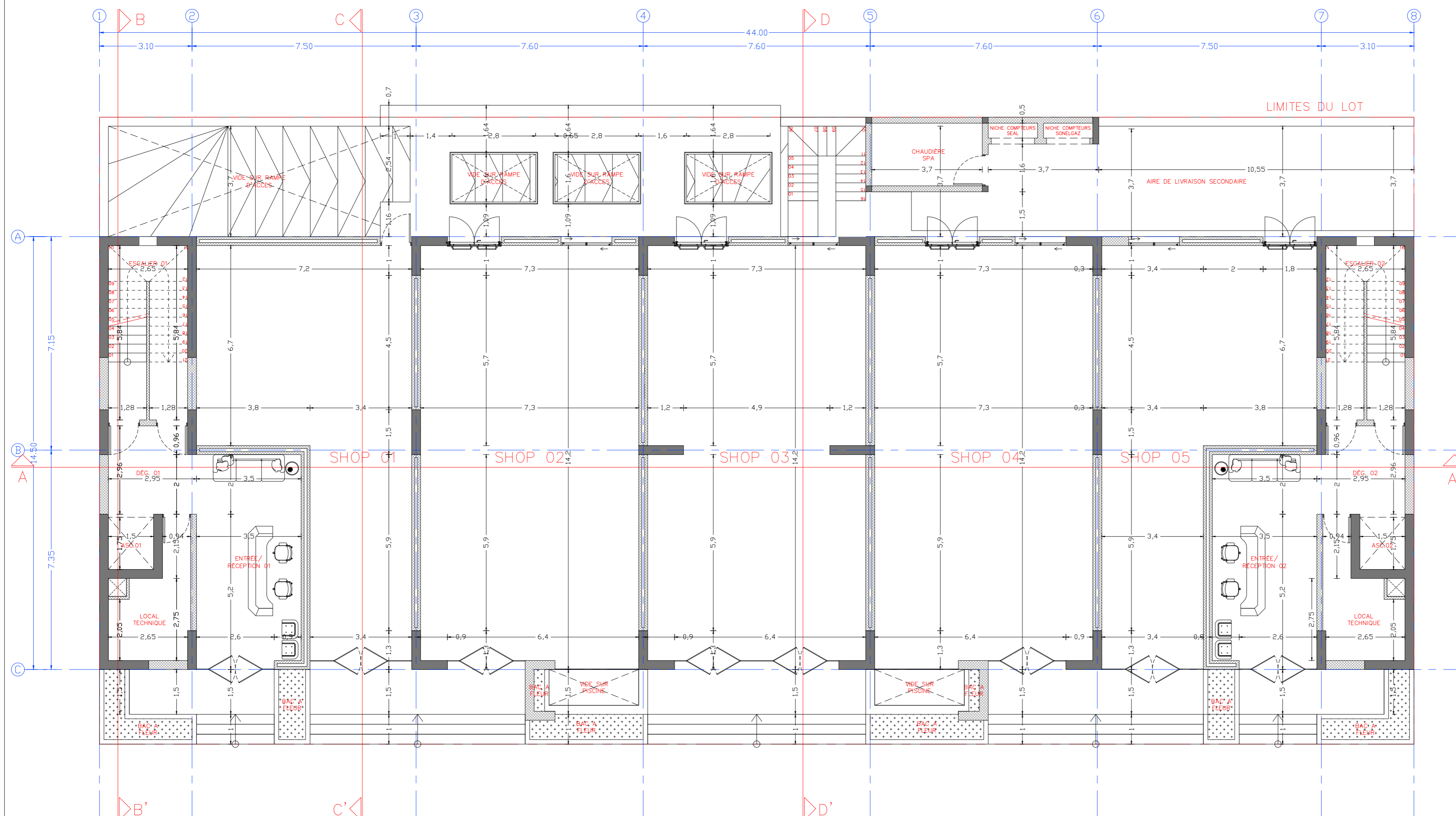
0.00



Numéro Planche

DE - A - 103 - R 00

Phase	Disc.	Numéro	Revision
-------	-------	--------	----------



Notes Générales



MAISON D'HABITATION

ROUBA - ALGER

Révisions

REV	PAR	APP	DESCRIPTION	DATE

Information

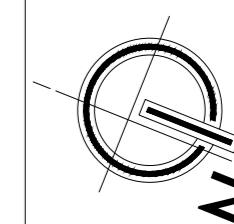
NUMÉRO PROJET	ALG80
PHASE PROJET	AVANT PROJET SOMMAIRE
DISCIPLINE	ARCHITECTURE
DESSINÉ PAR	M. BOUFEKKANE
VERIFIÉ PAR	J. BEJJANY
DATE	19-10-2023
ECHELLE	1:100
FORMAT	A2

Titre Planche

PLAN D'AMENAGEMENT

IER ÉTAGE

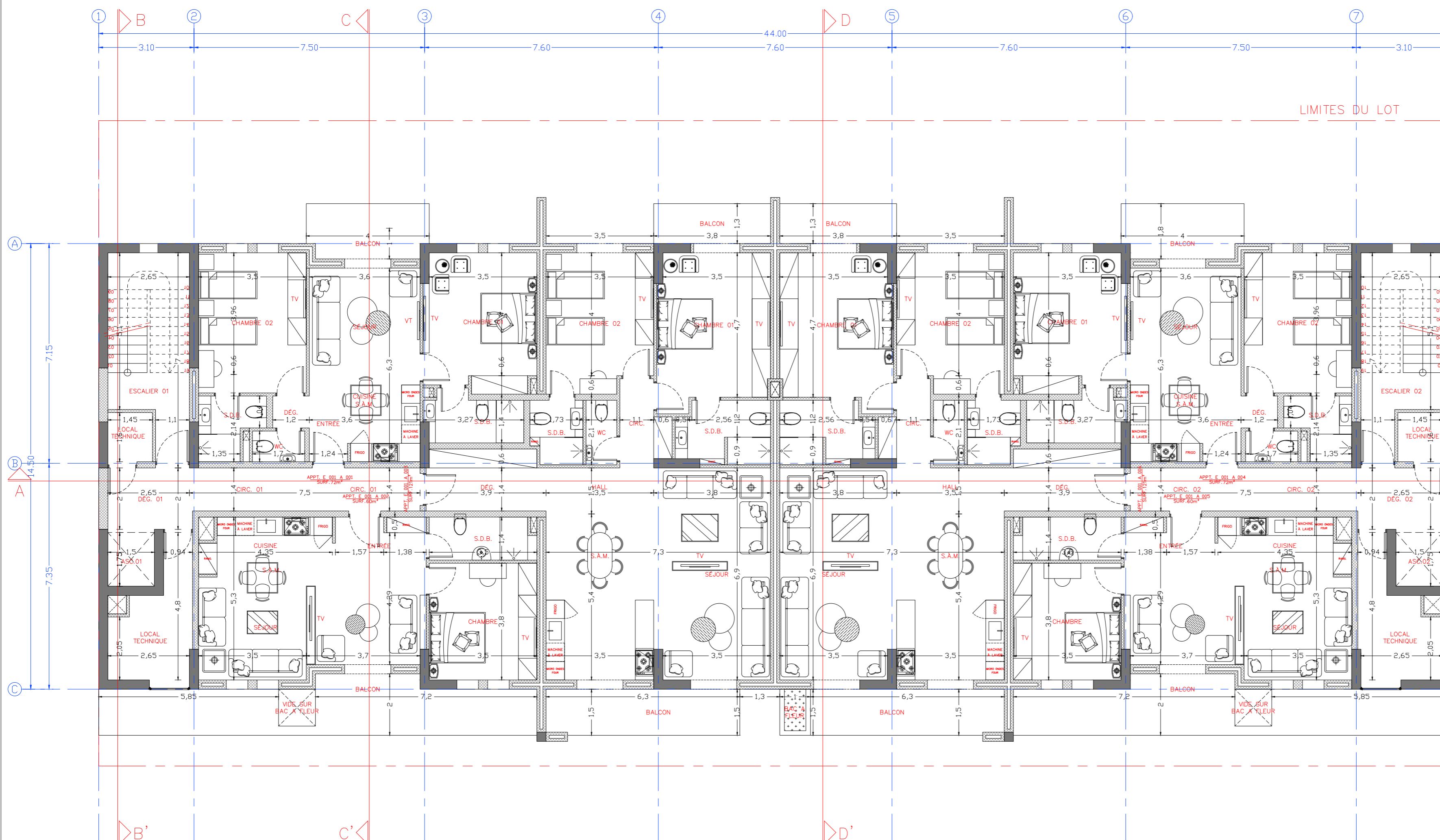
+3.75



Numéro Planche

DE - A - 103 - R 00

Phase	Disc.	Numéro	Revision
-------	-------	--------	----------



Notes Générales



MAISON D'HABITATION

ROUBA - ALGER

Révisions

REV	PAR	APP	DESCRIPTION	DATE

Information

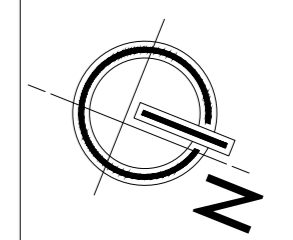
NUMÉRO PROJET	ALG80
PHASE PROJET	AVANT PROJET SOMMAIRE
DISCIPLINE	ARCHITECTURE
DESSINÉ PAR	M. BOUFEKKANE
VERIFIÉ PAR	J. BEJJANY
DATE	19-10-2023
ECHELLE	1:100
FORMAT	A2

Titre Planche

PLAN D'AMENAGEMENT

2ÈME ÉTAGE

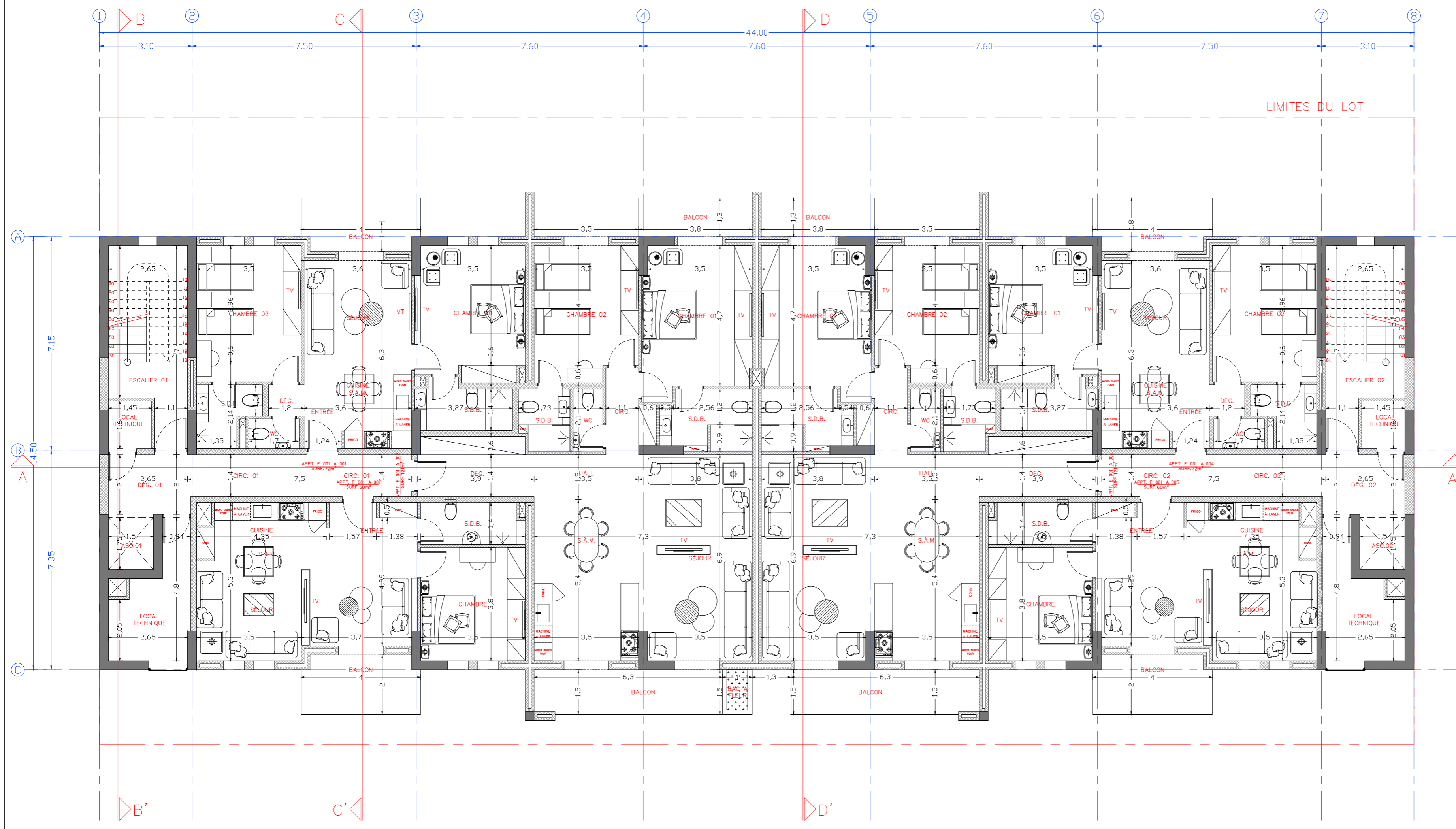
+7.00



Numéro Planche

DE - A - 104 - R 00

Phase	Disc.	Numéro	Revision
-------	-------	--------	----------



Notes Générales



MAISON D'HABITATION

ROUBA - ALGER

Révisions

REV	PAR	APP	DESCRIPTION	DATE

Information

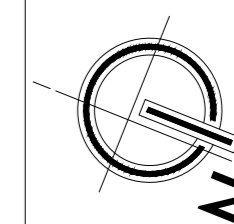
NUMÉRO PROJET	ALG80
PHASE PROJET	AVANT PROJET SOMMAIRE
DISCIPLINE	ARCHITECTURE
DESSINÉ PAR	M. BOUFEKKANE
VERIFIÉ PAR	J. BEJJANY
DATE	19-10-2023
ECHELLE	1:100
FORMAT	A2

Titre Planche

PLAN D'AMENAGEMENT

3ÈME ÉTAGE

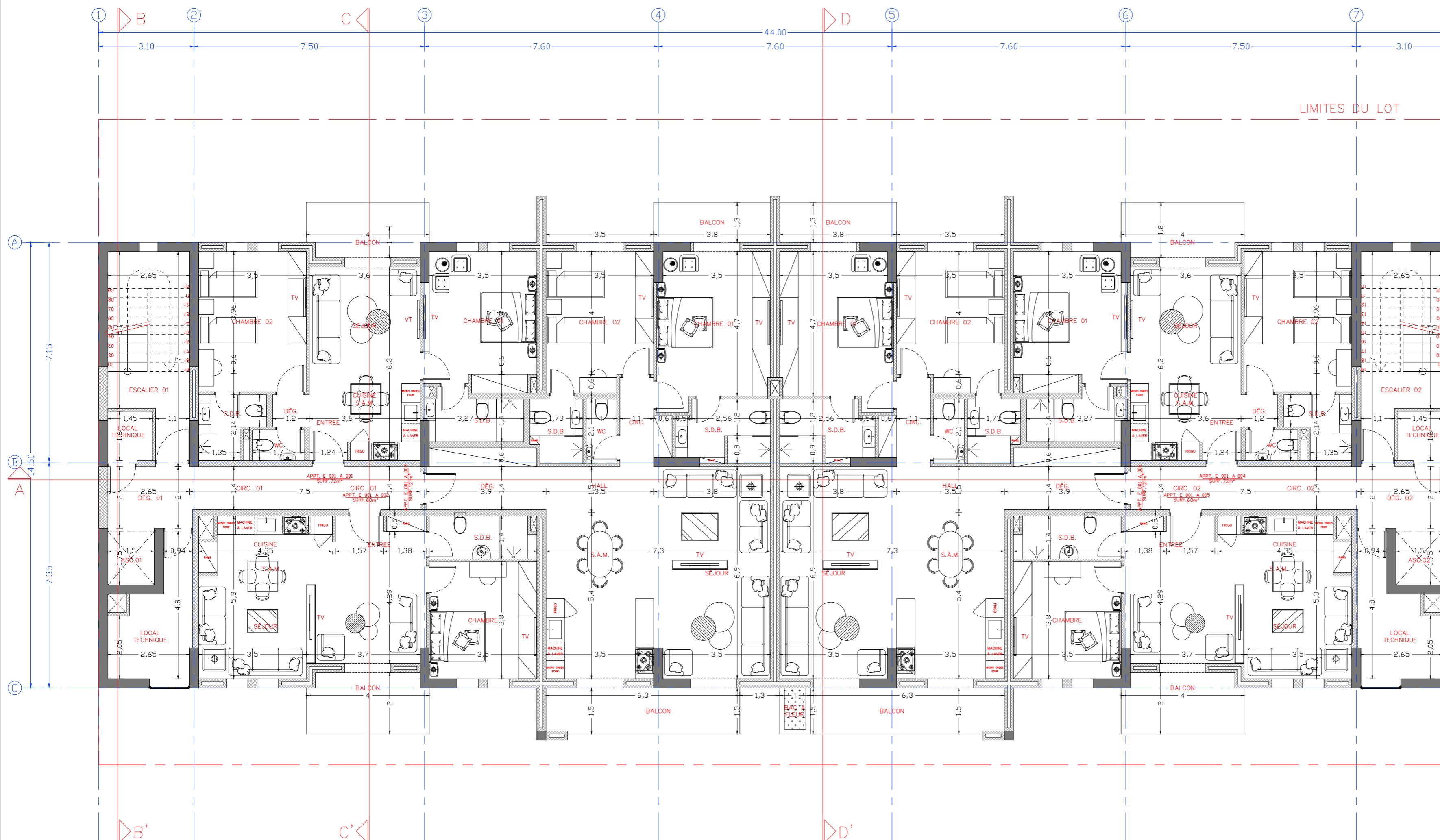
+10.25



Numéro Planche

DE - A - 103 - R 00

Phase	Disc.	Numéro	Revision
-------	-------	--------	----------



Notes Générales



APPART'HOTEL MOUZAOU

ALGER

Révisions

REV	PAR	APP	DESCRIPTION	DATE

Information

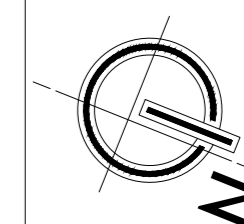
NUMÉRO PROJET	ALG73
PHASE PROJET	DOSSIER D'EXECUTION
DISCIPLINE	ARCHITECTURE
DESSINÉ PAR	M. BOUFEKKANE
VERIFIÉ PAR	J. BEJJANY
DATE	25/12/2022
ECHELLE	1:100
FORMAT	A2

Titre Planche

PLAN D'AMENAGEMENT

TOITURE

+16.75



Numéro Planche

DE - A - 107 - R 00

Phase	Disc.	Numéro	Revision
-------	-------	--------	----------

